J. E.
2

Z-1-349

Z-1-349 No. 15142
NM5655

M 15142

ENCYCLOPÉDIE-RORET

IRRIGATION

ET

ASSAINISSEMENT DES TERRES.

DEUXIÈME PARTIE.

Librairie Encyclopédique de Roret.

ASSOLEMENTS, JACHÈRES ET SUCCESSION DES CULTURES, par feu V. YVART, annoté par M. V. RENDU, inspecteur de l'agriculture. 3 vol. in-18. 10 fr. 50

Idem. Edition en 1 vol. in-4. 12 fr. »

Ouvrage contenant les méthodes usitées en Angleterre, en Allemagne, en Italie, en Suisse et en France.

CHASSEUR-TAUPIER (le), ou l'Art de prendre les taupes par des moyens sûrs et faciles, précédé de leur histoire naturelle, par M. REDARÉS. in-18, fig. 90 cent.

COURS COMPLET D'AGRICULTURE (nouveau), du 19e siècle, contenant la grande et la petite culture, l'économie rurale domestique, la médecine vétérinaire, etc., par les Membres de la section d'Agriculture et de l'Institut royal de France, etc. Nouvelle édition, revue, corrigée et augmentée. Paris, Deterville. 16 vol. in-8, de près de 600 pages chacun, ornés de planches en taille-douce. 56 fr.

COURS D'AGRICULTURE (petit), ou Encyclopédie agricole, par M. MAUNY de MORNAY, contenant les livres du Cultivateur, du Jardinier, du Forestier, du Vigneron, de l'Economie et Administration rurales, du Propriétaire et de l'Eleveur d'animaux domestiques. 7 volumes gr. in-18, avec figures. 15 fr. 50

ENCYCLOPÉDIE DU CULTIVATEUR, ou Cours complet et simplifié d'agriculture, d'économie rurale et domestique, par M. LOUIS DUBOIS. 2e édition, 9 vol. in-12 ornés de gravures. 20 fr.

Le vol. 9 se vend séparément 4 fr.

Cet ouvrage, très-simplifié, est indispensable aux personnes qui ne voudraient pas acquérir le grand ouvrage intitulé : Cours d'agriculture au XIXe siècle.

ÉCOLE DU JARDIN POTAGER, suivie du Traité de la Culture des Pêchers, par M. DE COMBLES, 6e édition, revue par M. LOUIS DUBOIS. 3 vol. in-12. 4 fr. 50

HISTOIRE DU PÊCHER, par M. DUVAL, in-8. 1 fr. 50

HISTOIRE DU POIRIER (Pyrus sylvestris), par DUVAL. Br. in-8o (extrait de l'Agriculteur praticien). 1 fr. 50

MANUEL DES INSTRUMENTS D'AGRICULTURE ET DE JARDINAGE les plus modernes, contenant la gravure et la description détaillée des Instruments nouvellement inventés ou perfectionnés, la plupart dessinés dans les meilleurs ateliers de la capitale. Ouvrage orné de 121 planches et de gravures sur bois intercalées dans le texte, par M. BOITARD. 1 vol. grand in-8. 12 fr.

MANUELS-RORET.

IRRIGATION

ET

ASSAINISSEMENT DES TERRES

TRAITÉ

DE

L'EMPLOI DES EAUX EN AGRICULTURE

Par RAPHAEL **PARETO**,

Ingénieur, Membre correspondant de l'Académie Royale d'Agriculture de Turin.

Ouvrage orné d'un Atlas renfermant 40 Planches grand format.

DEUXIÈME PARTIE.

PARIS

A LA LIBRAIRIE ENCYCLOPÉDIQUE DE RORET,

RUE HAUTEFEUILLE, 12.

1851

DIPUTACION GENERAL DE ARAGON BIBLIOTECA Centro de Investigación

AVIS.

Le mérite des ouvrages de l'*Encyclopédie-Roret* leur a valu les honneurs de la traduction, de l'imitation et de la contrefaçon. Pour distinguer ce volume, il porte la signature de l'Editeur.

ERRATA.

pages.	lignes.	Au lieu de	Lisez :
376	1	DISPOSITIONS,	DISPOSITION.
383	39-40	longueur,	largeur.
385	20	*ah*,	*ab*.
390	12	longueur,	largeur.
419	41	fuari,	fuori.
419	42	altnettanto,	altrettanto.
422	9	(2),	(1).
523	2	établis vers	établis sur
542	12	sujadcent,	adjacent.
562	33	*Perronnel*,	*Perronet*.
570	41	Marie,	Mary.
586	34	avec des hauteurs,	des hauteurs et débits.
588	6	N° 29,	N° 291.
634	6	les 0m,50 à 0m,65,	les 0,50 à 0,65.
640	30	des toiles pour les ailes,	des ailes pour les toiles
653	10	neiges éternelles,	neiges perpétuelles.
677	22	arrosé,	arrasé.
680	10	dure plus longtemps,	dure moins longtemps.
680	21	longueur,	largeur.
690	8	*Sorell*,	*Surel l.*
724	27	qu'ils,	qu'elles.

IRRIGATION

ET

ASSAINISSEMENT DES TERRES.

LIVRE III.

APPROVISIONNEMENT DES EAUX.

PREMIÈRE PARTIE.

EAUX PLUVIALES.

Nasce spontanea l'idea di un problema d'agricultura pratica il quale può esprimersi così : *Conservare le acque piovane, che cadono irregolarmente lungo l'anno, per distribuirle periodicamente sui prati nei mesi asciutti.*

GIACINTO GARENA.

CHAPITRE PREMIER.

RÉSERVOIRS.

§ Ier. GÉNÉRALITÉS. CONTENANCE. PROFONDEUR.

De tous les moyens connus pour se procurer l'eau des irrigations, nous préférons les réservoirs, et nous allons énumérer les avantages qu'ils présentent, avantages qui seront encore mieux démontrés dans la suite, lorsque nous traiterons des canaux et des machines.

Les canaux dérivés des rivières ne peuvent généralement irriguer une grande bande de terrain que sur des points fort éloignés de la prise d'eau, et, avec la division des propriétés qui existe en France, il s'ensuit que chaque propriétaire ne peut tout au plus irriguer avec ce moyen que peu de prés bas placés et déjà fort humides. Les terres élevées qui, cultivées en pré, donnent les meilleurs fourrages, ne peuvent pas profiter de ces irrigations, à moins que plusieurs grands propriétaires ne se mettent d'accord pour construire un canal à frais communs, ce qui est rarement possible, particulièrement

dans les régions du centre et du nord, où l'on ne connaît pas encore assez les avantages des irrigations pour faire taire, en leur considération, les petites jalousies de voisinage, si tenaces à la campagne.

Dans les pays de montagnes, des grandes pentes rendent cet inconvénient moins sensible.

Les nouvelles lois sur les irrigations accordent à l'agriculteur éclairé le droit de passage et le droit d'appui; mais tous les ruisseaux sont littéralement couverts de mauvais moulins, et on rencontre de grandes difficultés, si on veut élever leurs eaux au moyen d'un barrage, soit de la part des meuniers, soit de celle des propriétaires supérieurs, dont les prés se trouveraient, par ce fait, ou souvent submergés, ou du moins trop humides.

Cela n'aurait pas lieu, que l'administration départementale, par l'organe du préfet, peut prendre un arrêté qui fixe les jours et la quantité d'eau dont chaque usager peut disposer. Ces règlements d'eau sont fréquents, et le propriétaire qui avait fait de fortes dépenses pour arroser une certaine étendue de pré, ne se trouve plus en pouvoir irriguer qu'une moindre surface, et souvent dans des jours et avec une rotation peu convenables.

Voilà les inconvénients que nous reconnaissons aux dérivations des ruisseaux et des petites rivières. Si ces dernières sont reconnues navigables, les difficultés augmentent, puisqu'on ne peut en prendre l'eau sans une concession qui entraîne à beaucoup de formalités et qui peut toujours être révoquée, si la navigation avait besoin de l'eau concédée. Du reste, la dépense d'un grand barrage peut être dans ce cas en grande disproportion avec la surface qu'on pourrait irriguer. Quant aux grands canaux dérivés des rivières et des fleuves, nous croyons qu'ils ne peuvent être entrepris que par le gouvernement; car, même dans le midi, où l'on connaît si bien le prix de l'eau, les particuliers et les compagnies qui ont voulu s'en mêler y ont perdu de l'argent. Nous en verrons la cause en traitant de ces canaux.

Est-ce à dire que nous proscrivons tous ces moyens de se procurer de l'eau? Ce n'est pas là notre pensée, puisque nous les employons assez souvent, mais en général nous les croyons moins avantageux que les réservoirs (1).

(1) A Lamotte-Beuvron, chez le vicomte *d'Hervilly*, nous ne prenons pas une seule goutte d'eau au Beuvron, rivière qui traverse sur leur longueur les 161 hectares de prés irrigués que nous y avons établis.

En effet, avec un réservoir sur sa propriété, on est maître de son eau, dont on dispose à volonté, lorsque l'état du sol est tel que les prés demandent à être irrigués. Nous ajouterons qu'on est aussi plus économe de l'eau, ce qui n'est pas un mal, vu la propension qu'on a généralement de trop noyer les prés.

Les eaux recueillies dans un réservoir s'améliorent et s'échauffent au soleil; elles y déposent, comme nous l'avons vu, les matières nuisibles qu'elles tiennent en suspension.

Les réservoirs permettent d'irriguer des terrains hauts facilement assainissables, et on peut ainsi, avec leur secours, transformer en prairies des landes et des bruyères complètement improductives. La grandeur de l'étang qu'on construit étant toujours en proportion avec le terrain qu'on veut ou qu'on peut irriguer, il s'ensuit qu'on ne fait pas de trop fortes dépenses pour n'obtenir qu'un mince résultat. Nous verrons à la fin de ce livre que dans le plus grand nombre de cas, l'eau des réservoirs construits suivant notre méthode revient moins chère que celle qu'on se procure d'une autre manière. Dans les deux zônes du centre et du nord, nous pensons que les réservoirs peuvent seuls permettre de propager les irrigations; car ils rendent faciles des opérations partielles, même sur une petite échelle, et la réussite de ces opérations peut seule encourager les agriculteurs voisins à en tenter de semblables; aussi, à égalité de convenance, nous préférons ce moyen aux autres, dans le but de vulgariser les irrigations.

Nous verrons que malheureusement on ne peut pas établir des réservoirs sur toutes sortes de terrains; mais nous devons dire ici que la constitution géologique de la plus grande partie de la France permet d'en faire utilement. Du reste, il existe déjà une grande quantité d'étangs qui ne sont utilisés que pour la pêche du poisson, et qu'on pourrait utiliser ainsi.

La commission d'agriculture et des arts, dans son rapport général de l'an IV de la République, en portait le nombre à 14,000 et l'étendue à plus de 100,000 hectares. *Puvis*, qui a étudié à fond la question des étangs, pense que ces nombres sont trop faibles, peut-être de moitié. Voici pour quelques provinces les données statistiques que cet auteur a recueillies dans les résultats cadastraux :

« Parmi les pays d'étangs, on remarque en premier ordre la Sologne, grand plateau entre la Loire et le Cher, qui

s'étend sur trois départements, le Loiret, le Loir-et-Cher et le Cher. C'est le pays d'étangs dont on a le plus parlé, parce qu'il est le plus près de Paris. Sur 200 lieues carrées, il renferme 1370 étangs, dont la contenance trouvée par le cadastre est de 17,000 hectares, » soit en moyenne 12 hectares par étang. Il est vrai de dire que plusieurs de ces étangs n'ont qu'un ou deux hectares de superficie, et que d'autres sont d'une très-grande étendue. Les étangs de Sologne ont généralement une faible hauteur d'eau; leurs digues sont peu élevées, et c'est là la principale cause qui les rend si malsains. Les sources ne sont pas fréquentes dans ce pays, et l'eau de pluie joue le plus grand rôle dans le remplissage des étangs. En général, la hauteur moyenne d'eau d'un étang de Sologne ne dépasse guère 60 à 75 centimètres, et sa hauteur à la bonde $1^{m}50$ à $2^{m}00$. Elle est bien souvent au-dessous de ces nombres. Les terrains qui avoisinent les étangs sont généralement incultes et vagues; ce sont des landes à petites bruyères, sur lesquelles les eaux qui se rendent dans l'étang divaguent et restent stagnantes dans des mares plus ou moins grandes.

« Après la Sologne, vient la Dombe et une partie de la Bresse, département de l'Ain; le pays inondé, celui où se trouvent les étangs, renferme 60 lieues carrées de 2,000 hectares; leur nombre est porté à 1,667, et leur surface cadastrale est de 20,000 hectares. »

Ici les étangs ont une plus grande hauteur d'eau qu'en Sologne, et leur fond s'égoutte mieux lorsqu'on les vide. Surface moyenne d'un étang, 12 hectares.

« On cite ensuite la Brenne, département de l'Indre, où sur une étendue de 20 communes, seulement 95 étangs couvrent 7,000 hectares. »

La surface moyenne d'un étang est donc de 73 hectares. Ici les étangs sont généralement échelonnés les uns à la suite des autres, et occupent tout le fond de la vallée. Il y en a d'immenses, comme celui qu'on appelle la mer rouge, à cause de son étendue; mais nous en connaissons beaucoup qui n'ont que cinq ou six hectares de superficie. La hauteur d'eau est plus grande qu'en Sologne et généralement que dans la Dombe.

« Les étangs du Forez, département de la Loire, sont placés sur un plateau assez élevé dans le bassin de ce fleuve; ils couvrent plus de moitié de l'espace de ceux de la Brenne (1). »

(1) *Puvis*, Des étangs, etc., p. 11.

On trouve également de nombreux étangs dans le Limousin, le Bourbonnais, l'Auvergne, le Nivernais et tout le long du cours de la Loire. D'autres provinces ont des étangs, mais en moindre quantité.

Depuis longtemps, on demande leur dessèchement pour faire disparaître l'insalubrité des contrées où ils sont trop multipliés. La Convention, par un décret du 4 décembre 1793, ordonna, *sous peine de confiscation, le dessèchement de tous les étangs*; mais tout cela fut sans résultats, car les propriétaires ne trouvent pas moyen d'utiliser leur sol autrement. Il leur aurait fallu de trop grands capitaux et des bras qu'ils ne savaient où trouver, pour mettre immédiatement en culture leur surface, qui, sur plusieurs points, comme en Sologne, est à peu près improductive, si on n'y ajoute pas des amendements calcaires. Lorsqu'une partie du sol reste inculte, on ne peut raisonnablement penser qu'on cultivera les étangs, à moins qu'on n'y soit porté par un produit supérieur.

Mais, en employant dans chaque *coulée* l'étang supérieur comme réservoir, en augmentant sa capacité si cela était nécessaire, on pourrait dessécher les inférieurs et établir sur leur fond et sur les terres qui les avoisinent de bonnes prairies irriguées, qui en décupleraient, pour le moins, le rendement en argent. C'est là le seul moyen d'assainir ces pays, dont les miasmes marécageux déciment (1) les populations. Cet exemple, donné par quelques agriculteurs, entraînerait par sa réussite les autres à l'imiter bientôt.

Nous avons fait de ces opérations en Sologne et en Berry, où elles ont réussi.

En Touraine, nous connaissons plusieurs étangs desséchés, et nous en avons transformé plusieurs en prairies irriguées.

Les étangs ou réservoirs existants ne sont généralement pas employés pour les irrigations, et lorsque, par exception, on

(1) « De 1820 à 1834, dans les vingt-et-une communes du pays inondé de Dombes où les décès ont excédé les naissances, on a eu 8,784 décès sur 7,526 naissances. Les décès ont donc excédé les naissances de près de 17 0/0; mais, dans les seize autres communes du même pays, il y a eu 2,939 décès et 3,241 naissances; ajoutant ensemble les naissances et les décès des deux sections, l'excédant des décès sera encore de 956, ou de plus du vingtième de la population, qui s'élève à 18,259 habitants. (Mémoires de *M. Bodin.*)

« Dans ces tables de mortalité ne se trouvent pas compris les décès des batteurs, moissonneurs et domestiques étrangers, qui vont mourir dans leur pays de la fièvre qu'ils ont contractée en Dombes, ni ceux de ces jeunes domestiques, dits *canats*, qu'on est obligé de renouveler en partie tous les ans. » (*Puvis*, Des étangs, etc., p. 161.)

Il paraîtrait résulter des données statistiques recueillies par l'ingénieur en chef *Macharé*, qu'en Sologne les naissances dépassent les décès.

s'en sert pour cet objet, on ne les y affecte pas tout-à-fait d'une manière spéciale. Nous avons bien vu dans le Forez quelques étangs entièrement vidés tous les ans pour en utiliser l'eau sur les prés; mais dans le Limousin et dans le Charollais, ceux qu'on utilise de cette manière sont empoissonnés et vidés seulement à moitié. Cette méthode nous paraît vicieuse, et nous avons cependant toujours beaucoup de peine pour faire comprendre aux propriétaires qu'il n'y a pas augmentation de produits lorsqu'on fait ainsi servir les réservoirs à deux usages différents, l'une des deux choses qu'on a en vue devant en souffrir. Même dans le cas où l'eau du réservoir est surabondante, il peut arriver que dans une année d'une sécheresse extrême, on n'arrose pas les prés pour ne pas laisser mourir le poisson, et qu'on perde ainsi beaucoup plus qu'on ne gagne de l'autre côté. Il nous est souvent arrivé que des réservoirs que nous avions construits en vue des irrigations, ayant été empoissonnés à notre insu, on n'en a pris qu'une quantité d'eau insuffisante pour les prés, qui ont manqué à cause de cela (1).

Nous aimerions mieux établir deux étangs échelonnés, le supérieur pour le poisson et l'inférieur pour les irrigations, que de voir le même étang affecté à ce double service (2).

Il y a fort peu de réservoirs modernes établis en vue des irrigations, et cela se comprend dès qu'on n'utilise même pas les étangs existants (3). Nous ne connaissons d'opérations de ce genre, que celle du comte *d'Angeville* (4), et une sur une moindre échelle, de *Rieffel*, en Bretagne.

(1) A Lamotte-Beuvron, l'étang de Rey fut loué la première année à des cercleurs, pour faire des cercles de futailles avec des branches de bouleau, et on n'a pu en prendre pas même une goutte d'eau; aussi, une dizaine d'hectares de prés nouvellement semés qui, peu fournis encore de gazon, demandaient beaucoup plus d'eau que tous les autres, ont beaucoup souffert de la sécheresse.

(2) Le réservoir de Palermo, en Piémont, a cette disposition, mais celui de Monsugiano sert aux deux choses à la fois. Voyez *Carena Serbatoj artifiziali d'acque piovane*, etc., p. 20.

(3) Nous ne parlons pas des réservoirs que nous avons établis et dont quelques-uns sont décrits et dessinés dans nos planches.

(4) M. *d'Angeville* a établi ses irrigations dans la commune de Louprés, département de l'Ain. Il a placé ses réservoirs dans la gorge d'une montagne, et la différence de niveau entre les trois étangs est énorme. Leurs superficies réunies donnent près de 3 hectares, et leur capacité 78,000 mètres cubes. La profondeur maximum est de 5 m. 80. Ces réservoirs se remplissent simplement avec les eaux pluviales, et servent à l'irrigation de 40 hectares de prés. Les eaux versées sur les prés au moyen de plusieurs remplissages des étangs, montent à 159,000 mètres cubes, et M. *d'Angeville* pense qu'elles ne sont pas encore suffisantes. Notre opinion diffère de celle de l'illustre promoteur de la loi sur les irrigations à la Chambre des Députés, et nous pensons qu'avec une meilleure distribution, elles pourraient irriguer une surface plus grande encore.

Les étangs sont solidement établis, mais ils ont coûté fort cher, car leur construction et celle des mères rigoles ne reviennent pas à moins de 500 francs par hectare de pré irrigué.

Une des principales causes qui empêchent de construire des réservoirs pour irriguer les prés, est l'opinion généralement admise qu'il faudrait les faire très-vastes pour irriguer une petite surface. Cela provient de l'immense quantité d'eau gaspillée pour un seul arrosage, en suivant les mauvaises pratiques des pays où l'on irrigue avec l'eau des rivières. Nous ne croyons pas nécessaire de revenir sur ce sujet, que nous avons traité dans le Chapitre I du Livre II; mais nous devons faire remarquer qu'en réduisant la quantité d'eau employée dans un arrosage, nous réduisons dans une proportion plus forte encore la dépense exigée par la construction du réservoir, et la surface perdue pour l'agriculture par l'occupation de l'eau.

Ce serait ici l'endroit où nous devrions parler des autres emplois des étangs en agriculture; mais comme nous les croyons mauvais et que nous pensons qu'ils doivent céder la place aux irrigations de bonnes prairies, qu'on créera dès qu'on en connaîtra la possibilité, nous n'en dirons que peu de mots, en les citant seulement, sans les décrire avec détail.

Les étangs sont presque partout exclusivement utilisés pour élever du poisson, qu'on pêche tous les ans, ou, plus souvent, tous les deux ans, et même de trois ans en trois ans.

Il n'entre pas dans notre cadre de décrire les méthodes d'élever le poisson, d'empoissonner et de pêcher les étangs; *Puvis* a traité cette question en praticien éclairé et en savant distingué : nous renvoyons donc à son mémoire. Mais nous devons constater que le produit des étangs, en poisson, n'est jamais considérable, et qu'on gagnerait toujours beaucoup à les transformer en prairies irriguées.

Dans la Bresse et dans la Dombe, aux portes de Lyon, *Puvis* porte le produit annuel en argent d'un étang, à 40 francs par hectare.

Dans le Forez, le produit par hectare de terrain serait également de 40 francs, d'après les calculs de *Durand*.

Suivant *de Morogues*, les étangs de Sologne ne produisent en poisson que 12 à 15 francs par hectare, et le plus souvent leur produit ne dépasse pas 5 fr.

Enfin, d'après *de Marivaux*, le produit des étangs de Brême n'est que de 28 francs par hectare.

Ces chiffres parlent assez par eux-mêmes pour que nous n'ayons rien à y ajouter.

Il est probable que le rendement des étangs n'était pas si faible autrefois, car on s'expliquerait alors difficilement leur immense accumulation dans des pays, comme la Dombe, où ils paraissent, pour la plupart, avoir été construits dans l'avant-dernier siècle.

C'est qu'alors les pratiques religieuses, qui interdisent la viande pendant une grande partie de l'année, étaient généralement respectées, et que le poisson des étangs, si médiocre qu'il soit, était d'un grand secours aux ménagères et se payait probablement à des prix plus élevés (1) qu'à présent.

La difficulté que présentaient les voies de communication empêchait de consommer, comme on le fait à présent, dans les trois quarts de la France, du bon poisson de rivière, et même de mer, à la place du poisson fort médiocre des réservoirs; sur tous les bords de la Loire et de l'Allier, il y a toujours une assez grande différence de prix entre le poisson de rivière et le poisson d'étangs.

Le grand nombre d'ordres religieux et de couvents a aussi beaucoup contribué à multiplier les étangs, et nous en avons toujours remarqué de fort beaux à côté des endroits anciennement habités par des moines.

Les étangs occupent toujours les fonds des vallées, les endroits où se ramassent les principes fécondants charriés par les eaux, et qui sont généralement réservés pour les prairies naturelles. Aussi, il est remarquable que les pays à étangs multipliés manquent généralement de prés.

Or, il est clair que l'immense avantage qu'on retirerait de la transformation du fond de l'étang en prairie irriguée serait encore augmenté de toute l'amélioration qu'éprouverait l'agriculture du pays par la plus grande masse d'engrais produits.

Dans la Bresse, et spécialement dans la Dombe, on aménage les étangs d'une manière particulière. On les laisse en eau un ou deux ans, et on les cultive ensuite une année en *assec*.

C'est une espèce d'assolement avec jachère, cette dernière étant remplacée par le séjour de l'eau, ce qui produit pour le sol une sorte de fumure. On cultive généralement dans les années d'*assec* de l'avoine, et on obtient un produit de 20 à 25 hectolitres par hectare, qui doit être diminué de plus du quart, suivant *Puvis*, si on veut connaître le produit net. Ici, également, on voit que le produit des étangs n'est pas comparable à celui de la plus médiocre prairie. C'est vrai de dire que les bords marécageux de l'étang donnent, pendant six semaines de printemps et six semaines d'automne, un maigre pâturage pour les bêtes à cornes, nourriture qu'on doit compléter avec un supplément à l'étable. Ces pâturages contiennent généralement beaucoup de *carex* et quelque peu de *poa fluitans*, et sont si pauvres, que 6 hectares et 2/3 d'étangs ne peuvent nourrir, avec supplément à l'étable, comme nous l'avons dit, que 6 à 10 têtes de bétail, ou 3 à 4 chevaux, pendant ce court laps de temps.

(1) *Puvis* pense qu'à l'époque de l'établissement des étangs à poissons, la livre de ce dernier se vendait la valeur de 10 livres de froment, de 15 à 20 livres d'avoine et de 2 à 3 livres de viande de boucherie, tandis que maintenant elle ne vaut plus que 2 livres de froment, 4 livres d'avoine et 2/3 de livre de viande. On voit que les conditions des propriétaires d'étangs sont bien changées.

Nous dirons donc que l'aménagement des étangs de la Dombe est un progrès sur la généralité des pays à étangs, mais qu'on aurait encore un très-grand profit à en supprimer la plus grande partie, pour ne conserver que ceux qui pourraient servir de réservoir pour l'irrigation des terres sous-jacentes. Cela devient pourtant assez difficile dans la Dombe, par un fait assez curieux, qui ne se reproduit pas ailleurs : c'est que l'étang, appartenant à un propriétaire, le sol en appartient à un ou plusieurs autres (1), et qu'il devient assez difficile alors de passer les transactions nécessaires pour que le tout appartienne à une seule personne. Cette difficulté a été déjà vaincue par des propriétaires qui ont cultivé leurs étangs, et nous pensons que, dès que l'avantage qu'on retirerait de leur transformation en prés serait démontré, elle disparaîtrait devant l'appât du gain.

Nous finirons cet aperçu général en disant que beaucoup d'étangs, et les plus grands qu'on ait établis, ont pour but l'alimentation des canaux de navigation.

Ces réservoirs ne sont pas affectés à l'agriculture, mais, comme ils présentent des digues de dimensions colossales, on peut les étudier, pour se rendre bien compte des dimensions qu'on doit donner à ces importantes constructions.

En Espagne, il existe plusieurs réservoirs de grande di-

(1) « En outre, en Dombes, ils (les étangs) appartiennent quelquefois à plusieurs propriétaires, et il arrive souvent que le sol en labour n'est pas au pouvoir du propriétaire du sol en poissons. » (*Puvis*, Des étangs.)

mension, pour retenir les eaux nécessaires à l'irrigation ; le plus remarquable sert à arroser le terroir d'Alicante.

Dans le Morvian et la Puisaye, de nombreux étangs, peu étendus, servent à alimenter des usines, et, plus encore, les ruisseaux sur lesquels on fait flotter le bois à bûches perdues.

En Suisse, quelques réservoirs servent aux irrigations, et, en Hongrie et dans le Tyrol, aux usines et moulins.

Le tableau suivant, extrait de l'ouvrage si remarquable de *Minard* (1), inspecteur-général des ponts et chaussées, donne les capacités et les hauteurs d'eau de réservoirs construits pour alimenter des canaux de navigation.

(1) Cours de construction des ouvrages qui établissent la navigation des rivières, etc. On trouvera d'utiles renseignements sur les réservoirs servant à l'alimentation des canaux, dans un mémoire fort intéressant de l'ingénieur en chef *Valée*, sur les réservoirs d'alimentation, et particulièrement sur ceux du canal du Centre, inséré aux Annales des ponts-et-chaussées, 1833.

RÉSERVOIR	CANAL	NATURE de la digue.	HAUTEUR d'eau. maximum.	ÉPAISSEUR en tête.	TALUS intér.	TALUS extér.	CAPACITÉ	OBSERVATIONS.
			mèt.	mèt.	base.	base.	mèt. cub.	
St-Ferjol.	Du Midi.	Terre et murs	31.55	12.00	»	»	6,574,000	Les talus changent d'inclinaison.
Lampy.	Du Midi.	Mur.	13.65	4.90	»	2/15	1,672,000	Il y a des contre-forts.
Couzon.	D'Givors.	Terre et murs.	30.00	14.50	»	»	2,000,000	Les talus changent d'inclinaison.
Grosbois.	De Bourgogne	Mur.	21.00	6.50	14/21	1/21	8,586,000	
Chazilly.	Idem.	Mur.	22.00	»	»	»	5,327,000	
Cercey.	Idem.	Terre.	12.00	6.20	56/25	46/25	3,740,000	
Vioreau.	De Nantes à Brest.	Mur.	10.00	8.00	00	00	7,497,000	Sur une épaisseur de 2 mètres, au centre, construit en béton.
Du Boulet.	D'Ille et Rance	Terre.	6.70	»	»	»	6,000,000	
Torcy.	Du Centre.	Terre, revêtement maçonné.	11.00	6.00	3/2	5/2	2,380,000	Il y a des banquettes : 5 intérieures et 2 extér.
Grande-Vue	De Briare.	Terre.	8.10	»	»	1/15	5,400,000	
Glomel.	De N. à Brest.	Mur.	10.90	4.20	5/24	2/7	?	
Bosméléac.	Idem.	Mur.	14.50	4.50	00	00	»	
Marsden.	Uddersfield.	Terre.	15.00	2.70	25/14	25/14	»	

Il découle de tout ce que nous venons de dire, que le meilleur moyen de propager les irrigations dans les départements où elles sont à peine connues, consiste à utiliser les réservoirs existants et à en créer de nouveaux là où il n'en existe pas.

La capacité des réservoirs dépend de plusieurs considérations, et nous mettons en première ligne la quantité d'eau pluviale qu'on peut y amener. Il est évident que, si on doit les remplir avec l'eau abondante d'une rivière ou d'un ruisseau, ou même de fortes sources, on est libre de donner à son réservoir la capacité qu'on juge convenable. L'eau pluviale qu'on peut amener dans un réservoir dépend de la quantité de pluie qui tombe annuellement et de la nature du sol. La première donnée ne peut être fournie que par des observations soignées, et, lorsqu'on en manque, il faudra s'en rapporter au tableau que nous avons donné dans le livre II, et adopter la quantité de pluie tombée dans une localité analogue et rapprochée autant que possible; mais pour ne pas avoir de déboires en construisant un réservoir trop grand, il faudra ne compter que sur les trois quarts de cette quantité de pluie, si elle est élevée, et sur les cinq sixièmes, si elle est faible

La pluie qui tombe sur le sol est en partie absorbée; en partie, elle coule dans les vallons.

L'absorption du sol dépend de sa nature et de la distribution des pluies. Tout le monde sait que telle terre, très-perméable, absorbe souvent presque toute l'eau de pluie, tandis que telle autre en laisse couler une grande partie. La pente du sol est aussi à considérer, car, dans une pente forte, il s'écoule plus d'eau que dans une plaine. Les terrains cultivés en laissent couler plus que les bois et les bruyères, car, d'un côté, ils présentent une surface plus unie, et, d'autre côté, le sous-sol est tassé par les pieds des animaux et le talon de la charrue, et, en troisième lieu, enfin, les racines des arbres et des arbustes, qui pourrissent en terre, percent et ameublissent le sol, ce qui le rend plus perméable (1).

La constitution géologique du sol peut aider à connaître s'il laissera couler à sa surface beaucoup d'eau de pluie.

(1) On a observé, en Sologne, que la culture des pins sylvestres et maritimes finissait, huit ou dix ans après leur coupe, par assainir certains sols, et on s'est assuré que cet effet était produit par leurs racines pivotantes (on les sème toujours en place), qui perçaient la couche d'argile imperméable et qui, pourrissant ensuite, laissaient autant de trous semblables à des petits puits absorbants. Si la couche d'argile est trop puissante, les racines ne peuvent pas la percer, et les arbres se couvrent de lichens et meurent; on dit alors qu'ils ont atteint toute leur croissance.

Tout le monde sait que, généralement parlant, les formations calcaires sont les plus absorbantes, tandis que les diluviums modernes le sont bien moins.

Il semblerait résulter d'un savant mémoire déjà cité, de *Belgrand*, ingénieur des ponts et chaussées, que, dans le bassin de la Seine, en amont de Paris, les granites présentent des terrains peu perméables; le lias présente les terrains les plus imperméables; la formation oolithique inférieure, comprenant le calcaire à entroques, la terre à foulon, la grande oolithe et le forest-marble, est très-perméable; enfin, l'oxford-clay n'est que semi-perméable.

Nous pensons que ces observations, très-intéressantes en elles-mêmes, devraient être répétées sur d'autres localités, avant de leur accorder un caractère de généralité qu'elles n'ont pas encore. Ainsi, il est évident que les bancs d'argile, qui alternent avec les marnes compactes dans la grande oolithe, peuvent, en certaines circonstances, donner de l'imperméabilité au sol.

Dans l'état actuel de la science, nous pensons que la formation géologique du sol ne peut donner que des indications qu'on doit vérifier par l'observation directe soit des mares, soit des débouchés des ponts établis dans les vallées, soit enfin de la hauteur de l'eau dans les puits.

D'après une observation faite au réservoir de Gros-Bois, dans la vallée de la Bresme, et rapportée par *Minard* (1), il résulte que, dans un terrain assez imperméable, l'eau fournie au réservoir est à peu près les 0,58 de la pluie tombée. Nous pourrions citer des endroits où nous l'avons vue être même les 0,69; mais, en général, nous pensons que, dans les meilleurs terrains, on ne doit compter au plus que sur la moitié de la pluie tombée pour remplir les réservoirs (2).

Nous avons dit que la nature de la pluie influait aussi sur la quantité qui s'en écoulait à la surface. En effet, des pluies d'orage coulent sans pénétrer le sol, tandis que des pluies

(1) Cours de construction, etc., p. 317.

(2) Voici comment s'exprime à ce sujet *Puvis*, dans sa brochure sur les étangs :

« Lorsque le sol qui verse à l'étang est en terre labourable, dans les années ordinaires et avec un climat pluvieux, 1/4 ou 1/5 de l'eau pluviale peut arriver à l'étang; le sol en bois en fournit moins, parce que les grands végétaux en absorbent davantage, et que la culture ne l'a pas disposé de manière à faciliter l'écoulement des eaux surabondantes. »

Nous pensons que cette estimation est généralement faible, mais nous sommes d'accord avec l'auteur, lorsqu'il dit plus bas, que moins il tombe de pluie dans un pays, et plus il y en a d'absorbée par la terre altérée.

fines s'imbibent sans couler à la surface. Un sol moyennement humide absorbe plus d'eau qu'un sol trop desséché; aussi voit-on souvent une forte pluie d'été couler presqu'en entier à la surface sans humecter les terres, tandis qu'une petite pluie d'automne est absorbée en entier.

Il est, et nous le reconnaissons, des terrains où il y aurait folie à vouloir créer des réservoirs, ce sont par exemple les collines crayeuses de la Champagne pouilleuse; mais ces sortes de sols sont heureusement fort rares (1).

On s'étonnera peut-être en voyant que nous ne donnons aucune règle pour déterminer *a priori* la partie de l'eau de pluie qui, dans un terrain donné, se rendrait aux réservoirs.

Nous pourrions, comme certains auteurs, fabriquer des formules qui, avec des signes algébriques, en imposeraient aux ignorants; mais, comme le problème est loin d'être résolu, nous serions forcé d'y introduire de ces coefficients, à déterminer par l'expérience pour chaque localité, qui rendent les formules complètement inutiles. Nous avons préféré donner ce qu'on sait de général, sans nous servir des nombres inventés ou observés dans une localité, et inapplicables dans une autre, comme cela arrive toujours.

La meilleure règle à suivre dans l'établissement d'un réservoir, c'est de le placer de manière que les terrains supérieurs soient tellement étendus qu'on n'ait aucun doute sur sa facilité à se remplir. C'est ainsi que nous en avons agi pour les nombreux réservoirs que nous avons établis.

La capacité du réservoir dépend aussi de la surface qu'on veut irriguer. On peut même dire que ces deux quantités dépendent l'une de l'autre, de manière qu'on doit mutuellement les modifier avant de se décider sur un projet définitif d'irrigation.

Ici se présentent plusieurs considérations très-importantes pour l'étude de l'établissement d'un réservoir.

Nous avons déjà traité de la quantité d'eau nécessaire pour l'irrigation d'un hectare de pré, et nous avons vu que 250 mètres cubes en moyenne par hectare sont suffisants, mais qu'il en faudrait bien plus si le sol était très-perméable ou si on ne pouvait pas, par sa disposition, utiliser les colatures. Il faudra également se rendre compte du nombre d'arrosages qu'exige le climat sous lequel on opère.

(1) Il existe même dans ce pays des terrains tourbeux et marécageux au fond des vallées, ce qui prouve que des réservoirs pourraient y être établis.

Nous avons vu que dans le centre cinq à six arrosages après la première coupe nous suffisent pour en avoir une seconde et un regain. Mais on se tromperait si on pensait que 1,000 à 1,250 mètres cubes par hectare à arroser, présenteraient une capacité suffisante pour le réservoir.

D'abord cette eau ne représente que les arrosages d'été, et nous avons vu la grande utilité des arrosages d'hiver. C'est vrai que sur des sols imperméables nous pourvoyons à ces derniers au moyen des trop-plein des étangs et des eaux de source assez abondantes dans cette saison, et cela d'autant plus facilement, que l'époque des irrigations d'hiver est à peu près arbitraire, et que, si une année elles manquaient, la récolte n'en serait pas compromise comme par le manque de celles d'été. Si pourtant on ne pouvait pas en agir ainsi, il faudrait doubler la capacité de l'étang, puisque les irrigations d'hiver emploient pour le moins autant d'eau que celles d'été.

Si les pluies d'été sont fréquentes dans le pays, le réservoir peut se remplir plusieurs fois dans l'année, comme les étangs de M. d'*Angeville*; mais il est peu prudent de compter sur cette ressource, aussi nous pensons qu'on doit faire les étangs de manière qu'ils se remplissent de septembre à décembre, soit en quatre mois, et les disposer de manière à utiliser les trop-pleins dans l'hiver pour irriguer.

Un réservoir laisse évaporer de l'eau et en perd une certaine quantité par infiltration. Il faudrait donc augmenter sa capacité de la quantité d'eau perdue depuis les dernières pluies jusqu'au commencement de septembre où on finit de le vider. Nous avons vu de combien ces infiltrations et ces évaporations varient d'un pays à l'autre, aussi nous ne saurions pas nous décider à donner des règles empiriques pour les calculer; nous dirons seulement que plus le réservoir est profond, moins on a d'évaporation; mais qu'en revanche une forte charge d'eau augmente les infiltrations.

Dans deux étangs de Sologne placés dans un même terrain, l'un de $2^m,75$ de hauteur d'eau à la bonde, et l'autre de $1^m,15$, les abaissements à la surface pendant 15 jours de juillet, mesurés avec soin, ont sensiblement été les mêmes, ne différant que de un ou deux millimètres, tantôt en plus, tantôt en moins.

Si les pluies de printemps et d'été étaient fort rares dans un bon terrain imperméable, il faudrait augmenter au moins du tiers la capacité des réservoirs, en vue de ces pertes;

dans des terrains perméables, il faudrait la doubler, la tripler, et enfin, l'établissement d'un réservoir pourrait devenir même impossible.

On connaît les pertes immenses que les infiltrations font subir à certains biefs des canaux ouverts dans des terrains très-perméables, pertes qui ont nécessité des travaux d'étanchement très-dispendieux.

M. *Puvis* calcule que l'eau infiltrée par le sol des étangs de la Dombe, représente une hauteur de $1^{m},40$; il porte l'évaporation à un prisme de 40 centimètres de haut, le tout durant une année.

En Sologne nous avons vu des étangs perdre dans vingt-cinq jours du mois de juillet dans lesquels il n'est pas tombé de pluie, 40 centimètres d'eau; mais il faut dire que d'autres n'en ont perdu que 27, et qu'un seul qui évidemment avait des fuites, en a perdu $1^{m},10$.

Dans notre pratique dans le centre et le nord de la France, lorsque les étangs sont établis sur un sol argilo-siliceux ou terres blanches, formation si bien décrite par *Puvis* (1), nous pensons que les pluies et les orages compensent une partie de ces pertes; aussi nous établissons ordinairement nos réservoirs en leur donnant une capacité de 2,000 mètres cubes par hectare au lieu de 1,500.

La dernière question qui reste à examiner pour déterminer la capacité d'un réservoir, est celle de savoir s'il convient mieux de faire un vaste réservoir très-étendu et très-profond, ou d'en établir plusieurs, présentant ensemble la même capacité. Si nous voulions discuter cette question par chiffres, il faudrait prendre des exemples spéciaux, et nous sortirions de la généralité nécessaire. Le tact de l'ingénieur vaut mieux que les règles pour se décider dans les différentes circonstances, et un avant-projet pourra toujours faire connaître la différence dans la dépense. Mais il est de ces avantages ou de ces difficultés qu'on ne saurait pas soumettre au calcul, et que nous allons exposer ici. Nous appelons réservoirs ordinaires, ceux dont la profondeur d'eau à la bonde est comprise entre deux et cinq mètres (2), et grands réservoirs profonds, ceux dont la même profondeur est de 8,10 mètres et plus forte encore.

(1) Des étangs, etc., p. 33 et suiv.
(2) Nous pensons qu'on ne saurait établir un réservoir utile sans lui donner au moins 1 m. 75 de hauteur d'eau à la bonde.

Les grands réservoirs présentent l'avantage d'occuper bien moins de terrain pour la même quantité d'eau que les petits, et, probablement, celui de perdre un peu moins d'eau par l'évaporation et l'infiltration. Les réservoirs ordinaires ont d'autres avantages. La construction de leurs digues est facile et moins coûteuse en proportion, puisqu'il ne faut pas généralement aller chercher la terre bien loin, et qu'il ne faut pas la porter à une grande hauteur verticale. Un grand réservoir devant irriguer une grande surface de terre, se trouve éloigné des prés extrêmes sur lesquels il faut porter l'eau à l'aide de longs canaux, qui occasionnent une grande perte d'eau par les infiltrations qui ont lieu très-abondamment chaque fois qu'on arrose dans un terrain qui s'est essuyé dans l'intervalle de deux arrosages. Et, d'ailleurs, il faut commencer par remplir d'eau ces canaux avant d'en donner aux prés, ce qui occasionne encore une forte perte de liquide et de temps. Les accidents sont plus à craindre dans les digues élevées, et si, par malheur, elles viennent à crever, tout le pays est inondé, tandis qu'un réservoir ordinaire craint moins les accidents et ne contient pas assez d'eau pour produire de grands dommages. Ajoutons que, si on a une vaste irrigation alimentée par un seul réservoir, et qu'on ne puisse pas le remplir pour cause de réparations, toute l'exploitation se trouve à sec, tandis qu'avec deux ou trois réservoirs on peut les réparer successivement, et souvent, en diminuant un peu la *ration* d'eau des prés, continuer à irriguer le tout. Mais, supposant même que le tiers ou la moitié des prés restent à sec, ce serait un mal bien moins grand que de perdre la totalité de la récolte une même année, ce qui forcerait à vendre le plus grand nombre de ses bestiaux.

Enfin, on trouve bien plus facilement la place dans une gorge ou dans un pli du terrain pour construire un réservoir ordinaire que pour en établir un très-profond.

Les immenses réservoirs qu'on propose d'établir dans la partie supérieure du cours des rivières, pour en régulariser le débit et fournir en même temps de l'eau aux irrigations, ne peuvent être entrepris que par le gouvernement, qui en ferait couler l'eau, pour la vendre, dans de véritables canaux d'irrigation qui prendraient naissance dans un étang; au lieu d'être dérivés d'une rivière. Dans les paragraphes suivants nous traiterons de la construction des uns et des autres.

§ II. DISPOSITIONS DU TERRAIN. CHOIX DE L'EMPLACEMENT.

Le choix de l'emplacement où il faut établir le réservoir est de la plus grande importance. Il faut, d'après ce que nous venons de voir, qu'il y ait assez de terrains supérieurs pour qu'il puisse facilement se remplir dans le temps voulu. Si les terrains supérieurs appartiennent au même propriétaire que l'étang projeté, il suffit de s'assurer qu'ils sont assez étendus pour servir à son remplissage; mais s'ils appartiennent à des propriétaires différents, il faudra étudier le terrain pour connaître si les eaux, par quelque disposition de fossés faciles à prévoir, ne pourraient pas être amenées dans un autre bassin avant de se rendre dans le réservoir. Dans ce cas, l'emplacement choisi serait mauvais, à moins que, par une convention régulière, les propriétaires supérieurs ne s'engagent à ne pas détourner les eaux pluviales de leur cours naturel. Quelquefois, le bassin dans lequel on veut construire le réservoir ne donne pas assez d'eau pour le remplir, mais un bassin voisin en fournit en abondance. On construit alors un second réservoir un peu plus haut dans ce second bassin, et on le fait communiquer avec le premier, par un fossé contournant le coteau, ou le traversant en tranchée, ou même par un aqueduc souterrain. Souvent aussi, on ne construit pas ce second réservoir, et on se contente de recueillir les eaux du second bassin dans un grand fossé transversal qui les verse dans le premier bassin.

Il est aussi important de placer le réservoir dans une partie élevée de la propriété. Plus haut on le place, plus on a de terrain irrigable. Les deux conditions que nous venons d'exposer se contrarient quelquefois, aussi on est forcé de prendre l'eau du réservoir à diverses hauteurs, pour irriguer une plus grande surface. C'est là une disposition vicieuse, à laquelle il ne faut avoir recours que lorsqu'on ne peut absolument pas faire autrement.

Dans les pays de montagne, on trouve facilement des coteaux rapprochés, qui permettent de faire des digues d'une petite longueur, mais la pente longitudinale du thalweg étant considérable, il faut leur donner une grande hauteur, si on veut avoir un cube d'eau considérable. Dans les pays de plaine, au contraire, on trouve des plis de terrain où les digues doivent être fort longues, mais qui, même avec une faible hauteur, retiennent une grande quantité d'eau, à cause de la grande étendue superficielle que prend l'étang. Entre ces deux extrêmes, se trouvent les petites collines, qui sont les plus avantageuses pour l'établissement des réservoirs dans leurs vallées.

Nous avons tracé, dans les figures 61, 63, 65, 67 et 68, quelques dispositions de terrain telles qu'on les rencontre le plus communément pour l'établissement des réservoirs.

En choisissant l'emplacement d'une digue ou chaussée, il faut aussi se préoccuper des moyens de se procurer les matériaux pour la construire. Nous verrons que, presque toujours, les digues en terre paraissent préférables aux autres; aussi, il faut, autant qu'on le peut, se mettre à côté de quelque mamelon propre à fournir de la bonne terre; car nous pensons que, dans le plus grand nombre de cas, il y aurait imprudence à prendre la terre dans l'intérieur ou au fond même de l'étang.

Le bon choix d'une place pour établir l'étang, est de la plus grande importance pour l'économie dans les dépenses. Souvent on diminue de moitié les travaux à faire, tout en conservant les mêmes avantages.

L'étang des bois, dans la propriété de la Caroline, en Berry, avait d'abord été projeté avec le profil de la figure 76. Lors du tracé définitif, nous l'avons étudié de nouveau, et nous sommes parvenu à augmenter sa surface de plus d'un hectare et demi, en diminuant le mouvement de terre pour la construction de la digue.

L'ingénieur doit bien étudier son terrain et peser tous les inconvénients et tous les avantages, avant de se décider pour un emplacement. C'est un beau champ pour exercer son intelligence, et pour utiliser son habitude des travaux.

En résumé, nous pouvons dire qu'un bon emplacement doit satisfaire aux conditions suivantes :

Être assez haut pour irriguer le terrain qu'on veut transformer en prairie;

Être dans un bassin qui puisse facilement le remplir, soit avec les eaux pluviales, soit avec des sources, soit enfin par une dérivation d'une rivière;

Avoir la terre et les matériaux à proximité, pour la construction de la digue;

Être dans un sol aussi imperméable que possible; et pour cela on évitera de placer le fond de l'étang sur des rochers fendus ou des galets, mais on choisira, au contraire, un en-

droit bien engazonné, même par des joncs et des laiches; cela n'y fait rien (1);

Enfin, présenter le moindre développement de digue pour la plus grande contenance possible.

Il n'est pas rare que toutes ces conditions se trouvent réunies dans un endroit bien choisi; mais, dans tous les cas, il faut chercher à en approcher le plus possible.

Quelquefois, pour profiter d'un étang existant qui n'a besoin que d'être agrandi, on néglige un emplacement meilleur où l'on pourrait en établir un nouveau. Il faut, dans ce cas, bien peser le pour et le contre, et bien calculer si la diminution de dépense peut compenser les désavantages de la position. Il nous est arrivé quelquefois de supprimer un étang pour en établir un nouveau dans un endroit plus convenable; d'autres fois nous avons conservé les étangs existants, malgré leur position médiocre, pour ne pas trop contrarier le propriétaire, qui ne comprenait pas bien les avantages du nouvel emplacement que nous proposions.

Nous finirons par dire que les étangs d'irrigation, peu nombreux, ne sont nullement nuisibles à la santé, mais que pour mesure d'hygiène, il faut éviter autant que possible de les placer à une grande proximité des habitations, particulièrement lorsque les vents dominants passeraient sur l'étang pour arriver aux maisons. Dans certains pays, d'ailleurs, il paraît que les étangs à proximité des puits en gâtent les eaux, mais en tous cas on peut toujours assainir les puits en les creusant plus profondément.

L'ingénieur en chef *Barré de Saint-Venant* a traité dernièrement dans une brochure la question de l'insalubrité des étangs, et il a fort bien reconnu qu'on l'exagère beaucoup. Il énumère toutes les conditions dans lesquelles les miasmes ne sont pas à craindre, et en résumé il ne trouve du danger qu'aux étangs dont le fond est plat sur un sol non calcaire et imperméable, sans être entouré d'arbres, et fortement vaseux. Cet ingénieur propose trois moyens pour assainir les étangs, dont *Puvis* avait déjà parlé. Ils consistent à rendre moins grands, par des déblais ou des digues, les relais des bords, et à planter des arbres tout autour de l'étang. Les terrassements nous paraissent coûteux, et nous ne saurions pas souvent y

(1) Nous avons déjà vu que l'entière imperméabilité n'est pas nécessaire. En Dombes, on sait fort bien qu'il se forme au fond des étangs un béton imperméable, qu'on doit rompre pour les mettre en culture. (Voyez *Puvis*, Des étangs, p. 181.)

avoir recours. Quant aux plantations, nous les conseillons presque toujours aux propriétaires.

On peut voir dans ce travail remarquable des calculs savants sur les effets des travaux proposés, mais nous leur reprochons de partir d'une donnée qu'on ne rencontre pas, c'est-à-dire d'une forme de terrain mathématiquement rigoureuse, représentant un cylindre concave à base de parabole, pour pouvoir faire usage des formules mathématiques que l'auteur manie avec une grande habileté.

Finissons par transcrire les conclusions de cette brochure :

« Nous voyons que l'insalubrité n'est pas inhérente aux étangs; elle tient à la forme ordinaire de leurs bords. Il existe plusieurs moyens de les rendre tous innocents, par quelques travaux médiocrement coûteux, dont la dépense est compensée en totalité ou en partie par un gain de terrain; et ces travaux, pour un grand nombre, ne sont même point nécessaires, car beaucoup ne sont point insalubres.

» On peut donc, sans crainte, conserver et multiplier les étangs.... Il n'importe pas moins que les sociétés savantes cessent d'encourager à les détruire. Ce serait, dans le plus grand nombre de localités, rendre l'irrigation impossible, perdre les eaux et les limons, et se priver d'un moyen efficace d'arrêter les dégradations et les inondations, et de régulariser les cours d'eau. Ce serait par conséquent tarir une des sources les plus précieuses de la fortune publique, et aller à l'encontre du but social vers lequel il est de toute nécessité de tendre désormais »

§ III. DIGUES, DISPOSITION, PROFIL, TRACÉ, CONSTRUCTIONS.

Lorsqu'on a un étranglement prononcé dans une vallée, et que l'on peut placer l'étang en amont de cet étranglement, la meilleure disposition de la digue consiste à la faire droite, en réunissant les deux points de niveau à la hauteur qu'on veut donner à la digue les plus rapprochés.

Il arrive cependant le plus souvent que la forme du bassin dans lequel il convient d'établir un réservoir, est telle qu'une digue droite serait extrêmement longue, et donnerait un étang d'une trop grande superficie. Il convient alors de la tracer, suivant une ligne arrondie ou poligonale, avec la partie concave du côté d'amont.

On rejoint ainsi la partie élevée du terrain avec un bien

moindre développement de digue. Quelquefois on est forcé, par des obstacles naturels, de changer la direction de la digue; c'est ce qui nous est arrivé dans l'étang que nous avons établi à Bréviande, où un chemin que nous ne pouvions pas inonder, nous a forcé à changer brusquement la direction de la digue, en lui faisant faire un angle droit avec la direction principale (1).

Quelquefois aussi le terrain présente des inégalités, des monticules placés de telle façon, qu'en les comprenant dans la digue on diminue de beaucoup son cube de remblais. Il faut savoir profiter de cette disposition du sol, et ne pas craindre de tracer la digue suivant une ligne tortueuse.

Nous avons rencontré de ces monticules dans quelques-uns des étangs de la Caroline, dans le Berry.

Toutes les fois qu'on change la direction d'une digue, il faut l'arrondir, spécialement si la digue est en terre, car c'est dans ces angles qu'on a le plus à craindre les accidents de rupture.

En résumé, il faut s'efforcer de rendre, pour une même capacité d'étang, la digue la plus courte et la moins dispendieuse possible.

Les digues peuvent être en terre simplement, ou en terre avec corrois, ou en maçonnerie, ou enfin partie en terre et partie en maçonnerie combinées de différentes manières.

Pour les étangs ordinaires, qui ont de 2 à 5 mètres de hauteur d'eau à la bonde, nous croyons que, dans le plus grand nombre de cas, les digues simplement en terre sont préférables comme moins coûteuses, plus faciles à établir, et présentant une solidité suffisante.

Pour les réservoirs plus profonds, on peut encore employer les terres dès qu'on en a d'assez bonnes à proximité, et nous en connaissons plusieurs qui tiennent ainsi parfaitement l'eau. Le réservoir de Pralormo a une hauteur d'eau à la bonde de $18^{m},20$; sa digue est en terre, et, depuis 20 ans qu'il existe, elle ne s'est pas dégradée (2).

Le profil en long d'une digue est le plus simple possible, puisque son couronnement est de niveau sur toute sa longueur. Lorsque la digue est en terre, nous sommes dans l'habitude de la faire plus haute au milieu, là où elle est plus élevée, qu'aux deux extrémités. En agissant ainsi, nous avons

(1) Voyez f. 9.
(2) Voyez fig. 165.

en vue le tassement des terres d'abord, qui quelquefois se prolonge au-delà des prévisions; et puis, si par malheur, dans un orage, un engorgement du déversoir forçait l'eau à déborder, il est préférable que cela ait lieu sur les extrémités de la digue, où la chute étant peu considérable, les dégâts seraient bien moindres qu'à la bonde où la chute serait de plusieurs mètres. Nous verrons, d'ailleurs, que c'est toujours dans les parties latérales de la digue qu'on établit les déversoirs destinés à évacuer le trop-plein.

Lorsque nous avons commencé à établir des étangs, nous avons étudié avec soin les dimensions qu'il fallait donner aux digues pour résister à la poussée de l'eau. Nous avons trouvé dans *de Prony*, dans *Navier*, dans *Venturoli*, et dans tous les traités de mécanique, des formules pour calculer l'épaisseur des murs en maçonnerie pour soutenir la poussée des terres et de l'eau, mais nous n'avons rien trouvé de rigoureusement applicable aux digues en terre.

Nous remarquerons à ce sujet que la pression supportée par une digue en terre est toujours moins forte que la résistance de cette digue. En effet, supposons le cas le plus défavorable, celui où les deux talus seraient à 45°, et où la digue n'aurait pas d'épaisseur en tête, et formerait un triangle rectangle et isocèle f. 141.

La pression supportée par une tranche verticale infiniment petite de la digue serait $Q = \frac{\pi h^2 (1)}{2}$, en faisant $\pi =$ au poids du mètre cube de l'eau, et $h =$ à la hauteur d'eau derrière la digue. Cela revient à dire que la pression est égale à un rectangle ayant ab pour base, et la moitié de $h = ac$ pour hauteur.

Construisons ce rectangle et appliquons la force Q à son point d'application en d, au tiers de la ligne ba en partant de b, en observant que la direction de cette force est normale à la ligne ab. On voit que la pression Q tend à enfoncer la digue dans le sol. Décomposons-la en deux autres forces, m et n, dont l'une, n, est anéantie par la résistance du sol auquel elle est perpendiculaire, et l'autre, m, tend à faire glisser la digue sur sa base, à laquelle elle est parallèle, et cherchons la valeur de cette dernière force en fonction de h.

(1) *Navier*, Résumé des leçons données à l'Ecole des ponts-et-chaussées, T. I, p. 147

Nous avons d'abord :

$$Q = \pi \frac{h^2}{2} \text{ et } 2m^2 = Q^2, \text{ car } m = n$$

d'où on tire :

$$m^2 = \frac{\pi^2 h^4}{4} \times \frac{1}{2} \text{ et } m = \frac{\pi h^2}{2} \sqrt{\frac{1}{2}}$$

$$= \pi h^2 \times \sqrt{\frac{1}{8}}$$

La pression horizontale supportée par la digue est donc égale au produit du carré de la hauteur d'eau et du poids d'un mètre cube d'eau multiplié par la racine carrée de 1/8.

Si maintenant, nous supposons un même poids spécifique aux terres qu'à l'eau, et qu'en même temps nous supposions que ce poids soit la seule résistance à vaincre par la pression de l'eau, nous trouvons que la résistance R, opposée à la force Q, lui est encore supérieure ; car, en effet, nous avons :

$$R = fb \times \frac{1}{2} h \times \pi$$

et remplaçant fb par sa valeur h :

$$R = 2h \times \frac{1}{2} h \pi = h^2 \pi$$

D'où il résulte que, même dans toutes ces hypothèses désavantageuses, la puissance qui presse les terres pour les faire glisser horizontalement n'est qu'un peu plus du tiers de la résistance qu'elles y opposent.

C'est donc ailleurs qu'il faut chercher la cause de la destruction des digues. Cette cause existe dans les infiltrations et dans le clapottement des vagues, qui délaient la terre et ouvrent peu à peu un passage à l'eau, passage qui s'agrandit toujours, et finit par emporter la digue dès que l'eau peut couler par une large voie.

Ces divers effets ne peuvent malheureusement pas être soumis au calcul ; aussi on ne peut se régler que sur les observations faites sur des réservoirs existants.

Nous avons trouvé, dans les auteurs, des règles empiriques pour déterminer l'épaisseur à donner à la crête de la digue et les talus des terres.

Quelques-uns proposent de donner en tête une largeur

égale à la hauteur de la digue ; d'autres donnent un certain nombre de mètres, comme 6, 4, ou 2, sans expliquer les raisonnements qui les ont conduits dans cette détermination (1).

Généralement, on donne des talus intérieurs et extérieurs tels, que les terres qu'on emploie puissent, suivant leur nature, se soutenir.

Toutes ces méthodes sont vicieuses, et nous allons voir avec détail en quoi elles pèchent, tout en cherchant le véritable profil qu'il convient de donner aux digues en terre.

Il set évident que l'épaisseur de la digue en tête ne dépend nullement de la profondeur du réservoir, que c'est une quantité constante qui ne dépend que de la perméabilité des terres employées; car l'augmentation de résistance nécessaire pour une augmentation de hauteur est donnée, comme nous l'avons vu, par l'augmentation d'épaisseur due aux talus.

Nous verrons dans un moment pourquoi plusieurs ingénieurs ont été portés à faire cette épaisseur très-grande. A moins d'avoir de très-mauvaises terres qu'on ne devrait pas alors employer à la construction d'une digue, l'expérience nous a appris qu'une épaisseur en tête de 1m50 à 2 mètres était toujours plus que suffisante pour la solidité. Il faut, de plus, remarquer que cette épaisseur se trouve augmentée de ce qu'ont gagné les talus avant de joindre la surface de l'eau ; car la digue doit toujours être plus élevée que l'eau, à cause des vagues produites par les vents, vagues qui, si elles pouvaient passer par-dessus, entameraient bientôt l'arête extérieure de la crête, et finiraient par ouvrir un passage à l'eau. La quantité dont il faut que la digue dépasse le niveau de l'eau, dépend de la surface des réservoirs et de l'intensité des vents.

Dans les grands réservoirs, on donne à peu près un mètre à cette hauteur ; mais quelquefois cela ne suffit pas. Dans les réservoirs ordinaires, d'une superficie de 3 à 7 hectares, si les vents ne sont pas très-orageux, nous pensons que 0m,70 seraient une hauteur suffisante ; mais il ne faudrait pas se tenir

(1) *Polonceau* (Des eaux relativement à l'agriculture, p. 202) donne la règle suivante que nous n'approuvons pas non plus :

« Le couronnement de la digue doit avoir, vis-à-vis chacun de ces points, une longueur égale au quart de son élévation au-dessus du sol, quand cette hauteur n'a pas plus de 5 mètres; au tiers quand elle excède 5 mètres, et la moitié de la hauteur quand elle a 7 mètres. »

Nous nous déciderions bien difficilement à faire une digue ayant ainsi une largeur en tête variable, c'est une complication de construction bien inutile.

en dessous, car il y aurait danger de voir bientôt la digue se dégrader. Il est inutile d'avertir qu'en construisant la digue, il faut la tenir plus élevée du niveau qu'on veut lui donner, de tout le tassement qu'on présume devoir être pris par les terres. On compte généralement $1/20^e$ de tassement, ce qui fait que si la digue doit avoir par exemple $2^m,40$ d'élévation, il faudra la construire de $2^m,54$. Mais nous devons avertir que les tassements ne se font presque jamais d'une manière tout-à-fait uniforme, et qu'on est presque toujours forcé de recharger la digue sur plusieurs points, l'année qui suit sa construction.

La forme et la pente des talus intérieur et extérieur nous ont paru devoir être étudiées avec le plus grand soin, et nous avons pensé qu'on ne pouvait mieux faire, que d'observer et de lever des profils exacts des digues toutes en terre qui, existant depuis de longues années, ont pu s'asseoir de la manière la plus solide, et avec les pentes que doivent prendre les terres pour arriver à un état d'équilibre.

Nous allons consigner ici les résultats de nos observations:

Le talus extérieur est toujours sensiblement le même que le talus naturel que prennent les terres remuées, abandonnées à elle-mêmes; il dépend donc de la nature des terres, et nous pensons qu'il doit varier entre 1 et 1 3/4 de base pour 1 de hauteur. En coupe transversale, ce talus suit sensiblement une ligne droite. Il en est tout autrement du talus intérieur, exposé au clapottement de l'eau et placé dans un autre milieu. Commençons par dire que, contrairement à ce que nous supposions d'abord, la forme et l'étendue du talus intérieur sont à peu près indépendantes de la nature des terres qui ont servi à la construction de la digue. Les terres fortement argileuses et les sables presque purs prennent à peu près la même pente et la même forme.

On pourrait peut-être expliquer ce fait, en observant que, par l'effet du clapottement des vagues, les argiles se delaient, et que sur une certaine épaisseur de la digue on n'a plus, après plusieurs années, que du sable presque pur.

Nous avons étudié, avec soin, 17 étangs existants en Sologne, en Berry, dans la Dombes et en Touraine, a côté de la Brenne, et coordonnant toutes ces observations, nous sommes arrivé aux conséquences suivantes:

Les talus intérieurs ont toujours une base très-allongée, qui a varié dans les étangs étudiés, entre la hauteur de l'eau

multipliée par 3,15, et la même hauteur multipliée par 2,60. Nous avons pris la moyenne des 17 observations, et nous avons trouvé la hauteur multipliée par 2,83. Nous avons donc adopté, dans nos constructions d'étangs, des talus intérieurs ayant 2,80 de base pour 1 de hauteur.

En profil, ce talus ne suit pas une ligne droite, mais une ligne concave.

La ligne qui se rapproche le plus de celles que nous avons levées avec soin dans nos 17 observations, est une parabole dont le paramètre est $2p = \frac{h}{a}$, h étant la hauteur de l'eau dans le réservoir, et a le coefficient par lequel il faut multiplier la hauteur h pour avoir le pied du talus. Le sommet de la parabole se trouve au point où la ligne d'eau touche le talus, et la ligne d'eau est l'axe des abscisses. Dans nos constructions nous faisons généralement, suivant ce que nous avons dit: $a = 2,80$.

On peut très-facilement tracer grafiquement cette courbe, comme on le voit dans la figure 363. La ligne gi suit l'horizontale et représente la ligne d'eau; sa longueur est prise égale à la base du talus, soit à ah; la ligne gb, perpendiculaire sur l'extrémité de celle-ci, est prise égale en longueur à la hauteur de l'eau dans le réservoir, soit h. On construit un rectangle sur ces deux lignes, et il est évident que la ligne ab représente la ligne de terre. On réunit ensuite ib par une diagonale, et sur son milieu k on élève une perpendiculaire qui coupe en l la ligne ig. On fait ensuite centre en l, et avec un rayon li on décrit une demi-circonférence, qui passe nécessairement par i et par b. La longueur gs ainsi trouvée, est le paramètre, et la parabole passera par le point a, car on a, en effet, $gb = ia$, et, par une propriété connue du cercle $gb^2 = ia^2 = ig \times gs$, ou bien pour le point a on a $y^2 = 2px$, qui est bien l'équation de la parabole.

Dans une forte digue, il y aurait une économie sensible de terrassement à lui donner cette forme concave; mais dans les digues ordinaires, nous donnons d'habitude 2,80 de base pour 1 de hauteur, et nous laissons ensuite agir l'eau pour donner la concavité voulue.

On comprend maintenant la raison pour laquelle les ingénieurs, qui ne donnent que 1 ou 1 1/2 de base aux talus intérieurs, ont été conduits à exagérer la largeur en tête de la digue; en effet, les terres devant prendre un talus beau-

coup plus allongé, il fallait que l'eau pût faire dégringoler la terre d'en haut pour l'étendre en bas. La ligne pointillée *m o p* indique une digue ordinaire, et on voit le prisme de terre qui doit se déplacer pour obtenir le talus naturel dans l'eau.

L'ingénieur *Minard* l'a parfaitement compris ; aussi, dans son cours de construction, il critique ces talus trop rapides, qu'il faut ensuite soutenir par des travaux d'art fort dispendieux.

Il y a grande économie, pour la même quantité de remblais, à suivre le profil que nous donnons, car on doit porter les terres sur des points moins élevés.

De cette manière, nous donnons en tête à nos digues une épaisseur de 1^m80 seulement, qui, à la hauteur de l'eau, à 60 centimètres plus bas, est déjà de 4^m08, épaisseur plus que suffisante pour que, même avec les plus mauvaises terres, on n'ait pas à craindre les infiltrations.

Des anciennes digues, trop larges sur leurs chaussées, nous ont permis d'augmenter la contenance de plusieurs étangs, sans toucher à leur digue, mais en en établissant une nouvelle au-dessus de l'ancienne.

Dans les grands réservoirs, on a fait des perrés sur les talus intérieurs trop rapides, mais ils n'ont pas tenu, car, comme l'observe fort bien *Minard*, le clapottement des vagues délaie et fait couler la terre sous le perré, et si le talus est à 45°, les pierres, qui se soutiennent mutuellement, ne peuvent pas s'affaisser peu à peu ; il arrive donc un moment où le tout se disloque. Pour remédier à cet inconvénient, on a été conduit à soutenir le talus intérieur par des petits murs indépendants les uns des autres. Que de dépenses on aurait épargnées en donnant aux terres, tout d'abord, le talus qu'elles prennent naturellement dans l'eau.

Nous ne conseillerions que bien rarement d'établir les digues des réservoirs en maçonnerie, car elles sont généralement bien plus coûteuses, et ne présentent pas une plus grande solidité, tandis qu'en cas de dégâts, les digues en terre sont d'une réparation bien plus facile. Ce ne serait que dans le cas où les bonnes terres seraient extrêmement loin de l'emplacement du réservoir, qu'on devrait, par économie, avoir recours à la maçonnerie soit en briques, soit en pierres.

Nous nous étendrons donc fort peu sur ce genre de constructions, dont nous donnons aux planches plusieurs modèles, tirés des grands réservoirs existants (1).

Pour déterminer l'épaisseur de ces digues en maçonnerie, on a les formules suivantes données par *Morin* (2), d'après Poncelet.

Epaisseur à donner à une digue en maçonnerie à parements verticaux :

$$x = 0{,}865\ (H - h)\sqrt{\frac{1000}{p}}$$

Dans cette formule on a :

x = l'épaisseur cherchée.

H = la hauteur de la digue.

h = la hauteur du niveau des eaux, en contre-bas de l'assise supérieure de la digue.

p = le poids du mètre cube de la maçonnerie employée.

Pour les digues à parement extérieur incliné, on en trouvera l'épaisseur, d'après les remarques suivantes, dues au même savant :

« Tous les revêtements à parement intérieur vertical, et dont le parement extérieur a une inclinaison sur la verticale comprise entre zéro et 1/6, ont, à $\frac{1}{120}$ près, la même épaisseur à 1/9 de leur hauteur au-dessus de la base. Lorsque le talus extérieur est à 1/5, la même égalité a encore lieu, mais à 1/71 près. »

Enfin, dans le cas de deux parements inclinés, on a, pour résister au déversement de la digue, la formule suivante :

$$x = h\left(-\left(n + \frac{n'}{2}\right) \pm \sqrt{\frac{1000}{3\delta'} + \frac{n^2}{3} - \frac{n'^2}{12}}\right)$$

Dans laquelle on a :

x = à la largeur du mur à sa partie supérieure.

δ' = au poids du mètre cube de maçonnerie.

n = au fruit, par mètre de hauteur du mur, du parement extérieur.

n' = au fruit, par mètre, du parement intérieur du mur.

h = hauteur de l'eau derrière le mur.

(1) Voir, pour plus de détails, la description des planches.

(2) Aide-mémoire de mécanique pratique, p. 325.

Et pour résister au glissement sur la base on a la formule :

$$x = \frac{h^2}{2} \times \frac{1000 - (n + n') \left(K \delta' + \frac{2c}{h} \right)}{K \delta' h + c}$$

dans laquelle x, h, δ', n et n' représentent les mêmes quantités que dans la formule précédente, et :

K = coefficient du frottement du mur sur sa base. Si le mur est établi sur une couche de béton, on a K = 0,76, s'il repose sur le sol naturel (terre ou sable) ; K = 0,57, d'après les observations de *Mary* ; sur roche si la maçonnerie faisait bien corps avec le roc, on aurait, comme pour la maçonnerie, K = 0,76.

c = cohésion du mur sur sa base par mètre carré de cette base ; si le mur repose sur béton, c = de 10,000 à 144,000, selon que le mortier employé est de médiocre ou d'excellente qualité, la maçonnerie n'ayant aucune cohésion avec un sol de terre ou de sable, on doit faire $c = o$ dans la formule, quand le mur repose directement sur le sol.

Dans ce dernier cas la formule devient :

$$X = \frac{h^2}{2} \times \frac{1000 - (n + n') K \delta'}{K \delta' h}.$$

Ces formules indiquent l'épaisseur à donner au mur pour qu'il y ait équilibre statique ; mais dans la pratique, il conviendra toujours de l'augmenter, et cela avec d'autant plus de raison que la maçonnerie n'est presque jamais parfaitement homogène, et que la digue doit soutenir le choc des vagues que produit le vent.

Souvent, dans les digues en terre, on établit un corroi en terre glaise dans le milieu pour diminuer les chances d'infiltrations. Nous ne sommes pas trop partisan de cette méthode, qui est toujours coûteuse. Nous avons construit des réservoirs qui ont perdu un peu d'eau, par infiltration dans la digue, la première année, et qui se sont étanchés parfaitement ensuite. Si on veut faire des corrois, il faut avoir soin de bien les pilonner et de les damer de manière qu'ils ne forment qu'un tout homogène ; il faut ensuite que le corroi soit partout recouvert au moins par 50 centimètres de terre ordinaire pour qu'il puisse conserver une certaine humidité, car la glaise qui se dessèche se fend irrégulièrement, et ses fentes

ne se referment plus, à moins qu'on ne la mouille et qu'on la pétrisse nouvellement.

On donne ordinairement à ce corroi de 0^m60 à un mètre d'épaisseur.

Le tracé des digues se fait avec le niveau, et il est utile, pour les digues en terre, de placer à chaque profil en travers quatre piquets : deux donnent les arrêtes de la chaussée, et les deux autres les pieds des talus.

La fondation des digues est très-importante pour leur solidité, aussi nous allons en parler avec quelque détail.

Commençons par les digues en terre :

La profondeur à laquelle il faut fonder ces digues dépend de la nature du sol.

En général, il faut atteindre le sous-sol, qui est plus tassé et plus imperméable.

Dans tous les cas, il faut toujours arracher avec soin les gazons ou les plantes qui se trouveraient sous la digue.

Ordinairement on fait, sur une épaisseur d'un mètre, les fondations du milieu de la digue plus profondes que le reste, et on les remplit avec soin de bonne terre battue ; cela a pour but d'interrompre la continuité des filtrations qui pourraient s'établir entre le sol et les terres rapportées (1).

Une règle dont il ne faut jamais se départir, est de ne pas fonder sur une surface plane, mais sur une surface raboteuse. On l'obtient en faisant piocher le fond des fondations en travers de la digue ; car si on piochait en long on pourrait avoir des espèces de sillons qui faciliteraient les infiltrations. Les terres qui proviennent des fouilles de fondation ne doivent être employées, lorsqu'elles sont bonnes, que pour former le couronnement des digues.

Pour fonder les digues en maçonnerie, il faut s'appuyer sur un terrain solide et quelquefois bâtir sur pilotis ; nous renvoyons les lecteurs aux traités spéciaux de construction (2).

La construction des digues en terre doit être très-soignée, on doit éviter de faire les terrassements avec des terres trop sèches ou délayées par l'eau. On doit bien émietter la terre et la faire tasser soit par le passage des brouettes et des voitures, soit, mieux encore, avec des demoiselles. Si on employait de grosses mottes argileuses, qui laisseraient des espaces vides, la solidité de la digue serait grandement com-

(1) Voyez t. 142.
(2) *Gauthey, Rondelet, Sganzin, Minard, Bélidor*, etc.

promise. On doit complètement interdire aux ouvriers l'emploi des gazons, si ce n'est en revêtement; aussi est-il utile, pour empêcher les fraudes, de faire déposer dans un endroit à proximité et de faire cuber ceux qui proviennent des fouilles de fondation et de la surface du terrain d'où l'on retire les remblais.

Il faut également s'interdire l'emploi des moellons et des grosses pierres, qui augmentent, c'est vrai, le poids de la digue, mais qui facilitent outre mesure les infiltrations.

Nous connaissons en Piémont des digues qui sont plantées d'arbres sur leur talus extérieur; mais ces digues ont une longueur exagérée en tête. Dans notre pratique nous conseillons de s'abstenir de ces plantations, qui, pour un faible produit, font courir de grands risques, puisque souvent une racine morte donne lieu à des infiltrations qui finissent par ouvrir une large brèche dans la digue. Ce qu'on peut faire tout au plus, c'est de planter sur le couronnement de la digue une haie soit d'épine blanche, soit de grands ajoncs pour empêcher les troupeaux de s'y promener, et de faire des dégradations dans le temps du pacage.

Il convient de semer du gazon sur les talus et de ne mettre l'eau que six à huit mois après la construction de la digue, pour laisser aux terres le temps de se tasser et de s'asseoir.

En dehors du talus extérieur, on peut, sans inconvénient, planter une rangée d'arbres, soit peupliers, soit autres. Nous avons vu plus haut que ces rideaux d'arbres empêchent les étangs de devenir malsains.

La construction des digues en maçonnerie doit être également très-soignée, car c'est presque toujours par des manques de continuité dans la maçonnerie, qu'elles risquent de se détériorer.

Il paraît pourtant que, quoi qu'on fasse, on ne parvient pas dans les grands réservoirs à empêcher toute infiltration à travers les murs.

§ IV. BONDES ET DÉVERSOIRS.

Les réservoirs qui reçoivent les eaux pluviales doivent pouvoir les laisser écouler, lorsqu'étant pleins, les eaux déborderaient et détruiraient la digue. Ce sont les déversoirs qui remplissent ce but. Il faut aussi pouvoir vider ces réservoirs pour en verser les eaux sur les terres à irriguer, et ce sont les bondes ou autres constructions analogues qu'on emploie pour cet objet.

Nous donnons dans les planches les dessins des principaux déversoirs et des bondes les plus utiles; aussi nous n'allons en parler ici que fort brièvement.

Un étang peut être alimenté par un canal dérivé d'une rivière, et dans ce cas le déversoir est peu important, car une fois l'étang rempli, on baisse les vannes de prise d'eau, et le déversoir ne sert plus qu'à laisser passer la petite quantité d'eau pluviale qui se réunit dans le réservoir. Lorsque l'étang est alimenté par un ruisseau, sur le cours et dans la vallée duquel il se trouve établi, le déversoir est très-important pour obvier aux dégâts qui résulteraient du débordement de l'eau au-dessus de la digue. Un déversoir suffit, si le ruisseau provenant de sources voisines ne charrie que peu de limon ou même de sable et de gravier. S'il en charrie beaucoup, il faut adopter une autre disposition qui consiste à faire passer le ruisseau dans un lit artificiel creusé sur le bord de l'étang, et qu'on nomme habituellement rivière de ceinture. Il est inutile de dire que ce fossé, qui doit servir de lit au ruisseau pendant les crues lorsqu'il charrie, doit avoir des dimensions proportionnées au volume d'eau qu'il doit débiter. Avec une double vanne placée à la queue de l'étang, on peut diriger les eaux du ruisseau, soit dans le réservoir, soit dans la rivière de ceinture.

L'établissement d'une rivière de ceinture ne doit jamais dispenser de construire un déversoir pour parer à tous les accidents imprévus.

Enfin, lorsque l'étang est simplement alimenté par les eaux pluviales, le déversoir est encore utile dans les cas d'averse.

Généralement, nos réservoirs, placés dans des bassins étendus, donnent, par le déversoir, de l'eau, qu'on nomme trop-plein, pendant les mois d'hiver, et nous nous en servons pour irriguer, sans toucher à notre réserve d'eau, que nous conservons intacte pour l'employer après la première coupe. Les déversoirs peuvent être construits en maçonnerie de pierres ou de briques, ou bien en bois, ou en clayonnage, ou, enfin, avec de simples gazons (1). Dans le plus grand nombre des cas, nous préférons cette dernière méthode, qui est moins coûteuse et d'un entretien très-facile.

Le seuil des déversoirs détermine la hauteur d'eau qui séjourne dans l'étang; nous avons vu qu'il est toujours prudent

(1) Voyez, pour plus de détails, les figures 133 et 134, et la description des planches.

de le mettre, pour le moins, à 60 ou 70 centimètres plus bas que le couronnement de la digue. Si le déversoir n'est pas en maçonnerie, il est nécessaire de bien fixer la hauteur de ce seuil. Nous le faisons avec plusieurs piquets reliés par deux longrines formant moise, et une rangée de paleplanches. La largeur du déversoir doit être proportionnée à la quantité d'eau à laquelle il doit donner passage; car il est prudent de déterminer cette largeur, de manière que l'eau qu'il déverse ait une épaisseur qui ne dépasse guère 15 à 20 centimètres. Dans les réservoirs ordinaires, 3 ou 4 mètres de largeur sont ordinairement suffisants.

La position où il faut placer les déversoirs n'est point indifférente. Il faut avoir le moins possible de chute pour éviter les dégradations qui en sont la suite; aussi, nous pensons que l'extrémité de la digue, là où elle se raccorde avec le terrain naturel, est l'endroit le plus propre à établir un déversoir. Un fossé, qui contourne le talus extérieur de la digue, en porte les eaux dans le grand fossé de colature, qui est établi dans le thalweg de la vallée. Ce fossé de décharge doit être établi au moins à 2 mètres du pied du talus de la digue, pour ne pas l'affaiblir. Il est souvent nécessaire, à cause de sa grande pente, d'y établir, à des intervalles plus ou moins éloignés, des rangées transversales de piquets qui soutiennent des planches en chêne placées sur champ ou des fascines, pour empêcher le fond de se raviner.

Lorsque les eaux du trop-plein doivent servir aux irrigations d'hiver, ce canal de décharge débouche dans le canal d'amenée, qui, partant de la bonde, sert à irriguer; alors il faut, au moyen d'une vanne, se donner la facilité d'en envoyer les eaux dans ledit canal d'amenée, ou bien dans celui de colature, suivant les convenances; souvent même lorsqu'on irrigue les deux versants de la vallée, et que deux fossés partent de la bonde, on établit deux déversoirs, l'un à droite et l'autre à gauche de l'étang. On adopte également cette disposition, lorsque l'eau que reçoit le réservoir est en trop grande quantité pour être facilement débitée par un seul déversoir. On verra, lorsque nous traiterons des jaugeages, les formules qui servent à calculer l'eau débitée par un déversoir.

La construction des ouvrages de ce genre ne présente pas de difficultés et n'exige que du soin, pour que, le tout étant bien fait, on n'ait pas de fréquentes dégradations à réparer.

Les vannes ou bondes de prises d'eau sont des ouvrages bien plus importants et bien plus difficiles à bien établir.

Généralement on prend l'eau au fond du réservoir pour pouvoir le vider entièrement; mais, quelquefois, pour irriguer une plus grande étendue de terrain, on est forcé de prendre l'eau au fond et à une certaine hauteur au-dessus de ce fond. On établit alors deux bondes.

La bonde que nous préférons, est celle qui est employée dans les contrées à étangs du centre de la France. Nous en donnons les dessins, avec une modification que nous y avons apportée. Nous donnons également les dessins de quelques autres bondes employées pour cet objet.

Le conduit qui traverse la digue peut être en maçonnerie ou en bois. On le fait souvent avec des arbres creux, mais nous pensons qu'en madriers il vaut mieux. Il faut alors avoir soin de clouer extérieurement sur ce conduit des tasseaux de bois qui interrompent la continuité des infiltrations, lesquelles, en suivant cette voie, pourraient amener de grandes dégradations. Si le conduit est en maçonnerie, il faut avoir la même précaution, en augmentant par intervalle l'épaisseur de ses parois. Nous ne nous étendrons pas sur la description des bondes, car on peut en trouver tous les détails à la description des planches.

Les vannes nous paraissent peu propres à cet objet, nous en donnons pourtant des exemples dans les planches, où l'on trouvera également les dessins d'autres combinaisons employées, soit en Italie, soit en France.

La disposition de bonde qui a pour but de s'ouvrir toute seule, dès que le réservoir est plein, nous paraît plus ingénieuse que commode. Généralement, nous n'aimons pas les machines rustiques qui fonctionnent toutes seules; pour atteindre ce résultat, il faut une précision de construction qui les rendrait fort coûteuses et en changerait la nature.

En Italie, on pense qu'il convient mieux de prendre l'eau à la surface des réservoirs (1); aussi notre savant ami, l'ingénieur *Barabino*, inventa un moyen dont nous donnons le dessin fig. 165.

(1) Voici les raisons qu'en donne le professeur *Giacinto Carena*, en parlant du réservoir de Palermo:

« Si volle inoltre che l'acqua, anzi che trarla dal fondo, come nella più parte dei metodi sin ora riferiti, venisse sempre derivata dalla superficie, ove essa è più aerata, più pingue, e forse anche men fredda, epperciò migliore per la vegetazione. (Serbatoj d'acqua per irrigazione, etc., p. 71.)

Notre ex-associé *V. Hazard* a également inventé un tuyau-bonde qui remplit le même but, et qui peut, en même temps, servir de déversoir ; nous en donnons le dessin *fig.* 117 et 118.

En général, nous dirons que, dans ce genre d'ouvrages, il faut chercher principalement la solidité et la simplicité. On verra dans les planches des combinaisons employées en Piémont, et qui, toutes en maçonnerie, remplissent ce double but. Nous les croyons pourtant moins commodes que la simple bonde dont nous avons parlé d'abord, spécialement, lorsqu'on y adapte un double écrou pour l'ouvrir aussi peu qu'on veut, et régler le débit de l'eau suivant les besoins. Pour la plupart, les artifices employés pour prendre l'eau des étangs, ont, en effet, le défaut de laisser couler une trop grande quantité d'eau à la fois au commencement, et trop peu à la fin. Dans la description des planches, nous apprécierons les avantages et les désavantages des différentes bondes dont nous donnons le dessin.

Les bondes ordinaires ne retiennent parfaitement l'eau qu'autant qu'on jette du sable fin sur les bondons, lorsqu'elles sont fermées. C'est là un grave défaut, qui les détériore rapidement. Nous leur faisons tenir parfaitement l'eau en entourant le bondon de peau de buffle, et en le pressant dans son trou, au moyen de notre deuxième écrou.

A la sortie du conduit qui traverse la chaussée, l'eau, quel que soit le système de bonde ou vanne employé, a toujours une grande rapidité qui dégraderait les fossés d'amenée, si on l'y mettait directement. Pour obvier à cet inconvénient, nous avons établi, à la sortie des bondes de nos étangs, des petits réservoirs destinés à recevoir le choc de l'eau et à amortir sa vitesse acquise. Nous donnons *fig.* 72 celui que nous avons établi à la sortie de l'étang de Bréviande.

Généralement, ces réservoirs communiquent avec les canaux d'amenée, et deux vannes permettent de mettre l'eau dans celui de ces canaux qu'on juge convenable, sans qu'on soit forcé d'irriguer les deux penchants de la vallée à la fois.

§ V. ENTRETIEN DES RÉSERVOIRS, ET UTILISATION DES ÉTANGS ET LACS EXISTANTS.

Il y a tel réservoir qui, ne recevant que des eaux pures, conserve sa profondeur pendant un très-long laps de temps. Tel autre réservoir, qui reçoit des eaux troubles, se comble rapidement, et il faut, à des intervalles de temps plus ou

moins rapprochés, le curer, si on ne veut pas voir diminuer rapidement la quantité d'eau dont on dispose pour les irrigations. Heureusement, le curage d'un étang est presque toujours une opération profitable, plutôt que coûteuse, puisque le limon qu'on en extrait sert à faire d'excellents composts pour fumer la terre.

Il arrive pourtant quelquefois que les étangs s'ensablent, et qu'alors les curures n'ont aucune valeur ; ce sont alors des dépenses qui doivent figurer dans la comptabilité, au *doit* des terrains irrigués, mais qu'on ne doit pas se dispenser de faire.

Ce qu'il y a de plus important pour l'entretien des réservoirs, c'est de réparer, dès qu'elles apparaissent, les petites dégradations dans la chaussée, qu'elles proviennent des eaux pluviales, du pied des animaux, ou de toute autre cause. Ces dégradations ne sont réellement sensibles et à craindre que les deux ou trois premières années de la construction de la digue ; car, dès que l'herbe qu'on a semée sur son talus extérieur et sur son couronnement s'est bien développée en gazonnant le sol, on a des terres qui se soutiennent parfaitement.

Les dégradations les plus à craindre sont celles qui sont produites par les vagues qui viennent frapper les talus intérieurs des digues.

Les vagues sont peu élevées et peu sensibles lorsque la surface de l'étang est petite et qu'il n'a pas une grande profondeur d'eau ; ce n'est donc jamais à la base du talus intérieur qu'on a à craindre les dégradations qui en proviennent. Mais, au contraire, lorsque l'étang est plein, le clapotement des vagues peut endommager gravement la chaussée. Pour prévenir ces dégradations, on peut, dans les pays à forts vents, établir une ou plusieurs rangées horizontales de fascines, qui suivent la surface de l'eau sur le talus, et qui sont retenues par des piquets à crochet. Ces fascines amortissent le choc des vagues et retiennent les terres du talus ; partout où nous les avons placées, elles ont parfaitement défendu les digues. Il est également utile de semer sous ces fascines des graines de joncs qui poussent vigoureusement et qui finissent par remplacer les fascines avec avantage.

Du reste, si en pelant la surface du terrain où l'on établit la digue, on trouve des joncs, il faut les conserver pour les replanter sur les talus intérieurs.

Nous avons déjà dit qu'il ne convient pas de planter des arbres sur les digues; aussi nous ne reviendrons pas sur ce sujet, mais nous devons rappeler que l'on ne doit jamais mettre l'eau dans un réservoir nouvellement construit, qu'après que la digue a eu le temps de se tasser et de s'asseoir convenablement, tandis qu'il faut la semer en herbe dès qu'elle est construite, pour que le gazon ait le temps de se former.

Les plus grands dégâts du talus extérieur des digues sont le fait des animaux, et spécialement des moutons, qui passent tous au même endroit, et finissent par dégrader rapidement le talus; aussi nous avons déjà conseillé de le défendre en y plantant une haie vive, soit en épine blanche, soit en acacia, soit enfin en ajonc marin.

Il existe en France un grand nombre d'étangs qui seraient utilisables pour les irrigations, mais, comme nous avons déjà traité ce sujet au commencement de ce chapitre, nous n'y reviendrons pas. Il existe aussi des lacs dont on pourrait tirer parti et qu'on n'utilise pas. Généralement, à la campagne, on ne distingue pas bien ce qu'on doit entendre par lac et par étang.

On doit appeler lac tout amas d'eau qui est entouré par des terres et duquel l'eau ne s'échappe que par un déversoir, tandis qu'un étang est un amas d'eau retenue par une chaussée, et qu'on peut vider à volonté (1).

Les lacs sont généralement naturels, tandis que les étangs sont toujours construits par les hommes.

Les lacs, tels qu'ils se présentent dans la nature, ne sont donc pas propres à servir de réservoirs, et c'est improprement qu'on dit quelquefois qu'ils servent aux irrigations, au moyen du cours d'eau qui les traverse, car il est évident que si le lac n'existait pas, le cours d'eau n'en servirait ni plus ni moins à irriguer les terrains inférieurs.

Mais il est des lacs, dans les pays de montagne, qu'on peut changer en étangs, en perçant, soit par une tranchée, soit par un tunnel, les terres qui retiennent les eaux de côté d'aval. Si la tranchée ou le canal souterrain ne sont pas trop longs, il y a un très-grand avantage à utiliser ces réservoirs naturels, et nous en avons vu quelques exemples dans les Hautes-Alpes. Avant d'entreprendre des travaux de ce genre,

(1) *Lac*, Grande étendue d'eau environnée par les terres.
Etang, Grand amas d'eau retenu par une chaussée. (Dictionnaire de l'Académie.)

il faut les étudier à fond et se rendre bien compte de la dépense et du profit, pour s'asssurer de l'utilité de l'opération.

On pourrait enfin élever l'eau des lacs au moyen de machines, pour la répandre sur des terrains plus élevés que leur surface; nous traitons ce sujet avec détails dans la suite.

Les moyens pour fermer le débouché ainsi ouvert aux eaux d'un lac sont les mêmes que ceux employés pour les étangs; mais nous observerons que, généralement, on a moins besoin de les fermer avec autant de soin, puisque l'eau est plus abondante, et qu'une légère perte n'aurait pas de grands inconvénients.

ESCUELA DE AGRICULTURA - VEGA Y ZAZ - GRANJA

CHAPITRE II.

CONDUITE DES EAUX PLUVIALES DANS LES ÉTANGS ET SUR LES TERRES.

Lorsqu'on doit utiliser les eaux pluviales, soit pour en remplir des réservoirs, soit pour les verser directement sur les terres, en employant la sixième méthode d'irrigation que nous avons nommée humectation, il importe d'en recueillir la plus grande quantité possible. Aussi, on fait les travaux dans ce but.

Il faut pourtant observer qu'il est rare qu'un même propriétaire possède toutes les terres supérieures qui peuvent verser leur eau dans un réservoir. Aussi, le plus grand nombre de fois ces travaux ne peuvent être qu'incomplets. Le but qu'on doit alors se proposer, est de faire affluer dans une seule vallée toutes les eaux, de quelque manière que les dirigent les propriétaires supérieurs au sortir de leur héritage.

Un système de fossés bien entendu remplit généralement le but qu'on se propose.

Pour que ces fossés soient utiles, il faut qu'ils forment un réseau et recueillent les eaux des différentes pièces de terre, des bois et des landes.

La meilleure disposition consiste à les placer sur la pente des coteaux, suivant une direction qui coupe les lignes de plus grande pente en écharpe et presqu'à angle droit. De cette manière ils peuvent réunir toutes les eaux des fossés secondaires qui bordent les pièces de terre et toutes celles des terrains supérieurs.

Ces grands fossés *collecteurs* doivent avoir une pente assez prononcée dans la direction du réservoir. Nous pensons qu'elle ne devrait jamais être moindre de 2 millimètres par mètre, et qu'il est utile de la porter le plus souvent à 5 millimètres par mètre.

Généralement, la pente doit être d'autant plus forte que les terrains sont plus perméables, pour qu'une moindre quantité d'eau soit absorbée par les infiltrations.

Ces fossés contournent toutes les inflexions du terrain, et peuvent porter dans un réservoir les eaux d'autres vallons qui, sans eux, couleraient dans d'autres thalwegs. Si le développement du fossé devenait trop grand, ou si des circonstances locales s'opposaient à ce qu'il contournât en terrain naturel le contrefort qui sépare les deux vallées, il pourrait être utile, comme nous l'avons déjà dit, de le creuser en tranchée, ou même de faire un conduit souterrain pour prendre des eaux abondantes qu'on perdrait sans cela. Ordinairement on fait deux de ces fossés *collecteurs*, l'un à droite, l'autre à gauche du réservoir, et on les place de manière que leur extrémité vienne aboutir au niveau des hautes eaux de l'étang. En les mettant ainsi aussi bas que possible, on recueille toute l'eau des terrains supérieurs; en faisant autrement on en perdrait une partie.

Lorsque le versant qui fournit l'eau est étendu, il peut être fort utile de le couper par plusieurs de ces fossés. Les exigences des cultures, le relief et la nature plus ou moins perméable du sol doivent guider pour fixer la distance à laquelle il faut les placer. En tout cas, nous pensons qu'ils ne devraient jamais être plus rapprochés que de 100 mètres. Dans le cas où l'on ouvre plusieurs fossés, on les fait aboutir dans un fossé principal, qui suit le thalweg de la vallée du réversoir et qui réunit toutes leurs eaux.

Dans les bois et dans les landes, il est nécessaire de multiplier les fossés, car ces terrains irréguliers absorbent beaucoup d'eau. On peut alors faire des fossés à faible pente, de 40 en 40 mètres à peu près, et les réunir par des fossés qui suivent une ligne d'une plus grande pente, et qui sont espacés de 100 à 200 mètres. Si un petit ruisseau venait à couper un de ces fossés, il faudrait renforcer sa partie en aval pour qu'elle ne fût pas emportée par le débordement des eaux, il devient même, dans ce cas, quelquefois nécessaire d'établir au point de jonction un petit réservoir avec sa digue et son déversoir, mais sans bonde, car l'eau doit suivre le fossé collecteur, et non pas s'écouler dans le thalweg de la vallée. Lorsqu'un de ces fossés doit traverser un chemin, on peut faire un simple cassis empierré, si le chemin n'est pas important; mais si c'est un chemin de grande communication, il faut se décider à faire un petit aqueduc. Dans tous les cas, il faut barrer en aval les deux fossés du chemin pour en recevoir les eaux, qui sont toujours de bonne qualité.

Quant aux dimensions à donner à ces fossés, elles dépendent entièrement de la quantité d'eau qu'ils doivent débiter. Il convient toujours de les faire plutôt trop larges que trop étroits, pour qu'ils puissent donner passage aux eaux des

grands orages, qui balaient le sol et portent toujours avec elles des substances fécondantes.

Lorsqu'on établit ces fossés, on rencontre presque toujours des fossés existants depuis longtemps et creusés dans le seul but d'enclore et de limiter les champs, il faut relier ensemble tous ces fossés et les faire verser leur eau dans le fossé principal. Un nivellement est souvent nécessaire pour atteindre ce but. Parmi les anciens fossés, on en rencontre qui ont une pente et une contre-pente, et dans lesquels l'eau reste staguante dans la partie la plus basse. Cette eau s'infiltre peu à peu et devient inutile ou nuisible. C'est dans cette partie basse, qu'il faut les saigner pour que toute l'eau puisse s'écouler.

Il faut enfin étudier avec soin les pentes du terrain et les fossés existants pour atteindre le but qu'on se propose. Nous avons vu doubler la quantité d'eau que recevait un étang, par quelques travaux peu importants, mais qui reliaient entre eux les fossés des terrains supérieurs.

Ce que nous venons de dire pour les fossés destinés à alimenter un réservoir, peut s'appliquer en tout point, quoique sur une plus petite échelle, à ceux destinés à fournir directement l'eau pour irriguer par humectation.

Si on a des terrains marécageux dans lesquels l'eau s'arrête, il faut la faire couler dans le réservoir au moyen d'un assainissement bien entendu.

Dans des parcs on peut recueillir les eaux pluviales et les porter où l'on veut les amasser, au moyen de rigoles couvertes; c'est alors une espèce de drainage.

On en a un bel exemple dans le parc de Randan, près de Vichy, dans le Bourbonnais.

Nous croyons utile de rapporter ici quelques détails sur ce beau travail, qui nous ont été fournis par notre savant ami *Pascal Lepage*, architecte de la famille d'Orléans à Randan.

« Les eaux pluviales, soit ce qu'on a pu recueillir dans le parc, soit une grande partie de celles qui tombent dans le bourg de Randan, sont amenées par des rigoles dans trois pièces d'eau successivement placées dans la déclivité du terrain du parc. Le premier de ces bassins, celui qui est dans la prairie vis-à-vis le château, d'une profondeur moyenne de $1^m,5$, a une superficie de 25 ares environ. Les eaux pluviales du bourg y sont amenées par un aqueduc de 50 centimètres de large traversant tous les bâtiments des dépendances. Ces

bâtiments, les cours et les chemins une fois passés, les eaux se versent dans le réservoir par une rigole à ciel ouvert qui reçoit également, par des rigoles découvertes, les eaux de la partie avoisinante du parc qui lui est supérieure. La longueur de l'aqueduc et de la rigole amenant les eaux pluviales du bourg est de 200 mètres. La longueur développée des diverses rigoles de cette partie du parc est de 180 mètres.

» Cette pièce d'eau, de même que les deux autres, ne se vide de fond que quand on veut la nettoyer, et l'eau coule alors par les rigoles dont nous allons parler. La vidange de superficie de chaque pièce d'eau se fait par un trop-plein, qui est successivement plus grand à chacun des trois bassins, en raison de la plus grande quantité d'eau qui y arrive. Celui du premier bassin a 38 centimètres carrés de surface verticale. Par ce trop-plein, les eaux se déchargent dans une rigole découverte qui les porte dans le deuxième bassin, après 480 mètres de parcours. D'autres eaux venant de parties du parc supérieures, et qu'il n'était pas possible de conduire dans le premier bassin, sont recueillies, dans le trajet, par d'autres rigoles et réunies à celles du trop-plein du premier bassin. Cette deuxième pièce d'eau a une superficie de 68 à 70 ares; sa profondeur moyenne est également de $1^m,5$. Une petite source qui jauge, en temps ordinaire, 15 lignes de fontainier, tombe du haut d'un rocher artificiel dans ce bassin. Le trop-plein se vide par une ouverture de 1 mètre de long, 30 centimètres de large et 18 centimètres de haut, et les eaux en sont conduites par un aqueduc souterrain dans une petite rivière artificielle qui, à son tour, les verse dans le troisième et dernier bassin placé très-près de la limite du parc. Sa superficie approche de 1 hectare; sa profondeur est, comme celle des deux premiers, de $1^m,5$; l'ouverture du trop-plein a $1^m,5$ de long, 30 centimètres de large et 20 centimètres de haut; il se vide par un aqueduc souterrain, et à la sortie du parc, les eaux servent à arroser des prés appartenant à d'autres propriétaires. Outre les eaux venant des deux bassins supérieurs, cette troisième pièce d'eau reçoit, par des rigoles découvertes placées en deux directions différentes, les eaux pluviales des parties du parc qui la dominent et celles d'un grand nombre de rues du bourg inférieures de niveau à celles qui les ont versées dans le premier aqueduc.

» Ces trois bassins sont en partie creusés, en partie en relief sur le sol environnant. Les terres sorties de leurs super-

ficies ont servi aux remblais nécessités par la disposition du terrain. L'intérieur est bâti, dans son pourtour, en béton de chaux hydraulique, avec ressaut en maçonnerie de moellons pour soutenir le béton dans les endroits seulement où il aurait eu pour appui des terres en remblai; on s'est dispensé de cette double muraille là où le béton pouvait s'appuyer sur des terres non remuées.

» Les rigoles découvertes sont construites, quelques-unes seulement en petit nombre, en gargouilles en pierre de *Volvic* (1), de 60 à 80 centimètres de long, placées bout à bout sur mortier. D'autres sont construites avec des dalles sur le fond, et les deux bordures en parpaings de Volvic, le tout placé sur mortier.

» Dans la plus grande étendue des rigoles, ce sont simplement de petits fossés d'une profondeur et d'une largeur calculées sur la quantité d'eau qu'elles doivent recevoir, et l'on a garni le fond avec des tuiles faîtières en terre cuite placées à bain de mortier hydraulique. Ces rigoles, plus économiques que les autres, ont souvent été endommagées dans les prés par le piétinement des bestiaux au pacage.

» Dans une grande partie du parc, là où le terrain n'a pas de pente bien marquée, on s'est contenté de fossés ordinaires, sans aucune autre construction que des aqueducs pour traverser les allées du parc.

» Quant à l'étendue du terrain sur laquelle se recueillent ces eaux, on peut évaluer à environ 1 kilomètre l'étendue des rues du bourg de Randan qui fournissent les eaux introduites dans le parc par deux endroits. La superficie du parc dans sa totalité est de 100 hectares, dont les deux tiers seulement versent les eaux dans les rigoles que la disposition du terrain a permis de diriger vers les trois pièces d'eau.

» Quelques travaux de peu d'importance ont bien fait découvrir des petites sources dont on utilise le produit, mais elles donnent une quantité d'eau si faible, qu'on peut dire que les eaux pluviales font tous les frais des irrigations de Randan. »

Nous nous sommes étendu sur ce sujet, car les travaux de Randan peuvent être pris pour modèle par les personnes qui désirent, sans renoncer à l'économie, arriver à un certain degré d'élégance qui convient à un parc dans une vaste propriété.

(1) Espèce de lave très-solide, qui provient d'Auvergne.

C'est ici que nous devons parler des gouffres ou entonnoirs, qui, dans certaines contrées, absorbent souvent toute l'eau pluviale d'une petite vallée. Nous en avons rencontré dans des prés, en Touraine et dans le Bourbonnais, et nous sommes parvenu à les supprimer de la manière suivante, facile et peu coûteuse :

On creuse le gouffre ou entonnoir à une profondeur de $1^m,50$ à 2^m, à peu près, et on transporte ailleurs les graviers qu'on en retire. On garnit ensuite son fond avec de fortes fascines, sur lesquelles on place une couche de beaux gazons avec les racines en l'air; on comble ensuite le trou avec de bonne terre végétale, plutôt argileuse, et on gazonne soigneusement la surface.

Si ces entonnoirs se trouvaient dans des terres labourées au lieu d'être dans des prés, il faudrait mettre sur les fascines trois couches de gazon et combler ensuite avec de la terre pilonnée, jusqu'à 15 ou 20 centimètres du sol. Nous croyons ce moyen à peu près immanquable.

Il va sans dire que, dans le système de culture qu'on adopte, il faut diriger les billons, les planches et les traits de charrue, de manière à faire affluer les eaux, soit dans les fossés principaux, soit dans les fossés secondaires, et cela tout autant pour réunir les eaux qu'on veut utiliser que pour assainir les terres qu'on laboure.

DEUXIÈME PARTIE.

SOURCES.

On laisse dévorer par la sécheresse les plantations, les semences, souvent le seul espoir de la subsistance de nombreuses familles, lorsqu'à peu de distance, à deux pas, coulent des sources qui ranimeraient et féconderaient ces productions.

Le Général ANDRÉOSSY.

CHAPITRE PREMIER.

NATURE DES SOURCES. INDICES POUR LES DÉCOUVRIR.

Nous avons déjà parlé dans le Livre premier de la nature des eaux; aussi nous ne pensons pas devoir y revenir ici.

Nous rappellerons seulement que les sources donnent des eaux qui diffèrent entre elles, soit par la nature des matières qu'elles tiennent en suspension ou dissoutes, soit par leur température. Les eaux qui n'ont pas le degré de pureté qui les rend propres aux usages de la vie, se nomment eaux minérales, et celles qui ont une température élevée se nomment eaux thermales; presque toujours ces dernières sont aussi minérales (1).

Depuis que les travaux des géologues et des minéralogistes ont démontré que l'hypothèse des astronomes, qui supposait une chaleur centrale à la terre, devait être prise comme un fait acquis à la science, on s'accorde généralement à admettre que la chaleur propre des eaux de source dépend de la profondeur d'où elles proviennent (2). Mais des géologues distingués n'admettent pas que la chaleur terrestre soit la seule source de chaleur pour les eaux thermales (1).

Les phénomènes si étendus et si peu connus des volcans paraissent y jouer un grand rôle. Ce qui est certain, c'est que les sources thermales ne se trouvent en grande abondance qu'à proximité de volcans anciens ou modernes.

Nous pourrions peut-être ici discuter l'origine des sources, que des savants font toutes provenir des eaux pluviales qui s'infiltrent dans la terre, et que d'autres supposent en partie provenir d'eaux souterraines évaporées par la chaleur, soit terrestre, soit des feux volcaniques, et condensées ensuite comme dans un alambic. Mais cette question, purement scientifique, n'intéresse nullement l'agriculture : aussi nous passerons outre.

La nature des eaux de source se détermine par l'inspection des plantes qui naissent sur leur cours, et, mieux encore, par l'analyse chimique; leur température au moyen d'un thermomètre.

Beaucoup de sources ont une température qui varie avec celle de l'atmosphère, bien que, généralement, ce soit dans

(1) Cette remarque n'avait pas échappé aux Anciens, et nous trouvons dans Vitruve : « Omnis autem aqua calida, ideo quidem est medicamentosa, quia in previis rebus percocta aliam virtutem recipit ad usum. (Vit. liber VIII, caput III, p. 133, rec. édition de Giunta, de Florence. 1513.)

(2) On admet généralement que la chaleur de la terre augmente d'un degré centigrade pour chaques 20 à 30 mètres de profondeur (*Arago*, Annuaire 1834, p. 235), mais il y a des expériences qui s'écartent beaucoup de cette moyenne.

Voici quelques observations :

De Humboldt a trouvé 36° 57 à 520 mètres de profondeur dans la mine d'argent de Guanaxuato, au Mexique; la température annuelle et moyenne du pays est de 16° 11.

Cela fait 1° par 25 mètres de profondeur. (*Mary Somerville*, De la connexion des sciences physiques.)

De Saussure, d'après des expériences faites dans les salines de Bex, fixe l'augmentation de chaleur à 1° pour 26 mètres de profondeur.

Trébra, dans des séries d'expériences faites dans les mines de Beschersglück, en Saxe, a trouvé dans une première série 1° pour 55 mètres, et dans une deuxième série 1° pour 37 mètres. Les mêmes expériences répétées dans les mines de Alte-Hoffnung-Gott, ont donné 1° d'augmentation pour 38 mètres de profondeur.

Fox observa le thermomètre dans les mines de Cornouailles, et il trouva que, terme moyen, l'accroissement de 1° correspondait à 30 mètres de profondeur. (*Rozet*, Traité élémentaire de géologie, 1re partie, p. 57.)

Cordier a repris ces expériences avec une exactitude et des soins tous particuliers, et, les ayant dirigées avec le talent qui le distingue, il est arrivé aux nombres suivants, pour profondeur correspondante à 1° d'augmentation de température :

A Cormaux (Tarn).	36 mètres.
A Littry (Calvados).	19 —
A Decize (Nièvre).	15 —

Ce savant ingénieur résume ainsi son travail :

« L'augmentation de chaleur souterraine ne suit pas la même loi pour toute la terre; elle peut être double et même triple d'un pays à un autre.

« Ces différences ne sont en rapport constant ni avec les longitudes, ni avec les latitudes.

« Enfin l'accroissement est certainement plus rapide qu'on ne l'avait supposé; il peut aller à 1° pour 15 mètres, et même 13 mètres en certaines contrées; provisoirement, le terme moyen ne peut pas être fixé à moins de 25 mètres. » (*Cordier*, Annales des Mines, 1828.)

Dans les profondeurs des mers, les choses se passent autrement. Entre les tropiques, la température de la mer décroît avec la profondeur; tandis qu'elle augmente dans les mers polaires. Ce changement a lieu vers le 70e parallèle de latitude. (*Mary Somerville*.)

(2) Voyez *Lyell*, Eléments de Géologie.

des limites plus étroites : ce sont celles qui proviennent d'une petite profondeur ; d'autres, et ce sont les plus nombreuses, ont une température constante, ce qui fait que leur eau paraît chaude en hiver et froide en été ; elles peuvent être utilement employées pour l'irrigation pendant les mois froids de l'année ; mais, en été, leurs eaux retarderaient la végétation et pourraient même faire périr les bonnes plantes. Ce n'est alors qu'en les laissant se réchauffer par un long parcours, ou, mieux encore, par un long séjour dans des réservoirs, qu'on peut les rendre utilisables.

Sans revenir sur ce que nous avons dit de la nature des eaux, nous rappellerons ici que souvent des eaux impropres aux usages de la vie peuvent être fort bonnes pour irriguer la terre, et que des eaux minérales, trop chargées de sels, peuvent être utilisées en les mélangeant avec des eaux pures.

Les sources peuvent jaillir à la surface du sol ou se tenir à une certaine profondeur ; nous traitons dans le chapitre suivant des moyens de les utiliser.

La quantité d'eau donnée par les sources est très-variable ; quelques-unes ne fournissent qu'un filet d'eau presque imperceptible, tandis que d'autres donnent naissance à de véritables rivières (1) ; mais on peut dire en général que les sources d'un grand débit sont celles qui existent et se font jour naturellement, et que celles qu'on peut espérer de découvrir encore près de la surface du sol ne donneront que des quantités d'eau assez petites. Nous disons les sources qu'on peut découvrir près de la surface, car il n'en est pas de même pour les sources artésiennes qu'on va chercher à de grandes profondeurs.

Il y a enfin des fontaines intermittentes dont le débit varie suivant des périodes plus ou moins longues (2), et d'autres

(1) La source du Loiret, jaugée pendant la sécheresse de l'an IX, par le *comte de Tristan*, donnait 3,300 litres d'eau par minute, et, d'après le même savant, on peut évaluer son débit ordinaire à 40 mètres cubes par minute. (Journal des Mines, T. XIII.)

La fontaine de Vaucluse, dans la vallée de la Sorgue, en est un autre exemple remarquable. D'après les jaugeages de *Guérin*, elle donne à son étiage 444 mètres cubes d'eau par minute, et, à l'époque de ses plus fortes crues, 1,330 mètres cubes ; son débit moyen serait de 890 mètres cubes. On ne doit donc pas s'étonner si elle donne naissance à la Sorgue, qui est une véritable rivière.

La fontaine de Nîmes donne à l'étiage, d'après *Valz*, cité par *Arago*, 133 litres par minute, mais, dans ses crues, elle débite jusqu'à 10,000 litres dans le même temps.

(2) La fontaine de Côme, dans le Milanais, a des intermittences d'une heure.

Celle de Haute-Combe, en Savoie, présente dans les temps ordinaires des intervalles d'une chute à l'autre de 20 minutes.

La source de Puisgras, près de Chambéry, a des intermittences de 5 à 6 heures, suivant les saisons.

La fontaine de Fontestarbe, dans les Pyrénées, observée par *Daubuisson*, emploie dix minutes à augmenter de niveau, 30' à couler à pleins bords, et 35' à baisser de niveau. A peine a-t-elle atteint le plus grand abaissement, qu'elle augmente de nouveau. Elle donne dix fois plus d'eau dans sa plus grande crue que dans sa plus grande baisse.

Dans la fontaine de Colmars, en Provence, les intermittences bien distinctes ont lieu huit fois par heure.

La fontaine de Boulaigne, près Fressinet, dans les monts Coyrons, est quelquefois plus de vingt ans sans couler ; elle coule ensuite pendant un mois, deux mois, trois mois et quelquefois davantage ; mais lorsqu'elle cesse son écoulement continu, elle présente des intermittences assez régulières, coulant environ une heure et s'arrêtant après pendant le même temps.

Sur la rive gauche du Gardon, près d'Uzès, sont deux fontaines intermittentes, qui présentent dans leur périodicité des irrégularités remarquables. Celle de Madame coule de suite vingt-cinq à quatre-vingt-dix minutes, et tarit tout-à-fait de manière à ce que son fond reste à sec pendant dix à quinze minutes ; celle de Boulidou s'élève de deux décimètres plus de trente-six fois en vingt-quatre heures. (*Héricart de Thury*, Considérations géologiques et physiques sur la cause du jaillissement des eaux, etc.)

qui présentent des variations avec les marées (1). Il faudra tenir compte de ces intermittences et de ces variations dans le jaugeage qu'on fera de ces sources, qui, du reste, ne se présentent pas assez fréquemment pour que nous nous en occupions spécialement.

Si maintenant nous passons à parler des indices qu'on peut avoir pour découvrir les sources, nous sommes forcé de dire que la science ne nous apprend presque rien, car les savants ont mieux aimé faire des systèmes, et discuter à perte de vue sur l'origine des sources, que de chercher les moyens de les découvrir.

Les indices que nous allons donner sont encore à peu près ceux indiqués par *Vitruve*. Nous les extrayons de *Bélidor*, car nous ne savons pas que les modernes aient fait quelque nouvelle découverte sur ce sujet.

« Le temps le plus propice pour faire la recherche des eaux souterraines, est dans les mois d'août, septembre et octobre, parce que si l'on en trouve alors, on est sûr d'en avoir dans les autres saisons. D'ailleurs la terre étant sèche, ses pores sont plus ouverts, et laissent un libre passage aux exhalaisons qui indiquent les veines d'eau.

« C'est principalement le long du pied des montagnes qui regardent le septentrion, qu'il faut chercher les sources, et on peut espérer d'en trouver aussi le long de celles qui sont exposées aux vents humides, tels que sont en France ceux qui viennent de l'Occident ; sur quoi il est bon de remarquer que

(1) « Sur les bords de la mer, les sources éprouvent une influence très-marquée de l'action répulsive et gravitante de la marée. Ainsi, on voit sur beaucoup de côtes les eaux des sources se lever et s'abaisser suivant l'flux et le reflux.

« Quelques sources présentent à cet égard des anomalies extraordinaires dans l'effet produit par l'action de la marée ; elles s'abaissent au contraire lors du flux et remontent au reflux. » (*Héricart de Thury*, ouvrage cité, p. 135.)

les montagnes fort escarpées fournissent moins d'eau que les autres; et qu'au contraire, celles qui ont une pente douce, et qui sont couvertes de verdure, renferment d'ordinaire quantité de rameaux dont les eaux sont abondantes, froides et saines, parce que les pluies et la fonte des neiges en font un grand amas, qui se conservent et se filtrent.

« Pour découvrir les eaux souterraines, il faut, avant le soleil levé, se coucher sur le ventre, en sorte que la vue s'étende sur l'horizon; si l'on voit une colonne de vapeurs s'élever en ondoyant dans un endroit où il n'y a point d'humidité causée par des eaux sauvages, c'est une marque qu'en fouillant, on y trouvera de l'eau, et l'on pourra avoir le même sentiment, si l'on aperçoit des tourbillons ou nuées de petits moucherons voler près de la terre, toujours à la même place (1).

L'on peut encore, dans les endroits où l'on soupçonne y avoir de l'eau, creuser un petit puits de 3 pieds (1 mètre) de diamètre sur 5 ou 6 de profondeur, poser au fond un chaudron renversé, dont l'intérieur soit frotté d'huile, ensuite fermer l'entrée de ce puits de quelques planches couvertes de terre; si le lendemain on trouve des gouttes d'eau attachées au-dedans du chaudron, c'est une marque indubitable que ce lieu comprend des veines d'eau, et pour plus d'assurance, l'on peut mettre sous le chaudron quelques poignées de laine, afin de voir si en la pressant, il en sort beaucoup d'eau.

« On se sert quelquefois d'une aiguille de bois, composée de deux pièces, dont l'une doit être poreuse et facile à s'imbiber, comme l'aulne, qu'on place le matin en équilibre sur un pivot ou essieu au-dessus de l'endroit où l'on conjecture qu'il y a de l'eau, alors, s'il s'en trouve effectivement, les vapeurs pénétreront le bout de l'aiguille, et la feront incliner vers la terre (2).

« Enfin, les signes les plus simples, qui indiquent les veines d'eau, sont les joncs, les roseaux, le baume sauvage, l'argentine, le lierre terrestre, et les autres herbes aquatiques qui croissent dans certains endroits, sans que les eaux sauvages les nourrissent (3). »

(1) Cette observation a été consignée par *Cassiodore*, dans une lettre à Théodoric.
(2) Cet indice a été conseillé par le *P. Kircher*, Traité des Machines, liv. III, chap. 7.
(3) *Belidor* (Architecture hydraulique, liv. IV, ch. 4). Tout ce passage est textuellement traduit des Dix Livres d'architecture de *Vitruve*, liv. VIII, chap. 1. Un seul des indices donnés par *Vitruve* n'est pas rapporté par *Belidor*; il consiste à allumer un

On doit remarquer que tout ceci indique plutôt une humidité naturelle au sol (1), que des sources utilisables; et qu'une source comprise entre deux couches imperméables d'argile, ne se manifesterait d'aucune de ces manières.

Devons-nous conclure de cela, que la recherche des sources n'est pas un art qui s'appuie sur des données et des observations qui peuvent les faire trouver là où elles existent? Nous ne le croyons pas, car de tout temps, cet art a été exercé par des hommes qui, au milieu de pratiques superstitieuses et de beaucoup de charlatanisme si on le veut, devaient connaître des indices plus précis et plus sûrs que les précédents, sans quoi ils auraient découvert fort peu de sources, et n'auraient plus trouvé moyen d'exercer leur industrie.

Observons qu'on ne peut pas dire pour les sources, que ceux qui les découvrent, les trouvent là où ils les ont eux-mêmes cachées.

Ajoutons que, si on veut absolument nier, ce qu'on ne comprend pas dans les temps anciens ou dans des contrées éloignées, on ne peut mettre en doute ce qui se passe journellement sous nos yeux, ce que fait, par exemple, l'*abbé Paramel*.

Cet ecclésiastique, dont la bonne foi et la réussite ne peuvent pas être mises en doute, ne fait aucunement du charlatanisme, puisqu'il ne cherche à se couvrir d'aucun voile, et qu'il attribue ses découvertes à des observations soignées et suivies.

Nous souhaitons vivement que l'abbé *Paramel* publie ses observations, et la marche qu'il suit pour découvrir les sources. Nous ajouterons même que ce serait un devoir pour lui, car, dès qu'on connaît un moyen pour rendre un important service à la société, on n'est pas le maître d'en faire un secret.

Quoi qu'il en soit, nous devons donc avouer que nous ne savons pas grand'chose sur ce sujet; car tout ce que la science nous apprend se résume à quelques généralités sur la facilité qu'on a de rencontrer des sources dans les différentes forma-

grand feu dans l'endroit où l'on soupçonne des sources, et à remarquer si après quelque temps il s'en échappe des vapeurs épaisses.
(1) C'est aussi ce qu'indique la marque d'une source donnée par *Pline* dans son Histoire naturelle. Si l'on remarque, dit-il, quelque endroit où l'on voie fréquemment les grenouilles se tapir et presser la terre, on peut être sûr d'y trouver des rameaux de source.

tions géologiques, et à quelques observations sur le relief du sol et du sous-sol, que nous allons rapporter.

Dans les terrains primitifs (1), on trouve des sources assez fréquentes, mais qui donnent généralement peu d'eau.

Dans les calcaires primitifs, les sources sont souvent abondantes. La fontaine de Nauponts, au-dessous d'Aulne, dans la vallée d'Erce, forme un torrent dans le calcaire primitif (2).

On trouve des eaux abondantes dans les terrains intermédiaires, particulièrement près de leur superposition sur les terrains primitifs. En général, les sources d'eau douce sont nombreuses dans ces terrains. Elles sont peu abondantes dans les gneiss, les phyllades et les schistes; elles le sont plus dans les calcaires intermédiaires.

Les calcaires compactes alpins et jurassiques présentent des sources très-abondantes, mais moins nombreuses que celles des terrains primitifs et intermédiaires.

Les sédiments supérieurs du calcaire ammonéen, les calcaires argileux, les calcaires à trachytes, encrinites et bélemnites, les calcaires oolithiques, etc., donnent des sources nombreuses et abondantes.

Le calcaire crayeux renferme des nappes d'eau, lorsqu'il est à de grandes profondeurs, mais, lorsqu'il se montre à la surface, il est fendillé, et l'on n'y trouve de l'eau qu'à de grandes profondeurs (3).

Les terrains tertiaires sont ceux qui ont le plus de sources froides, les eaux thermales y étant fort rares. La hauteur des diverses formations et l'inclinaison des couches déterminent le plus souvent le nombre et l'abondance d'eau des sources.

Dans les terrains d'alluvion, on trouve également des eaux douces et abondantes; les sources y sont pourtant plus rares que dans les terrains précédents.

Dans les terrains volcaniques, les sources d'eau douce sont rares. Il en existe pourtant qui sont d'un grand débit, comme celle de Royat, près de Clermont, en Auvergne.

On doit observer que nous ne sommes entré dans aucune considération théorique sur la stratification ou toute autre disposition des terrains qui ont des sources plus ou moins abondantes. Cela tient à ce que nous n'avons pas voulu

(1) Dans tout ce qui va suivre, nous nous sommes guidé sur l'excellent ouvrage déjà cité d'*Héricart de Thury*.

(2) *Charpentier*, Constitution géologique des Pyrénées.

(3) On cite, en Champagne et en Normandie, des puits de plus de 100 mètres, percés dans la craie.

aborder la théorie de l'origine des sources. Nous n'avons fait que rapporter l'opinion des auteurs les plus distingués sur ce sujet, mais nous craignons de pouvoir supposer qu'ils sont précisément tombés dans l'écueil que nous cherchons à éviter, c'est-à-dire que, trop préoccupés du système exclusif qui fait provenir toutes les sources des eaux pluviales qui s'infiltrent, coulent entre deux couches imperméables, et resortent comme si elles avaient parcouru un véritable syphon, nous craignons que, trop préoccupés, comme nous le disions, de ce système, ils n'en aient pris les déductions rigoureuses, comme des faits donnés par l'expérience. Cela peut avoir eu lieu, avec d'autant plus de facilité, que nous ne connaissons pas de statistique qui donne le nombre des sources et leur débit, et que l'appréciation qu'on en donne est plutôt instinctive qu'appuyée sur des observations réduites en chiffres, et qu'enfin, on est souvent disposé à voir dans la nature ce qu'on croit devoir y avoir lieu d'après un système préconçu et adopté d'avance. Mais, nous l'avons déjà dit, pour ce chapitre nous marchons dans les ténèbres, et la science a encore beaucoup à faire pour éclairer de ses lumières ce sujet important.

Il nous reste à dire, pour terminer le chapitre, que par sources nous entendons les eaux souterraines qui peuvent sourdre à la surface de la terre, ou un peu au-dessous du sol, sans avoir recours à des percements profonds, cas dans lequel nous les appelons sources artésiennes.

Or, il est un fait que nous ne mettons nullement en doute, c'est que toutes les sources qui peuvent donner un grand volume d'eau se font jour naturellement, et qu'on ne saurait guère en trouver de nouvelles; mais, en revanche, on peut trouver une assez grande quantité de petites sources, qui, réunies, peuvent fournir une quantité suffisante d'eau.

Ces petites sources se manifestent le plus souvent par des fontenages ou en rendent le terrain ulligineux, et, dans ce cas, on est à peu près sûr qu'avec des travaux appropriés, on pourra en recueillir et en utiliser les eaux.

Quelquefois pourtant les eaux, coulant entre deux couches minces et imperméables, ne se manifestent pas à l'extérieur par les deux signes que nous venons d'indiquer; et pourtant, en perçant la couche imperméable supérieure, on peut obtenir de l'eau qui coule à la surface, plus ou moins abondamment.

Ces filets d'eau souterrains ne se rencontrent pas indifféremment partout. Ils sont fréquents sur le penchant et au pied des collines qui terminent les chaînes ou les systèmes des montagnes, mais ils sont rares dans les plateaux.

Dans les vallées, on les trouve indifféremment sur l'une et l'autre rive des ruisseaux ou rivières qui y ont leur lit.

Dans les localités où ces filets d'eau se rencontrent, on doit les chercher là où la forme du sous-sol imperméable permet aux eaux de se réunir, et on doit observer que le relief du sol n'est pas toujours celui de la couche imperméable. Quelques coups de sonde, donnés dans des points choisis avec discernement, peuvent permettre de fixer avec assez d'exactitude le relief de cette couche imperméable.

Les filets d'eaux se trouvent dans ses plis, et particulièrement lorsque, après une pente générale, la couche imperméable affecte une contre-pente prononcée en sens contraire; car alors l'eau a plus de facilité à s'écouler par la voie qu'on lui ouvre en creusant la terre, qu'à suivre le chemin tourmenté par lequel elle était forcée de passer; mais il arrive bien souvent que les eaux ainsi trouvées ne s'élèvent pas assez pour couler à la surface du sol, et que si on veut en profiter, il faut leur ouvrir un canal en tranchée, qui les amène sur un point du sol d'un niveau moins élevé que le leur. Nous ne parlons pas des puits qu'on pourrait faire; car alors il faudrait des machines pour en élever l'eau, et que les machines, comme nous le démontrons dans la suite, ne peuvent être utilement employées que pour élever de grandes quantités d'eau, tandis que des puits de cette nature n'en pourraient généralement fournir que fort peu.

Nous regrettons de ne pas pouvoir donner de plus amples renseignements sur ce sujet; mais les auteurs que nous avons consultés n'en disent rien, et nous n'avons pas d'observations qui nous soient propres à rapporter. Cela tient à la préférence que nous donnons presque toujours pour les irrigations, aux réservoirs alimentés par les eaux pluviales; ce qui fait que nous avons rarement eu l'occasion de rechercher des sources, et d'étudier avec soin ce qui s'y rapporte (1).

(1) Voyez la note *a* à la fin de l'ouvrage.

CHAPITRE II.

UTILISATION DES SOURCES.

Les sources peuvent se présenter, ou, pour mieux dire, surgir à la surface du sol, ou se tenir à un niveau inférieur à celui de cette surface.

Nous allons voir ce qu'il y a à faire dans les deux cas pour les utiliser.

Les eaux des sources qui coulent à la surface du sol peuvent être conduites par des fossés sur les terres à irriguer; aussi, les travaux qu'on doit faire dans ce cas, ne peuvent avoir pour but que d'augmenter leur débit, ou de conserver celui qu'elles ont.

Pour conserver aux fontaines le débit qu'elles ont, il faut les curer lorsque des plantes aquatiques s'y accumulent et obstruent le passage à l'eau. Ces curages se font à la pelle ou à la drague, suivant la largeur et la profondeur de l'entonnoir par lequel débouche la source. Ces dragues sont des cuillères en fer emmanchées au bout d'une longue perche. On les manœuvre, suivant leur dimension, avec le manche seulement, ou avec le manche et une corde qui, tirant la drague, la fait mordre plus profondément et plus longtemps.

Les curages sont toujours efficaces pour redonner aux sources leur débit, à moins que les eaux ne se soient fait jour en quelqu'autre endroit; dans ce cas, nous ne connaissons pas de moyen pour ramener la source à son ancien état, car il ne faut pas penser à boucher la nouvelle source, qui, si on y parvenait, ce qui est douteux, se ferait jour ailleurs et rendrait tout ce travail inutile. Ce cas est extrêmement rare, car, dès que les eaux ont un débouché, elles tendent plutôt à l'agrandir qu'à s'en ouvrir d'autres, et il ne peut avoir lieu que si des matériaux, portés par les eaux sauvages, viennent à encombrer tellement le passage de l'eau, qu'elle soit forcée de s'en ouvrir un nouveau. C'est pour cela que lorsque les eaux pluviales peuvent, par la disposition du terrain, porter dans la source des graviers, des sables, et mêmes des feuilles ou des petites branches, il est prudent de la ceindre d'un mur, de manière que les eaux sauvages n'aient plus, dans les temps de pluie et d'orage, aucune communication avec celles

de la source. Ce mur de ceinture peut être circulaire ou de toute autre forme, suivant les dispositions du sol.

Si on peut, sans inconvénient, élever l'eau de la source, on fera un puits qui déversera l'eau tel que nous le décrivons dans la suite; mais, dans le cas contraire, il faut laisser une ouverture par laquelle l'eau s'échappe, en la mettant en aval du côté par lequel arrivent les eaux sauvages, qu'on peut, du reste, presque toujours détourner en les réunissant dans un fossé creusé dans ce but.

Faute de ces précautions, nous avons vu des sources diminuer rapidement de débit par le sable qui s'accumulait dans leur ouverture, et souvent des sources, ainsi négligées, reprendre un grand écoulement dès qu'on avait curé leur fond.

Il est vrai que quelquefois les sources se font jour dans un terrain de sable, et qu'elles s'obstruent par des éboulements qui ont lieu dans les parois de leur embouchure. Dans ce cas il faut les faire surgir dans un puits en maçonnerie, mais ce travail n'est pas toujours facile, et, comme il est identique avec celui qu'on doit faire pour creuser les sources et en augmenter le débit, nous en parlons plus bas.

Les sources qui donnent une grande quantité d'eau s'obstruent rarement, et on a rarement besoin de les curer, car la force de l'eau suffit seule à débarrasser leur embouchure; ce n'est donc que pour les sources d'un faible débit que l'on doit souvent exécuter de ces travaux.

Pour augmenter le débit d'une source bien entretenue, et dont l'ouverture n'est pas encombrée, on peut tenter de l'approfondir, mais ce travail est plus ou moins facile, suivant la nature et la disposition du terrain.

Si le terrain est solide, on peut élargir et approfondir l'orifice par lequel surgit la fontaine, sans autre précaution; mais le plus souvent les terres ne sont pas assez liantes pour se soutenir seules, et il faut alors soutenir les parois du trou qu'on creuse, avec des revêtements en maçonnerie, en charpente ou en métal; ce sont alors des véritables puits qu'on creuse et qu'on établit.

Dans certaines localités les sources sortent d'une couche de sable peu épaisse, et sous laquelle sont des terrains plus consistants; on peut alors soutenir ces sables avec un simple clayonnage, mais si ce sable est fin et fluant, ce moyen est insuffisant; il ne nous a pas réussi dans une source que nous voulions curer et creuser dans la propriété de Lamotte, à Pierrefitte en Sologne.

Les maçonneries de revêtement peuvent se faire comme pour les puits ordinaires, en toute espèce de matériaux, mais nous pensons que les briques sont préférables partout où l'on peut s'en procurer à bon marché. On ne devrait jamais employer que de la chaux hydraulique. On fait aussi de ces revêtements en béton, mais il faut alors avoir une première forme ou tuyau en charpente, pour couler le béton entre sa surface extérieure et les terres.

Lorsqu'on le peut, le meilleur moyen pour établir ces maçonneries consiste à ouvrir un débouché en tranchée à l'eau de la fontaine pour travailler à sec, mais lorsqu'on ne le peut pas, il faut avoir recours aux épuisements et aux méthodes qu'on emploie pour le revêtement des puits, dont nous parlons plus bas. Quant aux revêtements en bois et en métal, ils sont aussi identiques avec ceux des puits.

Il n'est pas sûr qu'en creusant une source on parvienne à augmenter son débit, et on pourrait, au contraire, la perdre en partie ou en totalité. Cela arriverait si on perçait une couche imperméable qui, placée sur une couche perméable, permettrait alors à l'eau de la source de s'échapper par en bas, en suivant la direction que lui donne la pesanteur. Nous pouvons donc dire que le creusement des sources existantes ne doit pas souvent être très-profond, et qu'on doit être bien prudent en l'opérant, puisqu'on risque de les perdre.

Il arrive souvent qu'on a de l'intérêt à élever le niveau de la source, et on y parvient souvent en la traitant comme un puits, c'est-à-dire en l'emprisonnant dans une enceinte qu'on élève peu à peu au-dessus du sol jusqu'au niveau que peut atteindre l'eau de la source.

On parvient souvent de cette manière à élever de beaucoup ce niveau (1); mais il faut être très-prudent, car si on laisse trop longtemps la source chargée pour la forcer à monter, on risque de la voir disparaître pour se faire jour ailleurs, comme nous l'avons vu arriver une fois dans des travaux

(1) Notre savant ami l'ingénieur *Michela*, de Turin, est parvenu à élever ainsi de 6 mètres des petites sources ou fontenages, qui surgissaient dans des terrains marécageux. Il s'y est pris de la manière suivante :

Après avoir creusé la terre pour arriver à un terrain consistant où pouvoir fonder le mur de soutenement d'un puits, il a construit ce puits dans l'intérieur duquel surgissaient les sources. A la surface du sol, il a couvert le puits avec une coupole de cuivre, du sommet de laquelle partait un tube de même métal; en ajoutant des nouveaux tubes, les uns au bout des autres, il est parvenu à déterminer la hauteur à laquelle pouvait s'élever l'eau et à l'utiliser pour les irrigations.

qu'heureusement nous ne dirigions pas. A la Celle-Guénand, un barrage que nous avons établi charge une très-belle source de $1^m,75$ d'eau, pendant tout le temps des irrigations, et malgré nos appréhensions, son débit n'a pas diminué (1). Dans un autre endroit, nous avons aussi chargé une source de $0^m,82$ (2) sans inconvénient, mais ce n'est jamais qu'avec une extrême réserve, et que lorsque nous ne pouvons pas faire autrement que nous usons de ce moyen.

Les sources qui ne s'élèvent pas jusqu'au niveau du sol ne peuvent être utilisées qu'en conduisant leurs eaux, dans des canaux en tranchée, ou dans des tuyaux, sur un terrain plus bas que le niveau de la source. Quelquefois cette opération est facile, d'autres fois elle deviendrait trop coûteuse en proportion du volume d'eau qu'elle procurerait, et il convient d'y renoncer. Ces sortes de sources sont toujours recueillies dans des puits, d'où elles dégorgent, soit dans un fossé, soit dans une conduite faite avec des tuyaux de bois, de poterie ou même de fonte, mais généralement ces derniers reviennent à un prix trop élevé pour cet usage.

C'est ici le lieu de rapporter la manière dont on utilise ces sources souterraines dans une partie du Piémont et de la Lombardie.

Au pied des Alpes, et au commencement de la plaine qui s'étend en pente douce vers le Pô, se trouve un réservoir souterrain, qui produit des sources abondantes dès qu'on creuse le sol sur une profondeur de $1^m,50$ à $2^m,50$, plus ou moins, suivant les localités, et dès qu'on a atteint une couche de gros sablon. Ces sources, qui sont nommées par les ingénieurs italiens *bolle d'acqua*, sont bien moins abondantes au pied de l'Apennin sur la rive droite du Pô. Elles sont employées à établir des *marcite* ou prés d'hiver, car leur eau conserve généralement dans cette saison une température élevée; mais en été elle est aussi généralement trop froide, et on ne l'emploie pour les irrigations que mélangée à celle des dérivations des grands canaux; elles produisent encore ainsi une grande richesse pour le propriétaire, puisque l'eau se paie fort cher dans ces pays, et puisque les fontaines forment souvent un 1/3, et même plus, de l'eau employée aux irrigations.

Voici comment on s'y prend pour l'obtenir (3):

On commence par creuser un puits dans les endroits où

(1) Fontaine de la Plancheite, f. 6.
(2) Fontaine de Mouy, f. 13.
(3) Voyez Pg. 411.

l'on pense rencontrer des *bolle d'acqua*, et ce puits est percé jusqu'à peu près à 2 mètres de profondeur, plus ou moins, selon la facilité que la disposition et la forme du terrain présentent pour utiliser les eaux qu'on prendrait à une plus ou moins grande profondeur.

Si on ne voit pas bouillonner l'eau à la profondeur extrême à laquelle elle serait utilisable, on abandonne le puits, qui n'est jamais fort coûteux à ouvrir; mais comme nous l'avons dit, on rencontre généralement l'eau avant d'avoir atteint 2 mètres 50 de profondeur. On aperçoit alors des petits bouillonnements au fond du puits, et sûr que l'on est d'avoir de l'eau, on se met à l'élargir pour recueillir dans une seule fontaine un assez grand nombre de *bolle d'acqua* ou petites sources. Ces déblais prennent une forme assez irrégulière, guidé que l'on est, en les faisant, par la plus ou moins grande quantité de *bolle* que l'on rencontre dans chaque direction.

Dès qu'on est sûr d'avoir assez d'eau pour rendre l'opération avantageuse, on se met à creuser la rigole pour faire écouler les eaux, et les porter là où l'on pourra les utiliser. On se ménage ainsi le moyen de faire les autres travaux de la fontaine à sec; mais il arrive souvent qu'on espère pouvoir faire monter les sources à un niveau plus élevé, et s'épargner des dépenses de déblais pour le canal d'amenée, et alors on attend pour l'établir que les autres travaux soient finis.

Il est généralement facile de reconnaître l'endroit où surgit chaque source, au bouillonnement de l'eau; mais quelquefois la première excavation se remplit assez vite pour empêcher qu'on reconnaisse ces bouillonnements, et alors les fontainiers italiens sont dans l'usage de jeter des poussières dans l'eau pour observer leurs mouvements et découvrir les endroits où il devient rotatoire, qui sont précisément ceux qui correspondent aux sources. Lorsque ce moyen ne réussit pas, ils abandonnent les fouilles pendant un an, et alors ils reconnaissent l'emplacement des sources au cresson de fontaine qui y croît de préférence que sur les autres places.

Il est nécessaire de fixer l'emplacement des sources, parce qu'étant dans du gros sable, si on les abandonnait à elles-mêmes, leur débit diminuerait bientôt et finirait par se réduire à rien. Pour empêcher cela, on creuse le terrain jusqu'à 50 centimètres à peu près du point où les *bolle* commencent à paraître, et on emprisonne ensuite chaque source dans un puits en bois de 2 à 3 mètres de hauteur, et d'un diamètre de

$0^m,80$ à peu près. On fait pour cela une cuve sans fond avec des douves en bois d'aulne, et quelquefois de chêne, bien cerclée en fer. Cette cuve, légèrement conique, est enfoncée en terre à coups de masse, de manière que la source en occupe le centre, et on l'enfonce jusqu'à ce que l'eau vienne à déborder par une échancrure pratiquée sur le côté de la cuve qui regarde le fossé d'amenée qui doit en recevoir les eaux. Lorsque ce fossé a mis à sec le fond sur lequel on travaille, on creuse encore le sable dans l'intérieur de la cuve ou tinelle, pour donner plus de débouché à l'eau, et lorsque toutes les sources sont ainsi arrangées, on fait le fossé d'amenée, si on ne l'avait pas fait d'abord.

Souvent cette première excavation où se trouvent les sources, est établie dans des terres peu solides, et il faut alors en soutenir les parois par des clayonnages ou par des revêtements en bois. De temps en temps il faut curer l'intérieur des cuves où les sources amènent du menu sable et du limon. Ces sources durent continuellement, et on n'a qu'à changer les cuves lorsqu'elles sont vieilles; mais si elles sont immergées elles durent aussi très-longtemps. On voit pourtant quelquefois quelqu'une de ces sources tarir, mais le cas est fort rare, et presque toujours un bon curage suffit pour la faire couler nouvellement.

Il nous reste, pour terminer ce chapitre, à parler des puits qui peuvent, eux aussi, servir à l'irrigation là où le réservoir d'eau souterrain est près de la surface, et où le terrain en pente permet d'en porter les eaux sur le sol, sans de trop fortes dépenses. Du reste, les eaux des puits, lorsqu'elles sont fournies par des sources abondantes, peuvent, dans certains cas, être utilisées en les élevant au moyen de machines (1).

(1) Il paraît qu'en Perse, on utilise les puits pour l'irrigation depuis la plus haute antiquité; mais laissons parler sur ce sujet le savant *Jaubert de Passa* (Recherches sur les arrosages chez les Peuples anciens, Ire partie, p. 94):

« Souvent les eaux courantes manquent sur les terrains calcaires de la Perse; pour y suppléer, on creuse au pied d'une montagne un puits de recherche; si on trouve l'eau et si la source est abondante, on la conduit par un aqueduc souterrain, dont la pente est très-variable, jusqu'au terrain qu'on se propose d'arroser. Ces aqueducs sont donc à des profondeurs inégales; il en est qui sont à 3 ou 4 mètres au-dessous du sol; il en est aussi à 25 et 30 mètres et même davantage; ordinairement ils ont, dans l'œuvre, 2 ou 3 mètres de profondeur et au plus 1 mètre de largeur. En rétrécissant la galerie, on évite la construction, toujours dispendieuse, d'une voûte. Des puits très-rapprochés, et parfois seulement à la distance de 20 mètres, sont ouverts au-dessus de ces aqueducs, pour en faciliter le curage et pour y introduire des courants d'air.

« On appelle ces canaux souterrains, des kérises ou karyz; leur origine est très-ancienne; Polybe en attribue l'invention aux Perses. . . . .

« Quelques-uns de ces canaux parcourraient de si grandes distances, que plus d'un usager ignora toujours l'origine de la source qui arrosait son domaine. . . . .

« Il existe encore un très-grand nombre de canaux souterrains, non-seulement dans le Fars, mais dans toute la Perse. *Chardin* prétend qu'ils sont tellement multipliés, que, dans le seul Khorassan, qui est l'ancienne Bactriane, il y en avait 42,000 d'inscrits sur les registres publics. »

(2) « Per la costruzione, *Scamozzi* prescrive il modo seguente: Si preparì una ruota di buoni, e doppi tavoloni di quercia incrociati fra di loro. Questa ruota di egual diametro della canna del pozzo deve essere al di sotto guarnita d'una specie di ghirlanda composta di legni in triangolo, dè quali le basi sieno fitte alla ruota, e gli angoli vadano all' in giù. Essa ruota deve mandarsi colla ghirlanda all' in giù nel fondo del pozzo, dove si ha da situar bene a livello, e ha da entrare in una cava abbastanza profonda, che il terreno non isdruccioli, e le acque non sortano. S'incominci a fabbricare sulla ruota. La prima muratura sia di pietre cotte senza malta per uno, o due piedi, affinchè per le porosità di esse pietre possa entrar l'acqua. Indi si muri tutto con buona malta, ma si lasci grezza la muratura, affinchè nell' attinger l'acqua non si scrosti. Col mezzo della ghirlanda si va tirando fuori có secchj o con altri strumenti il terreno e l'acqua. Quanto va scendendo la ruota colla muratura, che v'è sopra, altrettanto si va fabbricando, finchè si giunga a quel segno che si crede l'acqua migliore e più abbondante. Le acque saranno più copiose, purgate, leggiere, e fresche, quanto più profondi saranno i pozzi. Giù nel fondo si getti un piede di ghiara minuta, bianca, e dura, affinchè il limo dell' acqua vada a fondo, e l'acqua resti sempre chiara, e netta. » (*Milizia*, Principj di Architettura civile, T. II, p. 390.)

Lorsqu'on creuse un puits ordinaire, on commence par faire les fouilles, et, si les terres ne se soutiennent pas bien toutes seules, on les étaie avec des planches et des traverses en bois; on creuse ainsi jusqu'à la profondeur à laquelle on veut foncer le puits, et on commence ensuite son revêtement en maçonnerie. Si le terrain sur lequel on doit le fonder est solide, on commence ce revêtement sur la terre, autrement on place un gril en charpente sur le fond du puits pour éviter des tassements inégaux, qui disloqueraient le revêtement. Ces revêtements se font ordinairement en briques, et une largeur de brique mise à plat suffit le plus souvent à leur solidité. Si on traversait des sables mouvants, il serait convenable d'employer les briques sur leur longueur. Comme d'ordinaire les puits sont ronds, on fabrique quelquefois des briques exprès, qui en contournent le parement intérieur.

En Italie on pose quelquefois le gril sur le fond d'une première excavation, et on bâtit le revêtement à une certaine hauteur au-dessus du sol, puis on creuse nouvellement, de manière qu'il s'enfonce par son propre poids, et, dès qu'il a son extrémité au niveau du sol, on recommence à bâtir pour creuser ensuite nouvellement, et ainsi de suite jusqu'à l'achèvement du puits (1).

On fait quelquefois le revêtement des puits en bois, mais cette construction ne nous paraît pas assez solide pour des puits ordinaires. Du reste, dans le creusement des puits, on fera bien de laisser suivre aux ouvriers les usages locaux, dont la pratique a montré la bonté.

CHAPITRE III.

PUITS ARTÉSIENS.

Nous devons commencer par avertir que, n'ayant jamais dirigé par nous-mêmes le percement d'un puits artésien, tout ce chapitre n'est qu'un résumé de ce que nous avons trouvé dans les auteurs qui ont traité cette question. Nous avons puisé beaucoup dans *Héricart de Thury* (1), dans *Garnier* (2), dans *Arago* (3), et dans un excellent article signé *Débette*, dans le Dictionnaire des arts et manufactures.

§ Ier. GISSEMENT DES EAUX JAILLISSANTES.

Nous devons commencer par avouer que, malgré le grand développement qu'ont pris, dans ces derniers temps, les sciences géologiques, ce que l'on peut dire relativement au gissement des eaux souterraines jaillissantes est encore fort vague, et que de fréquentes exceptions se rencontrent aux règles qu'on peut donner sur ce sujet.

La question a été généralement étudiée *a priori*, c'est-à-dire qu'on a cherché à déterminer quelles sont les couches qui doivent donner des eaux jaillissantes. Supposons-la résolue en entier sous ce point de vue, le géologue en est satisfait, puisqu'il a fait une application complète de sa science; mais l'industriel qui doit creuser un puits ne l'est qu'à moitié, puisqu'il ne sait pas encore à quelle profondeur se trouvera l'eau, puisque la puissance d'une même couche peut varier dans des limites immenses. Aussi, on ne peut d'avance fixer, même approximativement, la profondeur à laquelle on trouvera une nappe d'eau jaillissante, que pour quelques contrées tout-à-fait exceptionnelles, comme l'Artois, la plaine de Modène, en Italie, et quelques autres. Il en est de même pour les difficultés qu'on aura à vaincre dans le percement d'un puits; aussi, comme nous le verrons dans la suite, on ne trouve pas d'entrepreneurs qui percent des puits artésiens à forfait; ils ne travaillent qu'à la journée, ou, tout au plus, à tant par mètre de profondeur, et dans ce dernier cas, ils se

(1) Considérations géologiques et physiques sur la cause du jaillissement des eaux des puits forés ou fontaines artificielles.
(2) Traité sur les puits artésiens.
(3) Annuaire du Bureau des longitudes, 1835.

conservent des droits à des indemnités, si des difficultés non prévues viennent à se présenter. D'après cela, nous pensons que, dans la généralité, les puits artésiens peuvent être mieux utilisés comme fournissant de l'eau potable aux centres de population, et de l'eau claire et d'une température constante à certaines industries, que comme moyen d'irrigation; nous reviendrons, du reste, sur ce sujet à la fin du chapitre.

On a fait beaucoup de théories pour expliquer les sources ascendantes; nous ne voulons pas les discuter; mais nous devons rapporter les deux qui sont les plus accréditées; car, comme nous l'avons dit, c'est d'après la théorie qu'on apprécie la facilité qu'on aura à trouver une source jaillissante dans un terrain donné.

Citons d'abord les données auxquelles la théorie doit satisfaire:

1° Il existe de grandes nappes d'eau souterraines qui constituent des véritables lacs d'une grande étendue (1).

(1) On en connaît dans des grottes ou cavernes dans lesquelles on a pu pénétrer. Comme exemple, on peut citer celui de la grotte d'Adelsberg, dans le cercle de même nom, en Carniole (États autrichiens). On en connaît aussi dans lesquels on n'a pas pu pénétrer. Tel est le lac de Zirknitz, dans la même contrée qui déborde par des soupiraux tous les hivers, et qui entraîne dans ses débordements des poissons et même des canards, si on veut en croire *Valvassor*, qui le visita en 1687, et qui prétend avoir pris de ces canards souterrains, qui étaient aveugles et sans plumes au sortir de terre, mais qui devenaient semblables aux autres canards au bout d'un certain temps. Malgré la relation d'*Agapito*, qui, en 1825, parle encore de ces canards, nous aimons les laisser dormir dans leur demeure souterraine, en suivant la relation de *sir John Russe*, qui a visité ce lac en 1821 et n'en parle pas.

Quant aux poissons, on a l'exemple, en France, de quelques fontaines qui en rejettent, lors de leurs débordements.

Héricart de Thury cite également le lac de Oost-Frise, qui existait au XIIe siècle, et est aujourd'hui recouvert à sa surface par une croûte tourbeuse et limoneuse, qui s'est peu à peu convertie en terre végétale. Lorsqu'on perce cette croûte, on retrouve au-dessous l'ancien lac. A Livière, près Narbonne, on voit cinq gouffres d'une grande profondeur, qui communiquent avec une grande nappe d'eau très-poissonneuse. Les paysans des environs vont y pêcher, malgré le sol qui tremble sous leurs pieds.

Des faits semblables, quoique sur une moindre étendue, ont été constatés en Italie, dans le Bolonais. Voici comment les explique *Geminiano Montanari*, dans son discours sur la mer Adriatique:

« Quelquefois les roseaux de marais produisent, dans l'endroit où ils croissent, d'abondantes racines qui, au bout de quelques années, deviennent si épaisses et sont tellement entrelacées, que les petites barbes par le moyen desquelles elles étaient attachées au sol inférieur, venant à se pourrir, toute la masse de terre qu'elles embrassent devient plus légère que l'eau, et, à cause de cette légèreté, se détache du fond et vient, par grands morceaux, flotter sur la superficie, ce qui n'empêche point ces *cores* (c'est ainsi qu'on les nomme en Italie) de produire de nouveaux roseaux, comme si elles étaient toujours dans le premier terrain qu'elles occupaient, parce que la matière des anciennes racines, qui est contenue dans ces amas flottants, leur fournit une nourriture suffisante. De cette manière, elles continuent pendant plusieurs années à produire de nouvelles herbes, et quelquefois elles croissent à un tel point qu'elles peuvent porter des bestiaux, des chasseurs et des cabanes, et qu'elles causent de l'admiration à ceux qui viennent les voir. »

2° Il existe de véritables courants d'eau, ou, pour ainsi dire ; des véritables rivières souterraines (1).

3° Des rivières entières se perdent dans des gouffres, ou s'infiltrent dans des sables, pour reparaître plus loin, ou pour disparaître entièrement (2).

4° Des sources subissent l'influence des saisons, et elles sont directement en communication avec les eaux de la surface (3).

(1) Ici nous dirons également qu'on en connaît dans des grottes, dans lesquelles on a pu pénétrer, et qu'on ne peut mettre en doute l'existence d'autres courants souterrains qu'on ne peut pas suivre. On peut ranger parmi les premiers, un cours d'eau de 8 mètres de large, qui coule dans la caverne du Guacharo, dans la vallée de Caripe, dans les Andes, visitée sur une longueur de 800 mètres par *A. de Humboldt*.

L'existence des seconds cours d'eau souterrains a été démontrée par des travaux de sondage. Les exemples en seraient fort nombreux ; nous en choisirons trois bien concluants :

« Des ouvriers perforaient le terrain près la barrière de Fontainebleau, dans un établissement connu sous le nom de Brasserie de la Maison-Blanche, dit *Arago*, et, comme d'habitude, les progrès de ce travail étaient lents ; mais voilà que, tout-à-coup, la sonde s'échappe de leurs mains ; ils la voient s'enfoncer brusquement de 7 mètres et demi. Sans la manivelle placée transversalement dans l'œil de la première tige, et qui ne put passer par le trou déjà fait, la chute se fût probablement continuée encore.

« Lorsqu'on essaya de retirer la sonde, il devint évident qu'elle était comme suspendue, que sa pointe inférieure ne reposait point sur un terrain solide, *qu'un fort courant* enfin la poussait latéralement et la faisait osciller. »

« A la gare de Saint-Ouen, dit le même auteur, MM. Flachat reconnurent que la troisième des cinq nappes liquides ascendantes, dont leur opération fit découvrir l'existence, *coule* dans une *cavité* de près d'un demi-mètre de hauteur. La sonde, en effet, y tomba de 0 m. 35. Le courant doit y être très-fort, car il imprimait à la sonde un mouvement oscillatoire très-sensible. Ce double résultat (l'existence et la force du courant) peut se déduire aussi avec certitude d'un autre fait curieux : Quand la tarière chargée des débris des couches qu'elle avait attaquées, devait, en remontant, passer à la hauteur de la troisième nappe liquide, il n'était pas nécessaire de la ramener jusqu'à la surface, car à la hauteur en question tous ces débris étaient emportés. Les nappes stagnantes, comme de raison, ne produisaient rien de pareil. »

Enfin, « à Cormeilles, département de Seine-et-Oise, la sonde, arrivée dans les plâtres, à la profondeur de 72 mètres, oscillait, dit M. *Degousée*, sous l'action d'un courant inférieur très-rapide, comme le balancier d'un pendule. »

(2) Les gouffres de ce genre sont très-nombreux et on en rencontre de toutes les dimensions.

Parmi les rivières qui s'engouffrent pour reparaître plus loin, nous citerons :

La Guadiana, en Espagne, qui disparaît au milieu d'une immense prairie, près d'Alcançor, en Estramadoure, et qui reparaît à 22 kilomètres de là, au lieu dit les *Ojos de Guadiana*.

La Meuse, qui s'engouffre près de Bazoille, et qui reparaît à un myriamètre de distance à Noncourt, près de Neufchâteau.

Le Rhône enfin, qui se perd dans des cavités souterraines, au défilé du pont de l'Ecluse, pour reparaître nouvellement à quelque distance de là.

La Drôme, en Normandie, se perd complètement au milieu d'une prairie, à 1 myriamètre à peu près de la mer ; elle s'engloutit dans des gouffres nommés *bétoires* dans le pays, et dont le principal est nommé Fosse de Saucy. La Rille, l'Iton, l'Aune et autres rivières de la même région, sont dans le même cas.

(3) Tout le monde sait que beaucoup de sources baissent et tarissent même dans les temps de sécheresse. Quant à leur communication directe avec les eaux de la surface du sol, nous citerons les faits suivants :

Le *comte de Tristan* a observé que la source du Loiret suivait dans son débit les variations qu'éprouvait la Loire dans ses hauteurs. Une crue de la Loire produisait toujours une crue dans le débit de la source, même dans le cas où elle ne provenait pas de la pluie, mais seulement de la fonte des neiges. Il est vrai que la crue de la source n'a lieu que deux jours après celle du fleuve.

La fontaine de Nîmes grossit après de fortes pluies, et son eau devient trouble. Il en est de même de la fontaine de Vaucluse.

Enfin voici ce que rapporte *Arago* :

« Le 30 janvier 1831, le tuyau vertical de la fontaine jaillissante de la place de la cathédrale à Tours, ayant été raccourci d'environ 4 mètres, le produit en liquide, comme de raison, devint aussitôt plus grand. L'augmentation fut d'environ un tiers ; mais l'eau, auparavant très-limpide, ayant reçu un accroissement subit de vitesse, se troubla. Pendant plusieurs heures, elle amena, de la profondeur de 109 mètres, des débris de végétaux, *parmi lesquels on pouvait reconnaître*, dit M. Dujardin, *des rameaux d'épines, longs de quelques centimètres, noircis par leur séjour dans l'eau, des tiges et des racines, encore blanches, de plantes marécageuses, des graines de plusieurs espèces, dans un état de conservation qui ne permettait pas de supposer qu'elles eussent séjourné plus de trois ou quatre mois dans l'eau. Parmi ces graines, on remarquait surtout celle d'un caille-lait, qui croît dans les marais ; on y trouvait enfin des coquilles d'eau douce et terrestres. Tous ces débris ressemblaient à ceux que les petites rivières et ruisseaux laissent sur leurs bords après un débordement.* »

(1) Les sources à débit constant sont généralement situées dans les montagnes et elles surgissent des terrains primitifs. La plupart des sources thermales ont également un débit qui ne varie pas avec les saisons. (*Rozet*, Traité élémentaire de Géologie, 2e partie, p. 194.)

(2) Voyez ce que nous avons dit au sujet des sources intermittentes, au chapitre précédent. Il est à remarquer que l'intermittence n'est pas toujours régulière.

(3) Les gaz qui se dégagent ainsi sont : les acides carbonique, sulfureux, hydrosulfurique et hydrochlorique, l'hydrogène carboné, etc. Le premier et le dernier sont ceux qui se dégagent le plus fréquemment et en plus grande abondance.

« Sur la Kyll, près de Birresborn, dit *Rozet*, un violent dégagement d'acide carbonique se fait à travers les fissures d'un rocher, dans un étang, avec un bruissement qui s'entend à une grande distance ; une couche de gaz mortel se trouve répandue sur la surface et les bords de cet étang, de telle sorte que les oiseaux et les animaux qui viennent trop près de l'eau tombent asphyxiés. »

Le père *Imbert*, missionnaire en Chine, a visité les puits d'eau salée de *Kia-Ting-Fou* et de *Tselicou-Tsing*, parmi lesquels il s'en trouve un qui dégage assez de gaz inflammable pour que, porté par des tuyaux sous trois cents chaudières, il suffise à l'évaporation de l'eau salée, sans qu'on emploie d'autre combustible.

Sur la côte de Caramanie, dans l'Asie-Mineure, il existe dans un ancien temple, au dire du capitaine *Beaufort*, une ouverture en maçonnerie, de laquelle sort un jet de gaz enflammé.

Le village de Frédonia, dans l'Etat de New-York, est éclairé par un jet souterrain de gaz hydrogène carboné, qu'un tuyau conduit dans un gazomètre.

Enfin, autour de Bakau, ville de la Russie d'Asie (Chirvan), il y a une telle abondance de gaz souterrain, qu'au dire des voyageurs, il suffit aux habitants d'enfoncer un roseau dans le sol pour s'éclairer ou pour faire cuire leurs aliments.

(4) Voici ce que dit *Brongniart*, dans le Dictionnaire des Sciences naturelles, à l'article *Salse* :

« On voit, dans certaines contrées, immédiatement sur le sol ou élevés sur un plateau, des monticules d'argile ayant la forme de petits cônes percés et creusés en en-

5° Il existe d'autres sources dont le débit est indépendant des intempéries des saisons (1).

6° Il existe des sources intermittentes (2).

7° Les sources thermales dégagent souvent des gaz, et il existe des sources qui ne donnent que du gaz hydrogène ou du gaz hydrogène carboné (3).

8° Les salses sont des sources de boue et de gaz, simultanément (4).

9° Les sources bitumineuses entraînent des matières qu'elles ne peuvent dissoudre (1).

10° Il existe des sources sur des points culminants d'une contrée et des sources d'eau douce sous-marines (2).

tonnoir vers leur sommet, d'où sortent habituellement et depuis longtemps, mais avec des paroxysmes très-variés en action, des gaz et de la boue argileuse. Ces monticules doivent leur existence à la consolidation de la boue, qui sort de l'entonnoir.

« Il s'élève, par intervalles plus ou moins longs, du fond de ces entonnoirs, une boue argileuse grisâtre, qui s'épanche sur les parois des cônes, les agrandit faiblement, mais qui s'étend à leurs pieds jusqu'à une certaine distance, et, de cette manière, augmente et élève en plateau le sol qui les porte.

« Du milieu de ces cônes, et quelquefois du milieu des entonnoirs creusés immédiatement dans le sol, s'élève une grosse bulle qui soulève la boue avant de crever, et plusieurs bulles qui semblent faire bouillir cette vase; ces bulles sont dues à un dégagement de gaz hydrogène carboné, bitumineux et quelquefois sulfuré. Dans certains cas, ce gaz prend feu, et fait paraître au-dessus des salses des flammes qui ne sont ordinairement que passagères.

« La vase est uniquement composée de matières terreuses, principalement argileuses; elle est presque toujours accompagnée de bitume, de naphte, de pétrole et souvent de sel marin; c'est même cette dernière circonstance qui a fait donner, dans le Modenois, le nom de salses aux monticules.

« La température de la vase, et par conséquent de l'eau qui la délaie, n'est pas supérieure à la température ordinaire du sol et du lieu; même quelquefois elle lui est inférieure. Les paroxysmes des salses consistent en une éruption de vase beaucoup plus abondante, élevée quelquefois en une espèce de gerbe qui atteint une hauteur de plus de 60 mètres, et accompagnée de sifflements, de bruits souterrains et de tremblements de terre, comme dans les véritables volcans, mais faibles et très-limités. »

Les salses sont fort répandues. Il y en a en Italie, en Sicile, en Asie, en Crimée et en Amérique.

Les fameux Geysers d'Islande paraissent être de véritables salses; ils n'en diffèrent qu'en ce que l'eau qu'ils rejettent est chaude. Les proportions du grand Geyser sont fort grandes. Le monticule a 3 à 4 mètres d'élévation; la bouche de l'entonnoir 7 mètres de diamètre; sa profondeur est de plus de 20 mètres; l'eau y oscille continuellement; pendant les éruptions, la colonne d'eau s'élève à 30 mètres. L'eau de l'entonnoir est claire, à la température de 100 degrés, et tient de la silice en dissolution; la boue est de la silice presque pure.

(1) « Les eaux de Tremolai, près de Clermont, dit *Héricart de Thury*, sont noires, et déposent des matières gluantes, d'une odeur forte et désagréable (stercus diaboli); celles du Pic de l'Etoile, ancien volcan du Vivarais, également noires et infectes, sont chargées de bitume huileux très-fétide; la font de la Pègue, à Servac, près d'Uzès, sort en bouillonnant, et dépose un bitume noir, gluant, très-inflammable; la fontaine de Gabian, en Languedoc, est remarquable par la quantité de bitume qu'elle entraîne. A cet égard, aucune n'est plus remarquable que la fontaine du Puits de la Poix, à une lieue de Clermont, dans laquelle l'eau coule avec le pisasphalte dans un très-grand degré de pureté; il s'élève du fond du bassin et vient former sur la surface de l'eau une peau de toute l'étendue du bassin. Telles sont encore les sources du Puy de la Sau, près de Montferrand. »

(2) Ces sources se trouvent ordinairement dans les terrains primitifs, et elles sont d'un débit constant. On cite une source remarquable dans l'île de Sainte-Hélène, sur la partie la plus élevée de l'île; on cite également la fontaine de Feyollas, à la cime du mont Ventoux, à plus de 1,800 mètres de hauteur, qui est très-abondante et d'un niveau constant.

Comme exemple de sources sous-marines, nous citerons celle du golfe de la Spezzia, étudiée par *Spallanzani*, et qui forme, à 50 mètres de la côte, un *bouton* de 25 mètres de diamètre et de 4 décimètres de hauteur au centre; l'eau douce jaillit par un grand nombre de jets.

Nous citerons aussi celle reconnue par *Buchanan* dans les mers de l'Inde, à 45 lieues de Chittagang et à 36 lieues du point de la côte le plus voisin.

11° Les sources des bords de la mer subissent quelquefois l'influence des marées (1).

12° Il existe plusieurs nappes d'eau souterraines superposées à des distances variables (2).

13° Souvent un puits foré à côté d'un autre ne trouve plus la même nappe d'eau, quoique percé à une bien plus grande profondeur (3).

14° Enfin, les différentes nappes d'eau ne s'élèvent pas toutes à la même hauteur; en d'autres termes elles n'ont pas toutes le même niveau hydrostatique (4). Il y en a qui jaillissent au-dessus de la surface du sol, et d'autres, en beaucoup plus grand nombre, qui s'en tiennent au-dessous (5). Et il

(1) Nous avons déjà parlé de ce phénomène dans le chapitre précédent. Nous compléterons à ce sujet le passage cité d'*Héricart de Thury*:

« Quelques sources présentent à cet égard des anomalies extraordinaires dans l'effet produit par l'action de la marée; elles s'abaissent au contraire lors du flux et remontent au reflux. Le même effet se remarque dans un puits de Tréport, en Normandie, proche le pont; l'eau y descend quand la marée monte, et elle s'y élève quand la mer descend. »

(2) A Saint-Nicolas-d'Aliermont, dans un sondage fait dans le but de trouver de la houille, on a reconnu sept nappes d'eau abondantes.

Voici leurs profondeurs respectives:

1re nappe,	de 25	à 30	mètres de profondeur.
2e	—	— 100	—
3e	—	de 175 à 180	—
4e	—	de 210 à 215	—
5e	—	— à 250	—
6e	—	— à 287	—
7e	—	— à 333	—

MM. *Flachat* en rencontrèrent cinq dans le percement des puits de la gare de Saint-Ouen, et *Degousée* trois dans le percement du puits de la place de la cathédrale à Tours.

(3) « A Blingel, dans la vallée de Ternoise, de trois sondages entrepris en 1820, le premier est devenu une belle fontaine jaillissante; les deux autres, au contraire, n'ont pas donné une goutte d'eau, et cependant les trois trous sont très-voisins.

« Les territoires de Lilliers, de Saint-Pol, de Saint-Venant, ont offert des irrégularités du même genre.

« A Béthune, un trou de sonde percé dans 23 mètres de terrains de nouvelle formation, et dans 10 mètres de calcaire, a ramené au jour un beau jet d'eau limpide. Dans le jardin de la propriété contiguë, un trou de sonde pareil n'a pas rencontré un seul filet de liquide, même après qu'on l'a prolongé de 34 mètres dans le calcaire. » (*Arago*, Annuaire.)

(4) Nous citerons, comme exemple de nappes d'eau qui s'élèvent à des hauteurs différentes, le second puits percé à Saint-Ouen par les frères *Flachat*.

La première nappe ascendante a été trouvée à la profondeur de 35 m. 75; elle est remontée à 3 m. au-dessous du sol.

La seconde a été trouvée à 45 m. 50, et est remontée à 2 m. 30 au-dessous du sol.

La troisième a été trouvée à 50 m. 70, et est remontée à 1 m. 30 au-dessus du sol.

La quatrième a été trouvée à 59 m. 50, et est remontée à 2 m. 30 au-dessus du sol.

La cinquième a été trouvée à 66 m. 60, et remonte plus haut que la dernière.

On a, en outre, reconnu dans ce percement l'existence d'une nappe stationnaire.

(5) « La profondeur à laquelle se font les sondages en Angleterre, est très-variée. Ainsi, on cite des puits forés de 50, 60, 80, 100, 150 mètres et au-delà.

« Beaucoup de ces puits donnent des eaux jaillissantes au-dessus de la terre; mais

arrive quelquefois que l'eau se perd en remontant, si elle n'est pas emprisonnée par un tubage parfait; ou, qu'en continuant de percer la terre, l'eau se perd à un niveau inférieur à la nappe (1).

On a fait deux théories pour expliquer tous ces phénomènes. La première, généralement adoptée par les savants français, consiste à admettre que toutes les sources naturelles ou artésiennes, et toutes les nappes d'eau souterraines prennent leur origine dans les eaux pluviales qui tombent sur la surface de la terre, et que leur force ascensionnelle provient de la différence de niveau du point où les eaux superficielles s'infiltrent, avec le point où elles jaillissent. On voit que tous les phenomènes sont ainsi rapportés à une expérience connue, celle du syphon renversé. Les fontaines intermittentes se réduisent au petit instrument de physique connu sous le même nom, mais construit par la nature sur une plus grande échelle, et tout peut s'expliquer avec les lois de l'hydrostatique et de l'hydrodynamique, excepté l'existence de sources sur des points assez élevés pour que la pluie tombée sur les terrains supérieurs ne puisse pas suffire à leur alimentation; aussi, les partisans de cette théorie prennent le parti d'en nier l'existence. La seconde théorie, qui est adoptée par des ingénieurs de mérite, anglais et américains, admet l'existence de grands réservoirs souterrains alimentés par des infiltrations de la mer et même des eaux pluviales de la surface, et cherche la force qui fait jaillir les eaux, dans l'expansion des gaz emprisonnés dans les entrailles de la terre et portés à une haute température par la chaleur centrale ou par des phénomènes volcaniques. Nous ne discuterons pas ces deux hypothèses, qui, du reste, pourraient être admises simultanément (2), il nous suffit de les avoir rapportées.

dans le plus grand nombre, elles se maintiennent au-dessous. » (*Héricart de Thury*, Considérations, etc., p. 49.)

(1) « Dans une lettre peu connue de *Buffon*, on voit que Madame de Lully avait fait faire, en 1753, un puits foré à Drancy, près Le Bourget. Après avoir percé des terrains mouvants et des roches presque impénétrables, la sonde avait frappé une nappe d'eau ascendante qui, après s'être élevée à 2 m. 30 au-dessous de la surface, s'était arrêtée fixée à 1 m. 66; mais, ayant fait sonder jusqu'à plus de 80 m., dans l'espoir d'obtenir une autre nappe d'eau jaillissante, on perdit la première, sans en trouver d'autre. »

(2) *Héricart de Thury*, qui adopte la première, paraît également adopter la seconde pour certains cas particuliers; du moins voici ce que nous lisons dans son ouvrage sur les puits artésiens, p. 163:

« Les terrains volcaniques présentent plusieurs exemples de jets d'eau ou fontaines jaillissantes, *évidemment dus à l'action de leurs feux souterrains*. Telles sont les fontaines de Geysers, en Islande, etc. »

Et plus loin, à la page 178:

« Pour les eaux thermales, qui surgissent à la surface de la terre de l'intérieur de

Les partisans de la deuxième hypothèse pensent qu'on peut, par le sondage, se procurer de l'eau jaillissante, en quelque lieu que l'on veuille faire un puits foré (1).

Dans la première hypothèse, on admet, au contraire, que l'eau jaillissante ne peut pas se trouver indistinctement partout où l'on percera un puits.

Nous allons ici résumer les données qu'on retrouve dans les auteurs, pour se guider dans la recherche des eaux souterraines.

Nous ne pouvons mieux faire que copier textuellement les pages 216 et 217 de la Géogénie du capitaine *Rozet*.

« La recherche des fontaines jaillissantes étant une des plus belles et des plus utiles applications des études géologiques, nous allons exposer succinctement les principes qui doivent la diriger.

« Tous les sondages exécutés jusqu'à présent ont démontré que c'était au milieu de couches sableuses, reposant sur des masses argileuses (la partie inférieure des terrains tertiaires, craïeux, jurassiques, les marnes irisées, etc. (2), que se trouvent établis ces courants souterrains dont les eaux jaillissent à la surface par des ouvertures artificielles. Ce n'est donc que dans l'intérieur des groupes géognostiques, où de semblables couches se trouvent réunies, que l'on peut tenter des recherches avec quelques chances de succès. Ainsi, la première chose à faire avant d'entreprendre un percement, c'est de voir si, parmi les groupes géognostiques qui se montrent au jour dans la contrée où l'on veut opérer, un ou plusieurs présentent des couches sableuses reposant sur des masses argileuses; comme cela se voit souvent dans le terrain vosgien, à la partie inférieure de presque tous les groupes du terrain jurassique, à la base du terrain craïeux et à celle du terrain tertiaire. La découverte de semblables couches faite, il faudra bien déterminer le sens des inclinaisons et la direction dans laquelle elles se trouvent, parce que c'est dans ce sens

terrains primitifs, elles doivent leur jaillissement au dégagement des gaz comprimés, qui pressent et réagissent sur la surface de ces eaux, comme la vapeur agit sur l'eau dans l'éolipyle.

« Quant aux eaux gazeuses minérales froides, leur jaillissement peut être assimilé au jet d'eau de la fontaine de compression. »

(1) Voyez *Dickson*, An essay on the art of boring the earth, for the obtainment of a spontaneous flow of water, with hints towards forming a new theory for the rise of waters. New-Brunswich, 1826.

(2) Pour la connaissance des couches géologiques de la croûte terrestre, nous renvoyons nos lecteurs aux ouvrages qui traitent de Géologie, et spécialement à la Géognosie de *Daubuisson de Voisins* et aux Principes de Géologie de *C. Lyell*.

et dans cette direction que les canaux doivent être dirigés; par exemple, si les couches se relèvent sur le flanc d'une chaîne de montagnes et qu'elles plongent vers la plaine perpendiculairement à l'axe de cette chaîne, ce n'est qu'à une certaine distance du pied des montagnes, et sur le prolongement supposé de la couche sableuse, que l'on doit sonder.

« Si dans quelque localité on voyait des eaux s'infiltrer dans le sol et que certains faits fissent présumer que ces eaux ressortent à une certaine distance, ce qui arrive souvent dans le Jura et quelques autres chaînes calcaires, on aurait des probabilités pour l'existence d'un courant souterrain, qui, rencontré par la sonde, donnerait certainement des fontaines jaillissantes, surtout s'il y avait une grande différence de niveau entre le point où l'eau s'infiltre dans le sol et celui où elle ressort.

« Si des couches perméables se montrent dans le lit d'une rivière, il y a des chances pour obtenir, en aval, des sources jaillissantes qui proviendraient alors de l'infiltration des eaux de la rivière dans ces couches.

« L'étude approfondie du sol sur lequel on veut opérer fournira une foule de remarques du même genre, qui serviront de guide aux entrepreneurs des puits forés; mais si on entreprend des sondages avant d'avoir soigneusement étudié le terrain sur lequel on se propose d'opérer, on s'exposera à faire des dépenses inutiles. Toutes les personnes qui veulent s'adonner à la recherche des sources jaillissantes, doivent donc être versées dans les connaissances géognostiques. »

Nous ajouterons que malgré ces connaissances on est encore assez souvent sujet à avoir des déboires, et que l'on ne peut que bien rarement déterminer à peu près la profondeur à laquelle on rencontrera des eaux ascendantes jusqu'au-dessus de la surface du sol (1), qui sont les seules qu'on puisse utiliser en agriculture.

Il est évident que si le puits était percé sur le penchant d'une colline, on pourrait utiliser les eaux qui ne monteraient pas jusqu'à la surface, en les conduisant plus loin sur le sol, au moyen d'une rigole ou de tuyaux, comme nous l'avons expliqué pour les sources ordinaires.

(1) Dans les bassins dont la constitution géologique est parfaitement connue, de grandes connaissances géognostiques peuvent permettre de fixer d'avance la profondeur des nappes jaillissantes; ainsi, le savant *Héricart de Thury* avait prédit que l'on trouverait les eaux du puits de Grenelle entre 550 et 560 mètres; elles ont surgi de 548 mètres de profondeur.

Terminons en citant les conclusions de *Héricart de Thury*, auteur qui est d'une grande autorité sur ce sujet.

« D'après cela, on voit que l'on peut obtenir des eaux jaillissantes à l'aide de la sonde, à peu près dans tout pays présentant dans la constitution du sol, des nappes d'eau souterraines, entre les superpositions alternatives et continues de terrains perméables et imperméables, s'étendant jusqu'aux pays ou montagnes qui recèlent les réservoirs de ces nappes d'eau, et dont les bases ou les pentes sont recouvertes par ces superpositions.

« Mais il est essentiel de le répéter, *on ne doit pas cependant se flatter de trouver partout des eaux jaillissantes, ainsi qu'on l'a légèrement avancé;* car, d'une part, la nature du terrain s'y oppose quelquefois absolument, comme dans les granits, et, d'autre part, il serait possible qu'un sondage, fait même à une très-petite distance d'un puits foré aquifère, ne donnât pas d'eau, si par exemple ce dernier était alimenté par un courant souterrain, au lieu de l'être par une nappe d'eau, ou si le sondage était fait sur l'extrémité d'un bassin à couches relevées, appuyées contre un terrain d'une autre nature (1). »

La quantité d'eau fournie par les puits artésiens est généralement constante et ne se ressent pas du forage d'un puits voisin (2), mais quelquefois les puits s'engorgent, et le débit diminue; on y remédie en les curant avec la sonde.

Le débit, soit la quantité d'eau que donne une source jaillissante, est généralement (3) d'autant plus forte que le puits prend son origine à un niveau plus bas: elle l'est toujours moins si on la force de monter; ainsi, une diminution de lon-

(1) *Garnier* est encore plus difficile sur le choix d'un terrain propre au percement d'un puits artésien, puisqu'il dit formellement : « Les roches calcaires, situées au-dessous des terrains de nouvelle formation, sont les seules dans lesquelles on doive rechercher des eaux souterraines. » (Traité des puits artésiens, p. 52.) *Garnier* n'avait étudié les puits forés que dans les départements du Nord, et c'est là la cause de cette opinion trop exclusive; il y revient et la modifie tant soit peu dans une note de la seconde édition de son ouvrage.

(2) Lorsqu'on perce, à Modène, un nouveau puits artésien, à côté d'un très-grand même qu'on a percé depuis des siècles, l'eau s'abaisse dans les puits voisins et cesse momentanément de couler par les tuyaux, mais elle reprend ensuite peu-à-peu son premier niveau et coule avec la même abondance. (*Bernardini Ramazzini*, De fontium Mutinensium admiranda scaturigine, Tractatus physico-hydrostaticus. Genevæ, Cromer et Perrachon, MDCCXVII.) Le même phénomène a lieu pour les puits forés de nos jours, comme s'en est assuré le docteur *Antonio Lombardi*.

(3) Nous disons généralement, car voici ce qu'on lit dans *Héricart de Thury* (Considérations, etc., p. 49) :

« Ce ne sont pas toujours les puits les plus profonds qui donnent des eaux jaillissantes au-dessus de la surface, et souvent même l'eau est encore à plus de 20 et 30 mètres de l'orifice dans des puits de 100 mètres, mais les eaux qu'ils produisent sont inépuisables et sont élevées par des pompes. »

gueur de quatre mètres dans la hauteur à laquelle l'eau s'écoulait a fait augmenter à Tours le débit du puits de la place de la cathédrale d'un tiers.

Quant à la quantité d'eau que donnera un puits artésien, on ne peut rien prévoir d'avance. Elle est souvent petite, rapport à celle qu'exigeraient des irrigations étendues.

Du reste, nous donnons ici le débit de quelques puits qui comprennent ceux qui fournissent la plus grande quantité d'eau.

Le puits de Grenelle, jaugé au niveau du sol, 50 litres par seconde.

Le puits de M. Durand, à Boges, près de Perpignan, donne 33 litres par seconde.

Le puits de Tours, foré dans le quartier de cavalerie, donne 19 litres par seconde, à 2 mètres au-dessus du sol.

Le puits percé à Epinay près de Saint-Denis, chez la marquise de Grollier, donne à peu près 172 litre par seconde à $0^{m}.33$ au-dessus du sol.

Le puits de la prison de Beauvais donne à peu près deux litres 172 par seconde, à $6^{m},75$ au-dessous de la surface du sol.

Dans la filature du coton de MM. Samuel et Joly à Saint-Quentin, trois puits forés à 3 mètres de distance l'un de l'autre donnent ensemble 41 litres par seconde, à $0^{m},50$ au-dessus du sol.

Le puits de Rivesaltes donne 13 litres par seconde.

Le puits de Lilliers donne 11 litres par seconde.

Enfin, le puits de la fabrique de cuivre laminé de Merton, en Surey (Angleterre), donne 15 litres par seconde.

Le puits de Creutzwald (Moselle) donne 3 litres par seconde. Profondeur, 60 mètres.

Deux puits forés à La-Cour, arrondissement de Saint-Pourçain, donnent ensemble $0^{l},22$ par seconde. Profondeur, à peu près 50 mètres.

La température des eaux artésiennes est généralement constante et d'autant plus élevée que le forage est plus profond, comme on devait s'y attendre d'après la température terrestre qui augmente avec la profondeur.

Le tableau suivant donne la température des eaux de quelques puits, et la profondeur d'où elles surgissent.

DÉSIGNATION des puits artésiens.	Profondeur du puits.	Température moyenne à la surface.	Température de l'eau.
	mètres.	degrés.	degrés.
Puits de Grenelle, à Paris.	548	+ 10.6	+ 27.4
— de St-Ouen, à Paris.	66	Id.	+ 12.9
— de M. Champoiseau, à Tours.	140	+ 11.5	+ 17.5
— de Marguette (Nord).	56	+ 10.3	+ 12.5
— d'Aire (Pas-de-Calais).	63	Id.	+ 15.3
— de St-Venant (Pas-de-Calais).	100	Id.	+ 14.0
— de Sheerness (Angleterre).	110	+ 10.5	+ 15.5

On voit que la température élevée de plusieurs de ces sources pourrait les rendre propres aux irrigations d'hiver. Déjà l'industrie a utilisé cette propriété pour faire marcher des usines pendant les gelées (1). Malheureusement, la température s'élève en proportion de la profondeur du puits, et la dépense croît bien plus rapidement que cette profondeur, du moins avec les procédés de sondage généralement usités.

Il résulte de ce qui précède, qu'il y a des variations énormes dans la quantité d'eau fournie par une source artésienne, et qu'il est bien difficile de prévoir quel sera son débit. Les variations ne sont pas moins grandes dans les profondeurs auxquelles se rencontrent les nappes d'eau ascendantes;

(1) A Saint-Pol, un moulin est mis en mouvement par les eaux de cinq fontaines jaillissantes.

A Fortès, près d'Aire, les eaux de dix puits artésiens font marcher un grand moulin et mettent en action les soufflets et les marteaux d'une clouterie.

« Dans le Wurtemberg, M. *Bruckmann*, en faisant circuler le long de tuyaux métalliques convenablement disposés, de l'eau à + 13 degrés centigrades, provenant de diverses fontaines artésiennes, est parvenu à maintenir à + 8 degrés la température de divers ateliers, quand le thermomètre extérieur était à 18 degrés au-dessous de zéro. » (*Arago*, Annuaire.)

aussi, tel puits artésien coûtera seulement 4 ou 500 francs, tandis que tel autre ne pourra être percé qu'en dépensant 100,000 francs et même plus.

Les sondages servent aussi à se débarrasser des eaux nuisibles en les faisant absorber par une couche perméable (1). Nous le rappelons ici, car les travaux à faire sont identiquement les mêmes que pour se procurer des eaux ascendantes; seulement, on arrête le percement dès qu'on a atteint une couche de sable ou de gravier perméable. L'emploi des puits artésiens absorbant, pour le dessèchement des marais, n'est pas une invention moderne, puisque le bon roi Réné, au milieu du 15e siècle, a desséché par ce moyen la plaine des *Paluns* près de Marseille, qui était un grand marais. Les puits qu'il y fit creuser en grand nombre et qui fonctionnent depuis ce temps se nomment, en provençal, *embugs*. L'entrée en est fermée par des grosses pierres, qui laissent passer l'eau par leurs interstices. L'industrie, plus que l'agriculture, a profité de ce moyen de se débarrasser des eaux. On l'emploie dans les carrières des environs de Paris.

Le puits absorbant de Villetanneuse, près de Saint-Denis, absorbe 80 mètres cubes d'eau par jour, et celui de la voirie de Bondy, 100 mètres cubes. Ils pourraient probablement en absorber de plus grandes quantités.

Les eaux des sources jaillissantes sont généralement très-pures, particulièrement lorsqu'elles proviennent d'une grande profondeur. Il y a pourtant des cas où elles sont sulfureuses et où elles contiennent des sels en forte quantité.

(1) *Arago* (Annuaire, 1835) rend compte en ces termes d'une opération remarquable de ce genre :

« L'eau d'une fontaine creusée sur la place de la Poste aux Chevaux de Saint-Denis devint, dans l'été, un excellent moyen de propreté ; mais les ge ées étant survenues, les glaces s'accumulèrent sur la voie publique et nuisirent beaucoup à la circulation. Cet inconvénient avait presque fait reconcer à creuser une nouvelle fontaine sur la place aux Gueldres, lorsque M. *Mulot* imagina le procédé que je vais faire connaître en deux mots.

« De l'eau d'excellente qualité, provenant d'une couche située à 65 mètres de profondeur, monte dans un tube métallique d'un certain diamètre. Un tube, *notablement plus grand*, enveloppe le premier et va se saisir, à 55 mètres de profondeur, d'une nappe d'eau encore très-potable, mais moins bonne cependant que la première. C'est exclusivement, dans l'espace annulaire compris entre ces deux tubes, que l'eau de la nappe située à 55 mètres peut remonter. Un troisième tube, enfin *notablement plus grand* que le second, descend, en l'enveloppant, jusqu'à la profondeur d'une couche absorbante. L'espace annulaire compris entre le tube moyen et le tube extérieur ne donne donc rien ; il sert, au contraire, *en hiver*, à ramener au sein de la terre la partie non employée des eaux des deux couches ascendantes, qui, en se répandant dans la rue, seraient devenues une épaisse couche de glace. Dans ce cas-ci, les eaux absorbées étant propres, il n'y aurait pas lieu aux objections qu'avait fait naître, pour les travaux de Villetanneuse et de Bordes, la crainte de voir les eaux des puits voisins altérées par des infiltrations impures. »

On peut voir, dans le Chapitre III de la première partie, l'analyse faite par *Payen* des eaux du puits de Grenelle ; voici trois autres analyses d'eaux artésiennes.

Le puits de Buges (Loiret) donne des eaux fortement sulfurées. 100,000 parties de ces eaux contiennent, suivant l'analyse d'*Amfry* :

Silice.	0,47
Oxyde de fer.	0,40
Muriate de potasse.	0,20
Carbonate de chaux.	12,46
Résidu insoluble.	10,04
	23,57

Les eaux des deux puits de La Cour, près de Saint-Pourçain (Allier), appartenant à M. de Ballore, contiennent sur 100,000 parties, d'après l'analyse de *Sallard*, pharmacien à Moulins :

Hydrochlorate de magnésie. . . .	17,66
Sulfate de chaux.	traces.
Carbonate de chaux.	5,16
	22,82

La profondeur des puits est de 46 mètres. Un autre puits, foré dans la même localité, a donné des eaux qui, analysées de même, ont donné :

Carbonate de magnésie.	1,76
Sulfate de chaux.	13,25
Hydrochlorate de chaux. . . .	5,16
	20,17 (1)

§ II. APERÇU SUR LES TRAVAUX DE SONDAGE.

Les travaux de sondage se partagent en deux opérations bien distinctes : le forage ou percement des différentes roches, pour atteindre la nappe d'eau jaillissante, et le tubage du trou de sonde, pour isoler les eaux ascendantes. Le percement de puits artésiens ne s'est généralisé que depuis peu d'années, et des ingénieurs habiles, tels que les *Degousée*, les

(1) Les eaux des fontaines forées d'Abbeville (Somme) contiennent moyennement, suivant *Garnier* (Traité des puits artésiens, p. 51), 0,0004 de carbonate de chaux, 0,00015 de muriate de chaux, et 0,00035 de sulfate de chaux ; ce dernier sel ne se trouve pas dans toutes.

Mulot, les *OEynhausen*, les *Kind*, les *Jobard* et les *Fauvelle*, on fait faire d'immenses progrès à cet art, qui avait été si bien décrit dans son état presque primitif par *Garnier*, en 1825.

Les sondages ont pour but de percer, par un trou rectiligne, une certaine épaisseur de terrain. Ce trou peut être vertical ou incliné à l'horizon. Ces derniers ne sont employés que dans les mines, aussi nous n'en parlerons pas.

Les sondages verticaux à de grandes profondeurs se font par trois procédés différents :

1° Avec une sonde à tige rigide; c'est le plus généralement usité, le plus sûr, si on le veut, mais aussi le plus coûteux;

2° Avec un mouton suspendu à une corde, suivant la méthode chinoise; c'est celui qui entraîne le moins de dépenses;

3° Avec une sonde à tige rigide et tubulaire donnant passage à un courant qui y est injecté par une pompe; c'est le dernier inventé (1), et il tient, pour la dépense, le milieu entre les deux autres.

Nous allons décrire succinctement ces trois procédés, en renvoyant à l'explication des planches pour les détails des outils et engins employés.

Premier procédé. — *Sondage ordinaire avec sonde à tige rigide.* — Avec ce procédé, on perce les roches, par percussion ou par rotation, suivant leur dureté et leur nature plus ou moins friable. Une sonde se compose de trois parties : la tête, les tiges et les outils de percement. La tête sert à soutenir toute la sonde au moyen d'un câble qui passe par la poulie d'une chèvre ou d'un engin particulier. C'est une tige de fer carrée, qui se termine, à son extrémité supérieure, par un anneau tournant, au-dessous duquel sont deux œils en équerre, pour recevoir des leviers destinés à faire tourner la sonde. Les tiges sont ordinairement en fer carré, dont le côté varie suivant le diamètre du trou de sonde à ouvrir. Il est de $0^m,025$ pour des trous de $0^m,06$ à $0^m,07$ de diamètre, et de 20^m au plus de profondeur; il est de $0^m,035$ pour un trou de $0^m,10$ de diamètre et 150^m de profondeur. Il y a des dimensions intermédiaires. Chaque bout de tige a ordinairement 5 à 6 mètres de longueur (2). Si on ne craignait pas de monter trop haut l'échafaudage destiné à soutenir et soulever la sonde, il y

(1) *Fauvelle*, son inventeur, l'a fait connaître à l'Académie des Sciences, dans sa séance du 31 du mois d'août 1846.

(2) *Garnier* ne leur donne que 3 à 4 mètres de longueur; mais les sondages, dans l'Artois, ne descendent guère qu'à 50 ou 60 mètres de profondeur.

aurait avantage à faire les bouts de tige plus longs, car on diminuerait ainsi le temps nécessaire au démontage, opération qui allonge beaucoup les travaux de percement. On assemble ces bouts de deux manières différentes : soit entr'eux, soit avec la tête de la sonde, soit enfin avec les outils : à enfourchements mâle et femelle, qu'on appelle *mouffles*, ou bien à vis et douille.

Ce dernier assemblage, le plus usité aujourd'hui, a l'inconvénient de ne permettre de faire agir la sonde en tournant que dans un sens; cet inconvénient doit être bien sensible, lorsqu'il s'agit de dégager un outil pris entre des cailloux. Les douilles ou les enfourchements femelles sont toujours au bas des tiges pour conserver propres les assemblages.

Les outils servent à entailler la roche par percussion ou par rotation, ou bien à extraire du trou les détritus produits par la percussion. On ne travaille par percussion que lorsque la dureté des roches empêche de travailler par rotation. On emploie pour ce travail différents outils, qu'on nomme trépans ou ciseaux. Nous en donnons plusieurs aux planches, avec la manière de s'en servir; il nous suffit ici de remarquer que le tranchant des trépans doit être en bizeau, et d'autant plus obtus que la roche à percer présente plus de dureté. Ces outils doivent être en fer aciéré et sans défauts. Lorsque le trépan a broyé par percussion une certaine quantité de roche, on le remonte et on emploie pour extraire les détritus, d'autres outils dont nous parlerons bientôt.

Dans les roches tendres et friables, on se sert d'outils qui agissent par rotation, et qui remontent les matières désagrégées. On les nomme *tarières*. Dans les glaises, on les emploie sans mèche, et dans les sables faiblement agrégés, avec une mèche en tire-bouchon qu'on appelle *trépan rubanné*, et qui sert à désagréger le sable, qui est empoigné et ramené au jour par le cylindre creux de la tarière. Les instruments pour les argiles et pour les sables sont très-variés; chaque sondeur en a, pour ainsi dire, qui lui appartiennent spécialement; mais tous agissent par rotation et rapportent au jour une plus ou moins grande quantité de matières désagrégées.

Pour curer les trous, on se sert de tarières ou de cylindres avec soupape à boulet, ou même avec soupape simple, suivant la plasticité des matières à extraire. Les premières sont toujours ajustées au bout des tiges et travaillent par ro-

tation ; les seconds sont le plus souvent suspendus à un câb
et travaillent par percussion.

Lorsqu'on doit tuber les trous, il faut les élargir, et on s
sert de cylindres en fer pleins ou vides, plus petits que l
trou, sur lesquels sont ajustées des lames en acier qui rest
tent dans la direction des rayons et qui agissent en rodant

La manœuvre de la sonde se fait avec des outils partic
liers. On a d'abord les manivelles qui servent aux ouvri
sondeurs pour faire tourner la sonde et lui imprimer un mo
vement de rotation. Elles sont généralement en fer, s'eng
gent par un œil dans la tige et sont retenues soit par des vi
soit par des coins en bois On a ensuite la *clef de retenue*, q
se place au-dessous d'un renflement de la tige et qui mai
tient la sonde suspendue dans le trou ; le *pied de bœuf*, o
clef de relevée, qui saisit la tige sous un épaulement et sert
la suspendre au câble de l'engin ; enfin, le *tourne-à-gauch*
qui sert à désassembler les tiges vissées.

Il arrive, assez fréquemment, que la tige de la sonde s
casse dans le trou ; aussi a-t-on des outils spéciaux pour l'en
traire. Cette opération est toujours difficile et coûteuse,
cause du temps qu'elle exige. Deux de ces outils, fort simple
sont : la *caracole*, qui saisit la tige au-dessous d'une jointure
mais qui ne peut servir lorsque la cassure a eu lieu au milie
d'une tige, et le *tire-bourre*, qui n'est guère employé q
pour retirer une partie du câble qui soutient les cylindres
soupape. La *cloche à écrou* est une cloche conique portan
intérieurement un filet de vis triangulaire en acier trempé
qui mord sur la tête de la partie de la tige restée dans l
trou. La tige étant carrée, la vis ne mord que sur ses angle
mais ce n'est pas là un inconvénient, car on peut la fai
mordre plus facilement, et lorsqu'on y parvient, l'adhéren
est assez grande pour que l'on puisse soulever la sonde. *Kin*
a inventé un outil plus efficace et plus facile à manœuvrer
c'est l'*accrocheur à pinces* ; nous en donnons le dessin au
planches.

Pour manœuvrer la sonde, on place d'abord sur le fon
un fort madrier avec un trou circulaire d'un diamètre un pe
supérieur à celui des ciseaux et trépans, et on planchaie, s'il
le faut, à côté pour empêcher les éboulements. Ordinaire-
ment on a déjà creusé un puits d'un diamètre suffisant pour
la manœuvre des manivelles. Ce puits traverse toute l'épais-
seur des terres végétales, et quelquefois des glaises ou des

sables, sur une profondeur de 6, 8 et même 10 mètres.
Plus il est profond, plus on a de facilité pour désassembler
promptement les tiges.

D'autres fois, on place le madrier sur le sol, et on perce
la terre végétale et les premières couches tendres qui sont
au-dessous, avec une tarrière à bras, en ayant soin de main-
tenir l'outil bien vertical, ce qui se fait en le dirigeant au
moyen d'un arbre foré, de 1 à 2 mètres de longueur, qu'on
plante dans le sol. Dès qu'on rencontre des roches dures, on
emploie le trépan ; on le soulève à bras, et on le fait battre
sur le fond du trou en lui faisant faire, chaque fois, de 1/6
à 1/5 de tour. Il faut avoir le soin de jeter, de temps à autre,
de l'eau dans le trou, lorsqu'il n'y en a pas naturellement,
pour rafraîchir les outils et les empêcher de se détremper. A
une profondeur de 10 mètres, il devient nécessaire de se ser-
vir d'un engin pour soulever la sonde.

On se sert, pour cela, d'engins qui ont la forme de chèvres
ou d'échafaudages. Nous en donnons deux des plus com-
modes dans les dessins des planches. On soulève la sonde
avec un câble qui s'enroule sur un tour qu'on fait mouvoir
soit avec une manivelle, soit avec des leviers, soit, enfin,
avec une roue à marches, suivant la profondeur du sondage
et le poids de la sonde.

Pour faire battre aux trépans des coups rapides et de peu
d'élévation, on suspend souvent la sonde à l'extrémité amin-
cie d'un arbre, dont l'autre extrémité est fixée au sol et qui
porte sur une traverse au 1/5 de sa longueur ; cet arbre, tiré
par une corde à plusieurs bouts par les ouvriers, se baisse et
se relève, faisant office de ressort.

Voici comment on opère avec les divers outils : avec les
trépans on broie les roches dures et résistantes, en soulevant
l'outil et toute la sonde à une hauteur qui varie depuis 0^m15
jusqu'à 0^m70, suivant les circonstances, et en les laissant re-
tomber brusquement, en même temps qu'on fait un peu
tourner la sonde sur son axe ; avec les tarières, la sonde porte
de tout son poids sur le fond du trou, et on opère en rodant,
ou pour mieux dire en faisant tourner la tige de la sonde à
l'aide des manivelles, avec un mouvement continu.

Les trous faits par battage conservent mieux la verticale,
et avancent généralement plus que ceux faits par rodage,
sans donner lieu à autant d'accidents, car la tige est bien
moins fatiguée, particulièrement lorsqu'elle a déjà une assez

grande longueur. Le seul inconvénient qu'on éprouve provient du coup de fouet que donne la tige contre les parois du trou, ce qui les dégrade et produit quelquefois des éboulements. *OEynhausen* et *Kind* ont remédié à cet inconvénient par l'introduction de coulisses, qui rendent l'outil et une petite partie de l'extrémité inférieure de la sonde, indépendants de la ligne supérieure des tiges (1).

Lorsque le trou ou les outils sont encombrés de débris, il faut soulever la sonde, en employant les outils dont nous avons parlé, désassembler les tiges, et remplacer le trépan par un cylindre qui va chercher les débris de roches broyées. On se sert pour cela, le plus souvent, d'un câble. On remonte ensuite les tiges avec le trépan, et on recommence à battre pour faire de nouveaux détritus.

Quand le forage s'exécute en rodant avec une tarière, celle-ci remonte presque toujours remplie des débris du terrain, qui forment, dans son intérieur, une espèce de carotte qu'on détache avec une curette. On n'a ensuite qu'à redescendre la tarière pour roder nouvellement.

L'assemblage et le désassemblage des tiges, pour monter et redescendre les outils, font perdre beaucoup de temps et donnent beaucoup de travail aux ouvriers, surtout lorsque le sondage est profond. Il s'ensuit que le prix du mètre courant de sondage croît très-rapidement avec la profondeur.

Voici des nombres qui indiquent la vitesse avec laquelle on opère, et qui ont été obtenus par M. *Fantet* dans des sondages de 0^m08 de diamètre.

« 1° Terrain houiller ordinaire, composé de bancs de grès houiller médiocrement dur, alternant avec des schistes houillers. »

(1) Nous donnons aux planches les dessins de ces coulisses. C'est à l'aide de la tige de son invention, que *Kind* est parvenu à forer un puits à Mondorf, près Luxembourg, de beaucoup plus profond que celui de Grenelle.

Kind fait la partie supérieure de la sonde avec des tiges de bois, qui, moins pesantes que l'eau, diminuent le poids qu'on doit élever à chaque coup de ciseau. *Degoussée* parvient au même résultat avec des tubes en fer creux, remplis d'air qui en diminue le poids.

PROFONDEUR.	OUVRIERS	JOURS.	JOURNÉES d'ouvrier par mètre courant
0 à 25^m	3	14	1.68
25 à 30	4	3	2.40
30 à 35	5	3	3.00
35 à 40	6	4	4.80
40 à 50	7	6	4.20
50 à 70	7	18	6.30
70 à 80	8	12	9.60

« 2° Terrain houiller très-dur, composé surtout de bancs de grès. »

PROFONDEUR.	OUVRIERS	JOURS.	JOURNÉES d'ouvrier par mètre courant
0 à 25^m	3	18	2 16
25 à 30	4	5	4.00
30 à 35	5	4	4.00
35 à 40	6	3	3.60
40 à 50	7	9	6.30
50 à 70	7	24	8.40
70 à 80	8	17	13.70 (1)

Deuxième procédé. — *Sondage à la corde.* Si on est surpris de la complication et du nombre d'outils du premier procédé de sondage que nous venons de décrire, on est surpris en sens inverse de la simplicité de celui-ci, et l'on se demande pourquoi n'est-il pas plus communément employé. La routine y est probablement pour beaucoup, et le regret qu'auraient les entrepreneurs de sondages de devoir mettre au rebut un grand nombre d'outils coûteux et ingénieux qu'ils

(1) *Debette*, Dictionnaire des Arts et Manufactures, p. 3364.

possèdent, fait probablement le reste (1). Toujours est-il que le sondage à la corde nous paraît, presque toujours, préférable au sondage avec tige rigide, particulièrement pour les agriculteurs, qui ne doivent pas oublier que l'économie est la première règle d'une bonne exploitation agricole.

Ce procédé, usité depuis un temps immémorial par les Chinois, a été assez vaguement décrit dans deux lettres du père *Imbert*, missionnaire en Chine; sur cette description *Jobard* a imaginé un appareil et des outils perfectionnés, pour lesquels il avait pris un brevet qui, depuis trois ans, est tombé dans le domaine public.

Dans ce procédé, l'engin employé est une simple chèvre ordinaire, avec une poulie de renvoi et un treuil sur lequel s'enroule la corde. On imprime à celle-ci un mouvement de sonnette au moyen de plusieurs petites cordes tirées et lâchées alternativement par les ouvriers sondeurs. Ces petites cordes sont fixées à la corde principale, au moyen d'une espèce de porte-mousqueton, qui glisse à volonté à mesure que le puits s'approfondit. La hauteur à laquelle on lève la sonde varie entre 0^m30 et 0^m60. Les cordes sont en aloès ou en fil-de-fer, avec âme en chanvre (2).

Jobard emploie dans les roches dures un mouton ou pilon coulé en coquille, pour que les dents qui le terminent aient une grande dureté. Ce mouton est traversé par une tige, terminée à son extrémité inférieure par une pointe en acier qui sert d'amorçoir et retombe toujours dans le trou de direction.

La partie supérieure de la tige peut avoir plusieurs mètres, et est munie d'une espèce de croix de Malte ou d'une couronne destinée à conserver à l'outil sa direction verticale. Le mouton est cannelé extérieurement, pour permettre aux détritus réduits en boue de se dégager, et sa partie supérieure est évidée en cône renversé. Quand on frappe avec ce mouton le fond du trou, les roches se réduisent en boue qui entre dans le cône creux, et on en débarrasse le puits en ramenant le mouton à la surface où on le vide. Le poids de ce mouton varie entre 100 et 200 kilogrammes.

(1) « Les sondeurs à la barre, qui ne connaissent que très-imparfaitement le sondage à la corde, prétendent tous l'avoir essayé sans succès; ils ajoutent que si ce procédé était bon, ils l'auraient adopté; mais ils savent bien que s'ils l'adoptaient, leur monopole serait perdu; car tout le monde pourrait se passer de leurs outils coûteux, de leurs conseils et de leurs talents, aussi bien que les paysans chinois, qui creusent des puits salants sans le secours de personne, tant leur procédé est simple et facile. » (*Jobard*, Journal du Génie civil, 42e livraison, p. 417, année 1846.)

(2) Les cordes en chanvre présentent moins de résistance et durent moins. Les Chinois se servent de cordes en bambou tressé.

Lorsqu'on doit avoir recours à un tubage pour soutenir les parois du trou, il est nécessaire, pour pouvoir faire glisser les tubes, de creuser en dessous sur un plus grand diamètre. On emploie alors un autre mouton sans pointe et sans tige supérieure, qu'on suspend par un point qui ne passe pas par son centre de figure. Il est alors incliné sur un côté et il produit, en tournant sur lui-même, un trou plus large que son propre diamètre, f. 160.

Dans les terrains tendres on se sert d'un emporte-pièce ou cuillère à soupape, munie d'une tige à sa partie supérieure, dans laquelle glisse un mouton. Il suffit de descendre cette cuillère au fond du trou et de faire jouer le mouton, en la frappant à petits coups, pour qu'elle s'enfonce dans la matière molle qui entre par les soupapes dans son intérieur. Dans les gros sables non agrégés, on peut supprimer le mouton et donner à la cuillère, elle-même, un mouvement de sonnette; le courant ascensionnel et rapide qui se produit alors, suffit pour ouvrir les soupapes et enlever le sable.

M. *Gaulet-Collet*, de Reims, emploie, dans les sondages à la corde, un autre instrument dont nous donnons le dessin aux planches, mais il a le désavantage de ne pas ramener les détritus à la surface; il faut donc aller les chercher avec une cuillère, ce qui allonge l'opération (1).

Troisième procédé. — *Sondage avec tige rigide creuse, et curage continu du trou.*

Ce procédé est la propriété de *Fauvelle*, qui l'a employé pour forer le puits de la place Saint-Dominique à Perpignan, puits qui a une profondeur de 170 mètres, et dans lequel il a obtenu en moyenne un percement de 12 mètres par jour.

L'appareil de *Fauvelle*, dont nous ne pouvons pas donner les dessins, se compose d'une sonde creuse, formée de tubes

(1) « Pour donner une idée de l'extrême bon marché du sondage à la corde, nous dirons que, bien que les outils de M. Collet ne soient pas disposés de manière à servir en même temps pour le curage du trou, cet habile sondeur fore en ce moment (1847), en Champagne, des puits aussi profonds qu'on le désire, à 9 francs le mètre courant; son appareil complet de sondage ne coûte pas 500 francs, et il fore, à l'aide de deux ouvriers seulement, de 8 à 11 mètres par jour dans la craie. M. *Collet* a foré dans ce terrain, depuis quelques années, près de cent puits, et chacun de ces puits a donné de l'eau pure à une fabrique ou à un particulier, pour la somme de 150 fr. à 300 f. au plus. » (*Debette*, Dictionnaire des Arts et Manufactures, p. 3371.)

Ajoutons pourtant que les prix pourraient être beaucoup plus forts, s'il fallait tuber le puits.

vissés bout à bout ; à son extrémité inférieure est l'outil perforateur approprié à la nature du terrain qu'on traverse.

La largeur de cet outil est plus grande que le diamètre extérieur des tubes, pour réserver autour de ceux-ci un espace annulaire, par lequel l'eau et les déblais puissent remonter. L'extrémité supérieure de la même sonde est en communication avec une pompe foulante, au moyen de tubes articulés qui suivent le mouvement descendant de la sonde, sur une longueur de quelques mètres.

Le mouvement de rotation s'obtient avec un *tourne-à-gauche*, et celui de percussion avec un treuil à déclic. L'engin pour monter et soutenir la sonde n'a rien de particulier.

Lorsqu'on veut travailler avec la sonde, on commence par injecter avec la pompe, de l'eau au fond du trou par l'intérieur de la sonde ; cette eau remonte par l'espace annulaire dont nous avons parlé, et établit le courant qui doit ramener les déblais à la surface. On fait alors agir la sonde par battage comme une sonde ordinaire, et à mesure que la roche est broyée, le courant ascensionnel en ramène les débris à la surface. L'expérience a montré à *Fauvelle* que lorsque l'on rencontre des graviers ou des pierres d'un certain volume, il valait mieux injecter l'eau par l'espace annulaire et la faire remonter par l'intérieur de la sonde ; il a pu faire remonter ainsi des cailloux de $0^m,06$ sur $0^m,03$ de diamètre.

Les avantages de ce procédé sont : 1° qu'il ne faut pas remonter la sonde pour vider le trou ; 2° que l'outil perforateur n'est jamais engorgé par les détritus ; 3° qu'on a beaucoup moins d'éboulements qu'avec le premier procédé.

L'opération du tubage est extrêmement importante et souvent fort difficile.

Le tubage est provisoire ou définitif. Le premier a pour but d'empêcher les éboulements pendant les travaux ; le second, d'isoler la colonne d'eau ascendante lorsque le puits est percé.

Dans les trous de sonde peu profonds et d'un faible diamètre, on peut se contenter d'un simple glaisage. On remplit, pour cela, le trou jusqu'au bout du banc ébouleux avec de la glaise en pâte très-consistante ; on la tasse avec un mouton, et ensuite on perce nouvellement le trou avec une tarière à glaise.

En plusieurs endroits, là où les puits ne doivent pas être trop profonds, on emploie encore les coffres en bois, tels qu'ils sont décrits par *Garnier* ; mais, plus généralement encore, les tubes de retenue se font en tôle de fer.

On leur donne un diamètre extérieur un peu plus faible que celui du trou, et quoique ordinairement on les enfonce en tournant, on leur donne une épaisseur de tôle assez forte pour qu'on puisse facilement les enfoncer avec de légers coups de mouton.

« *Degousée* leur donne $0^m,005$ d'épaisseur pour un diamètre de $0^m,33$; $0^m,003$ pour $0^m,25$; $0^m,002$ pour $0^m,15$. Chaque bout de tube a environ 2 mètres de longueur. Sa soudure longitudinale s'exécute avec des rivets en fer doux, espacés de $0^m,04$ à $0^m,05$, dont les têtes sont arrondies et aplaties en gouttes de suif intérieurement et extérieurement ; on assemble ces bouts au moyen de manchons en tôle et de petits boulons à vis à tête plate. »

On enfonce la ligne de tubes jusqu'au fond du trou, et on continue le forage sur un diamètre moindre de $0^m,02$ de celui intérieur des tubes. Si on rencontre de nouveaux bancs ébouleux, on peut faire un nouveau tubage avec des tubes d'un diamètre moindre que les premiers, ou élargir le trou pour continuer à enfoncer la première colonne de tubes de retenue. Ce dernier procédé s'applique généralement, lorsque les assises dures qui séparent les bancs ébouleux sont d'une faible épaisseur.

Lorsqu'on établit un second tubage d'un diamètre plus faible, on donne généralement à la colonne de tubes une longueur égale à la profondeur totale du trou, de manière qu'elle se trouve en recouvrement sur la première colonne. On la pose, du reste, de la même manière.

On se sert quelquefois de colonnes perdues, qui n'arrivent pas jusqu'à l'orifice du trou de sonde. On manœuvre alors cette colonne, à l'aide d'un tampon vissé à sa partie supérieure.

Si, après cette seconde colonne, on rencontre encore des terrains ébouleux, il faut avoir recours à un nouveau tubage de moindre diamètre, ou bien si on ne veut ou si on ne peut pas diminuer encore le diamètre du trou, il faut arracher les tubes pour les allonger de la longueur nécessaire pour traverser le terrain ébouleux. Cela n'aurait pas lieu avec des tubes mis en recouvrement des premiers qu'on peut toujours enfoncer en élargissant le trou.

Pour retirer les colonnes de tubes de retenue, *d'Alberti* des-

cend à l'extrémité des tiges de la sonde un tampon tronconique, tourné la pointe en haut et dont la grande base a un diamètre un peu plus faible que celui de la colonne de tuyaux à extraire; on descend ensuite par-dessus, au moyen d'une corde, un manchon de douves en bois, maintenues à la partie supérieure par un ou deux cercles minces en fer, et terminées intérieurement par le bas en biseau; il en résulte une adhérence très-forte, lorsqu'on cherche à remonter le tampon, et généralement suffisante pour entraîner la colonne. Si l'on ne peut y parvenir, il est toujours facile de dégager l'outil, en laissant tomber le tampon et relevant d'abord le manchon.

Les puits artésiens destinés à faire jaillir de l'eau, aussi bien que les puits absorbants, doivent être munis d'un tubage soigné; il sert à prévenir les éboulements et les pertes d'eau par infiltration. Il faut que la base de ce tubage s'appuie immédiatement sur la couche imperméable qui recouvre la nappe d'eau ou la couche aquifère, dans le premier cas, et sur la couche absorbante, dans le second, sans laisser passer l'eau autour du tube.

Les tuyaux en bois sont plus durables et plus économiques que tous les autres, mais ils ont le défaut de diminuer de beaucoup le diamètre du trou de sonde. On emploie, pour les faire, l'aulne et quelquefois le chêne. On trouvera dans *Garnier* tout ce qui a rapport à leur forage et à la manière de les assembler. On leur donne une épaisseur de $0^m,03$ à $0^m,04$ au moins.

On emploie quelquefois des tubes en fonte, qui ont plus de durée que les tubes en tôle de fer; ces derniers ne sont employés que comme tubes de retenue, car ils s'oxydent rapidement, même dans les eaux les plus pures.

On se sert le plus souvent de tubes en cuivre rouge laminé, qu'on étame quelquefois à l'intérieur.

Degousée a employé, à Enghien, dans des eaux sulfureuses, des tubes en zinc. Enfin, au puits de Grenelle, on a fait usage avec succès de tubes en tôle galvanisée. De toute manière, dès que le tube d'ascension est descendu dans le trou, on l'assujettit et on garnit le vide existant entre les parois du trou et le contour extérieur du tube, dans toute sa hauteur, en y coulant du bon béton.

Nous avons déjà dit que, quelquefois, le tube s'engorge et qu'on peut le nettoyer avec une petite tarière; mais, quelquefois l'engorgement a lieu dans les canaux souterrains par

lesquels l'eau arrive; on y remédie en produisant des variations brusques dans le mouvement de la colonne d'eau ascendante, soit en bouchant imparfaitement le tuyau à sa sortie, avec un cylindre en bois que l'on retire brusquement, soit en faisant jouer avec vitesse un véritable piston garni d'un clapet dans l'intérieur du tuyau.

Si le niveau hydrostatique a baissé, cela provient ou d'un puits creusé dans le voisinage, mais cela est rare; ou de pertes qui ont lieu entre le tube d'ascension et les parois du trou de sonde. Il faut alors extraire le tube pour procéder à un nouveau tubage, opération très-difficile et toujours fort coûteuse.

Nous désirions terminer ce chapitre par une appréciation des dépenses qu'entraîne le percement d'un puits artésien, mais les données sur lesquelles nous devrions nous appuyer, sont si nombreuses et surtout si variables, que nous sommes forcé d'y renoncer.

TROISIÈME PARTIE.

COURS D'EAU.

La théorie du mouvement des eaux courantes est encore sujette à beaucoup de difficultés et d'obscurité, et il est très-difficile de donner des règles générales qui puissent s'appliquer à tous les cas particuliers : l'expérience est ici plus nécessaire que la spéculation.

BUFFON.

CHAPITRE PREMIER.

PRINCIPES ET FORMULES D'HYDRAULIQUE.

Les choses dont nous allons parler ici n'ont pas rapport aux cours d'eau seulement, mais elles s'y rattachent très-directement ; aussi nous avons pensé que c'était au commencement de cette partie que ce chapitre devait trouver sa place.

§ Ier. PRINCIPES ET FORMULES D'HYDRAULIQUE (1).

La vitesse de l'eau qui s'écoule d'un vase ou réservoir, entretenu constamment plein, par un orifice en *mince paroi* (2), est donnée par la formule :

$$1^{o} \quad v = \sqrt{2gH}.$$

dans laquelle on a :

v, vitesse moyenne de l'écoulement de l'eau ; g, vitesse

(1) Nous ne faisons que donner ici les formules sans les démontrer. On en trouvera les démonstrations dans les ouvrages spéciaux. On peut consulter :

D'Aubuisson des Voisins, Traité d'hydraulique ; *Venturoli*, Elementi di meccanica e d'idraulica, et *Navier*, Résumé des leçons données à l'Ecole des ponts-et-chaussées, sur l'application de la mécanique à l'établissement des constructions et des machines.

Si nous avions voulu donner les démonstrations d'une manière complète, il nous aurait fallu écrire un Traité presque complet d'Hydraulique et avoir souvent recours à l'analyse transcendante, ce qui nous aurait fait sortir du cadre de notre travail. Si, à l'exemple d'autres auteurs, nous avions donné des démonstrations tronquées, ou si nous n'avions discuté qu'un certain nombre seulement de formules, nous aurions satisfait notre amour-propre en montrant que nous connaissions les hautes mathématiques, mais nos explications n'auraient guère eu d'utilité pour nos lecteurs.

(2) On entend par orifice en mince paroi, celui ouvert dans une paroi dont l'épaisseur de la plus petite dimension est plus grande que le double de l'épaisseur de la paroi, dont l'épaisseur ne dépasse pas toutefois 5 à 6 centimètres.

que la pesanteur imprime aux graves à la fin de la première seconde de leur chute. Cette vitesse est pour Paris $9,^{m}8088$ (1).

H, la *charge d'eau*, soit la distance verticale, ou la hauteur, de la surface fluide dans le réservoir, au-dessus du centre de gravité de l'orifice.

Cette formule, qui exprime en langage algébrique le théorème de *Toricelli*, peut se traduire ainsi en langage ordinaire :

La vitesse d'un fluide, à sa sortie d'un orifice pratiqué dans les parois d'un réservoir, est celle qu'aurait acquise un corps grave, en tombant librement de la hauteur comprise entre le niveau de la surface fluide dans le réservoir et le centre de cet orifice.

Lorsque l'écoulement se fait à gueule bée, c'est-à-dire lorsque l'épaisseur des parois est égale à trois ou quatre fois la plus petite dimension de l'orifice, la vitesse diminue, et on a :

$$2^{o} \quad v = 0,82\sqrt{2gH}$$

Si on emploie des ajutages, les vitesses varient ; mais pour des ajutages de la même forme, on a toujours :

$$v : v' :: \sqrt{H} : \sqrt{H'}$$

c'est-à-dire que les vitesses sont comme les racines carrées des charges (2).

Si la surface du liquide supporte une pression étrangère, la vitesse de l'écoulement en sera augmentée, mais on peut tou-

(1) Cette quantité diffère suivant les lieux qui sont plus ou moins rapprochés du centre de la terre ; elle a à Marseille 9 m. 8034, à Toulouse 9,8032.

Voyons ce qu'elle est à l'hospice du Saint-Bernard, l'endroit habité le plus élevé au-dessus du niveau de la mer, dans nos contrées.

La gravité agit en raison inverse du carré des distances au centre de la terre. Le rayon moyen de la terre, qui correspond à 45° de latitude, est de 6,366,194 mètres. Le rayon terrestre, à l'Observatoire de Paris, qui se trouve à 48° 50′ de latitude nord, et de 65 mètres au-dessus du niveau de la mer, sera de 6,365,378 mètres. L'hospice du Mont-Saint-Bernard est à peu près à 46° 15′ de latitude, et son altitude, au-dessus du niveau de la mer, est de 2 491 mètres ; son rayon terrestre est donc de 6,368,395 mètres, et on aura la proportion suivante :

$$\overline{6368395}^{2} : \overline{6365378}^{2} :: 9^{m},8088 : x = 9^{m},7995$$

On voit que la différence avec la valeur de g pour Paris n'est même pas de $1/_{100}$, ce qui fait que dans l'usage pratique, on peut, presque toujours, faire $g = 9$ m. 8088, sans tenir compte, du moins pour la France, de la latitude et de l'altitude des lieux dans lesquels on opère.

(2) Ces deux théorèmes sont applicables aux liquides de toute espèce.

jours, dans le calcul, remplacer cette pression par une augmentation de la charge. Il faut pour cela déterminer la hauteur d'une colonne de liquide, qui, par son poids, produirait une pression égale à la pression étrangère qu'elle doit remplacer, et ajouter sa hauteur à la charge sur l'orifice (1).

La dépense théorique d'un orifice en mince paroi débouchant dans l'air avec charge sur son côté supérieur, est donnée par la formule :

$$3^{o} \quad Q = S\sqrt{2gH}$$

dans laquelle :

Q est la quantité d'eau qui s'écoule de l'orifice dans l'unité de temps.

S, la surface de l'orifice.

Si la surface est mesurée en mètres carrés, Q est exprimé en mètres cubes.

Les autres lettres ont la même valeur que dans les formules précédentes. H, ou la hauteur, doit être prise pour le niveau général du réservoir, et non pas immédiatement au-dessus de l'orifice, où il y a souvent une dépression de niveau.

La contraction que subit la veine fluide en sortant d'un orifice en mince paroi, au sortir de l'orifice, fait que la dépense réelle est toujours moindre que la dépense théorique ; il faut donc multiplier sa valeur par un coefficient déterminé par expérience, et la formule devient :

$$4^{o} \quad Q = mS\sqrt{2gH}$$

m, coefficient de contraction déterminé par expérience.

(1) Cette règle doit être éclaircie par un exemple :
Un vase, fermé de toutes parts, est rempli d'eau, qu'on suppose à son maximum de densité, sa pesanteur spécifique étant 1. On pratique, sur le couvercle, une ouverture circulaire de 0 m. 05 de diamètre, et on y introduit un piston chargé de 2 kilogr. On peut négliger le poids du piston, qu'on suppose exactement détruit par son frottement contre les parois du trou. On a pratiqué de même un orifice de sortie circulaire, dont le centre est à 0 m. 50 au-dessous de la surface liquide, sur laquelle appuie le piston. Il faut déterminer la vitesse de l'écoulement. La colonne d'eau qui, sur une base circulaire de 0 m. 05 de diamètre, produirait une pression de 2 kilogr., aurait pour hauteur 3 m. 20. On aurait donc :

$$v = \sqrt{2g(H + 3{,}20)}$$

et en mettant les valeurs :

$$v = \sqrt{2 \times 9{,}8088\,(0{,}50 + 3{,}20)} = 8{,}517$$

Plusieurs savants se sont occupés de déterminer ce coefficient, et, dans le plus grand nombre de cas, lorsqu'on n'a pas besoin d'une grande précision, on peut faire $m = 0{,}619$, d'après les expériences de *Michelotti fils* (1).

Poncelet et *Lesbros* ont repris toutes ces expériences et ont établi les tableaux suivants, qui donnent les valeurs de m pour les différents cas.

(1) Mémoire physico-mathématique, contenant les résultats d'expériences hydrauliques. Les savants qui se sont occupés de ce sujet sont : *Poleny, Borda, Michelotti père et fils, Bossut, Eytelwein, Venturi, Brunacci* et *Bidone*.

TABLEAU *des Coefficients des formules de la dépense théorique des orifices rectangulaires verticaux et en mince paroi, avec contraction complète et versant librement dans l'air.*

1° *Les charges étant mesurées en un point du réservoir où le liquide soit parfaitement stagnant.*

CHARGES sur le sommet des orifices.	COEFFICIENS DE LA DÉPENSE THÉORIQUE pour des hauteurs d'orifices de :					
	0m.20	0m.10	0m.05	0m.03	0m.02	0m.01
mèt.						
0.000	»	»	»	»	»	»
0.005	»	»	»	»	»	0.705
0.010	»	»	0.607	0.630	0.660	0.701
0.015	»	0.593	0.612	0.632	0.660	0.697
0.020	0.572	0.596	0.615	0.634	0.659	0.694
0.030	0.578	0.600	0.620	0.638	0.659	0.688
0.040	0.582	0.603	0.623	0.640	0.658	0.685
0.050	0.585	0.605	0.625	0.640	0.658	0.679
0.060	0.587	0.607	0.627	0.640	0.657	0.676
0.070	0.588	0.609	0.628	0.639	0.656	0.673
0.080	0.589	0.610	0.629	0.638	0.656	0.670
0.090	0.591	0.610	0.629	0.637	0.655	0.668
0.100	0.592	0.611	0.630	0.637	0.654	0.666
0.120	0.593	0.612	0.630	0.636	0.653	0.663
0.140	0.595	0.613	0.630	0.635	0.651	0.660
0.160	0.596	0.614	0.631	0.634	0.650	0.658
0.180	0.597	0.615	0.630	0.634	0.649	0.657
0.200	0.598	0.615	0.630	0.633	0.648	0.655
0.250	0.599	0.616	0.630	0.632	0.646	0.653
0.300	0.600	0.616	0.629	0.632	0.644	0.650
0.400	0.602	0.617	0.628	0.631	0.642	0.647
0.500	0.603	0.617	0.628	0.630	0.640	0.644
0.600	0.604	0.617	0.627	0.630	0.638	0.642
0.700	0.604	0.616	0.627	0.629	0.637	0.640
0.800	0.605	0.616	0.627	0.629	0.636	0.637
0.900	0.605	0.615	0.626	0.628	0.634	0.635

CHARGES sur le sommet des orifices.	COEFFICIENS DE LA DÉPENSE THÉORIQUE pour des hauteurs d'orifices de :					
	0m.20	0m.10	0m.05	0m.03	0m.02	0m.01
mèt.						
1.000	0.605	0.615	0.626	0.628	0.633	0.632
1.100	0.604	0.614	0.625	0.627	0.631	0.629
1.200	0.604	0.614	0.624	0.626	0.628	0.626
1.300	0.603	0.613	0.622	0.624	0.625	0.622
1.400	0.603	0.612	0.621	0.622	0.622	0.618
1.500	0.602	0.611	0.620	0.620	0.619	0.615
1.600	0.602	0.611	0.618	0.618	0.617	0.615
1.700	0 602	0.610	0.617	0.616	0.615	0.612
1.800	0.601	0.609	0.615	0.615	0.614	0.612
1.900	0.601	0.608	0.614	0.613	0.612	0.611
2.000	0.601	0.607	0.613	0.612	0.612	0.611
3.000	0.601	0.603	0.606	0.608	0.610	0.609

2° *Les charges étant relevées immédiatement au-dessus de l'orifice.*

CHARGES sur le sommet de l'orifice.	COEFFICIENS DE LA DÉPENSE THÉORIQUE pour la hauteur d'orifice de :					
	0m.20	0m.10	0m.05	0m.03	0m.02	0m.01
mèt.						
0.000	0.619	0.667	0.715	0.766	0.783	0.795
0.005	0.597	0.630	0.668	0.725	0.750	0.778
0.010	0.595	0.618	0.642	0.687	0.720	0.762
0.015	0.594	0.615	0.639	0.674	0.707	0.745
0.020	0.594	0.614	0.638	0.668	0.697	0.729
0.030	0.593	0.613	0.637	0.659	0.685	0.708
0.040	0.593	0.612	0 636	0.654	0.678	0.695
0.050	0.593	0.612	0.636	0.651	0.672	0.686

CHARGES sur le sommet de l'orifice.	COEFFICIENS DE LA DÉPENSE THÉORIQUE pour la hauteur d'orifice de :					
	0m.20	0m.10	0m.05	0m.03	0.m02	0m.01
0.060	0.594	0.613	0.635	0 647	0.668	0 681
0.070	0.594	0.613	0.635	0.645	0.665	0.677
0.080	0.594	0.613	0.635	0.643	0.662	0.675
0.090	0.595	0.614	0.634	0.641	0.659	0.672
0.100	0 595	0.614	0.634	0.640	0.657	0.669
0.120	0.596	0.614	0.635	0.637	0.655	0.665
0.140	0.597	0.614	0.632	0.636	0.655	0.661
0.160	0 597	0.615	0.631	0.635	0.651	0.659
0.180	0.598	0.615	0.631	0.634	0.650	0.657
0.200	0.599	0.615	0.630	0.633	0.649	0.656
0.250	0.600	0.616	0.630	0.632	0.646	0 655
0.300	0.601	0.616	0.629	0.632	0.644	0.651
0.400	0 602	0.617	0.629	0.631	0.642	0.647
0.500	0.603	0.617	0.628	0.630	0.640	0.645
0.600	0.604	0.617	0 627	0.630	0.638	0.643
0.700	0 604	0.616	0.627	0.629	0.637	0.640
0.800	0.605	0.616	0 627	0.629	0.636	0.637
0.900	0.605	0.615	0.626	0.628	0.634	0.635
1.000	0.605	0.615	0.626	0.628	0.633	0.632
1.100	0.604	0.614	0.625	0.627	0.631	0.629
1.200	0.604	0.614	0.624	0.626	0.628	0.626
1.300	0.603	0.613	0.622	0.624	0.625	0.622
1.400	0.603	0.612	0.621	0.622	0.622	0.618
1.500	0.602	0.611	0.620	0.620	0.619	0.615
1.600	0.602	0.611	0.618	0.618	0.617	0.615
1.700	0.602	0.610	0.617	0.616	0.615	0.612
1.800	0.601	0.609	0.615	0.615	0.614	0.612
1.900	0.601	0.608	0.614	0.615	0.613	0.611
2.000	0.601	0.607	0.614	0.612	0.612	0.611
3.000	0.601	0.605	0.606	0.608	0.610	0.609

Lesbros a cherché à donner des formules générales indépendantes du coefficient de contraction, et il est arrivé aux deux suivantes.

Pour la dépense de tous les orifices rectangulaires en mince paroi au-dessus de 0,m05 de hauteur :

$$5^0 \quad Q = l h' \left(2{,}63 \sqrt{H - 0{,}136\, h'} + 0{,}174 \sqrt{h'} - 0{,}2\, (\log. 5\, h') \sqrt{H} \right)$$

dans laquelle on désigne par :

Q la dépense réelle ;

H la charge sur le centre de l'orifice ;

h' la hauteur de l'orifice ;

l la largeur de l'orifice ;

Pour tous les orifices rectangulaires au-dessus et jusqu'à 0,m01 de hauteur inclusivement, sous des charges qui n'excèdent pas 2,m50 pour la hauteur de 0,m01 de l'orifice, et de 4m pour les hauteurs d'orifice plus fortes.

$$6^0 \quad Q = \alpha \sqrt{h - \beta} + \gamma h + \delta$$

dans laquelle :

Q dépense réelle ;

h, hauteur du réservoir sur le bord supérieur de l'orifice.

$$\alpha = l h' \left(\frac{0{,}0554}{h' - 0{,}113} + 2{,}48 \right)$$

$$\beta = h' \left(\frac{0{,}0043}{h' + 0{,}028} + 0{,}339 \right)$$

$$\gamma = l h' \frac{0{,}00523 - 0{,}186\, (h' - 0{,}125)^2}{h' + 0{,}00489}$$

$$\delta = l \left(0{,}63 \sqrt{(h' - 0{,}062)^2 + 0{,}0017} + 0{,}052 h' - 0{,}0044 \right)$$

Les autres lettres ont la même signification que dans la formule précédente.

Quoique les coefficients donnés par la table de *Poncelet* et *Lesbros* soient déterminés par des expériences faites sur des orifices rectangulaires, on peut s'en servir pour des orifices de toute forme, mais alors la hauteur du rectangle indiqué au tableau représentera la plus petite dimension de l'orifice

employé. Lorsque la hauteur de l'orifice dépassera $0^m,20$, on prendra pour coefficient de la dépense, celui qui correspond à cette dernière hauteur, et pour les charges comprises entre celles données par le tableau, on prendra des moyennes arithmétiques.

Lorsqu'un ou plusieurs côtés de l'orifice se trouvent dans le prolongement des parois du réservoir, la contraction est diminuée et la dépense augmente.

Pour déterminer la dépense réelle, dans ces cas, on emploiera les mêmes formules en multipliant m, soit le coefficiant de contraction, par :

1,035 lorsque la contraction a lieu sur 3 côtés ;
1,072 —— 2 côtés ;
1,125 —— 1 côté (1).

Il arrive très-souvent que les bords de l'orifice ne sont pas sur le prolongement des parois du réservoir, mais qu'ils en sont assez peu éloignés pour que la contraction de la veine n'ait pas lieu d'une manière complète ; nous ne connaissons pas d'expériences qui donnent le coefficient m, dans ces cas, et cela est malheureux, car ces cas se présentent souvent dans les vannes des moulins. Il faudra alors prendre des moyennes entre les cas extrêmes, lorsque la contraction est complète et lorsqu'elle est nulle.

Pour les vannes qui ont leur seuil très-près du radier, on peut faire $m = 0{,}625$, ce qui donnera une approximation suffisante (2).

Si deux vannes à côté l'une de l'autre (3) sont ouvertes à la fois, la dépense diminue à peu près de 178, mais ce fait ne s'est pas présenté dans les expériences faites avec tous les soins possibles sur de petits orifices (4). Dans le cas de grands orifices qui dégorgent ensemble, comme les ventelles des portes busquées des écluses, on fera donc $m = 0{,}555$.

Lorsque les vannes sont inclinées, et que les deux côtés de l'orifice et son fond sont dans le prolongement des faces du réservoir, on fera $m = 0{,}74$, lorsque l'inclinaison sera de 1 de base sur 2 de hauteur, et $m = 0{,}80$, lorsqu'elle sera de 1 de base pour 1 de hauteur (5).

(1) *Morin*, Aide-Mémoire de mécanique pratique, p. 21.
(2) *Morin*, Aide-Mémoire, etc., p. 23.
(3) Cet effet se fait même sentir lorsque les vannes sont éloignées de 2 m. 50 à 3 mètres.
(4) *D'Aubuisson*, Traité d'hydraulique, p. 35.
(5) *Morin*, Aide-Mémoire, etc., p. 24.

Il est évident que dans ce cas la hauteur de l'orifice doit être mesurée verticalement, et non suivant l'inclinaison de la vanne.

Si l'eau du réservoir était animée d'une vitesse qui la portât vers l'orifice, on devra ajouter à la charge mesurant la pression, une nouvelle force qui sera la hauteur génératrice de cette vitesse, et on aura :

$$Q = m\,S\sqrt{2\,g\,H + u^2}$$

u représente la vitesse de l'eau dans le réservoir.

Si l'orifice avec charge sur le côté supérieur est noyé du côté d'aval, la dépense théorique est donnée par :

$$7^o \quad Q = S\sqrt{2\,g\,(H - h)}$$

dans laquelle les lettres conservent la même signification que dans la formule de la dépense, pour un orifice débouchant dans l'air, et h est égal à la charge extérieure sur le centre de l'orifice.

Quant à la dépense réelle, on appliquera à cette formule tout ce que nous avons dit pour la formule de la dépense théorique débouchant à l'air libre :

$$Q = S\sqrt{2g\,H}.$$

Les orifices d'écoulement sont souvent accompagnés d'un coursier. D'après les expériences de *Bossut* et de *Poncelet* et *Lesbros*, le coursier n'a pas d'influence notable sur la dépense, tant que la charge sur le centre de l'orifice n'est pas inférieure à :

$0^m,30$ à $0^m,60$, pour des orifices de $0^m,20$ à $0^m,15$ de hauteur.
$0^m,30$ à $0^m,40$ id. $0^m,10$
$0^m,20$ id. $0^m,05$ et au-dessous.

Il est donc bien rare qu'on ait à tenir compte de la différence de dépense produite par les coursiers.

Voici le tableau extrait de l'Aide-Mémoire de *Morin*, qui donne, d'après les expériences de *Poncelet* et *Lesbros*, les valeurs de m, dans le cas où le coursier modifie la dépense seule (1).

(1) Les figures auxquelles renvoient les lettres a, b, c, d, e, f, se trouvent aux planches, sous le n° 167.

HAUTEUR de l'orifice.	CHARGE sur le centre.	VALEUR DE m pour les dispositifs des figures : a	b	c	d	e	f
0,20	0,40	0.591	0.580	0.582	0.577	0.605	0.597
	0,24	0.559	0.552	0.550	0.548	0.576	0.575
	0,12	0.483	0.482	0.484	0.485	0.484	0.483
0,10	0,16	0.590	0.580	0.583	0.585	0.606	0.604
	0,11	0.562	0.560	0.561	0.562	0.566	0.564
	0,09	0.523	0.522	0.522	0.517	0.510	0.510
	0,06	0.464	0.463	0.462	0.462	0.460	0.460
0,05	0,20	0.631	0.615	0.618	0.622	0.636	0.628
	0,11	0.614	0.597	0.598	0.601	0.610	0.609
	0,05	0.495	0.493	0 486	0.490	0.462	0.501
	0,04	0.452	0.443	0.442	0.442	0.417	»
0,03	0,20	0.632	0.631	0.632	0.635	0.650	0.651
	0,06	0.627	0.605	0.602	0.607	0.572	0.594

Lorsque la paroi dans la quelle est percé l'orifice a une épaisseur égale à deux ou trois fois sa plus petite dimension, ou lorsque, par un ajutage, on produit le même effet, l'écoulement a lieu à *gueule-bée*, c'est-à-dire que le liquide remplit entièrement la bouche de sortie, et que la contraction de la veine fluide n'a plus lieu à l'extérieur. Dans ce cas on emploie la même formule que pour l'écoulement en mince paroi, soit :

$$Q = m\sqrt{2gH}$$

et on fait $m = 0{,}82$. Si l'épaisseur ou l'ajutage dépassait trois fois la plus petite dimension de l'orifice, la dépense diminuerait à cause du frottement de l'eau contre les parois (1).

Pour les grandes buses pyramidales qui, dans les usines, versent l'eau sur les roues hydrauliques, on a trois expériences de *Lespinasse*, faites en 1784 (2), sur des moulins du canal du Languedoc.

(1) *Navier*, Résumé des leçons, etc., T. II, p. 57.
(2) Mémoires de l'Académie de Toulouse (anciens), T. II,

Les buses étaient des troncs de pyramide rectangulaire ayant pour dimensions (1) :

Longueur.		2m,923
Dimension de la grande base. .	0m,731 sur	0m,975
id. à la petite base . .	0m,135 »	0m,190
La charge était de.	2m,923	

En prenant pour orifice de sortie la petite base, la moyenne des trois expériences pour le coefficient de contraction a été de 0,980. On devrait donc dans ce cas faire dans la formule $m = 0{,}98$.

D'après les expériences de *Piobert* et *Tardy*, lorsque les buses sont garnies intérieurement d'un cadre en bois ou en fer, on a seulement $m = 0{,}864$.

Pour les orifices garnis d'ajutages verticaux qui dirigent l'eau dans les augets des roues hydrauliques, on adoptera la règle suivante donnée par *Morin* (2) :

« Calculez la dépense théorique pour chacun des orifices ou ajutages démasqués par la vanne, en prenant pour aire le produit de la longueur par la plus courte distance des diaphragmes (*a a' a''* *f.* 168), qui forment l'ajutage, et pour charge d'eau, la hauteur du niveau au-dessus du milieu de cette plus courte distance ; ajoutez les dépenses théoriques relatives à ces divers orifices, et multipliez la somme par 0,75, le résultat sera la dépense effective (3) : »

Pour calculer le débit d'un orifice en déversoir (4), on emploie encore la même formule :

$$8^{o}\quad Q = m\,L\,H\sqrt{2gH}$$

(1) Si les faces opposées de la base faisaient des angles supérieurs à 12°, le coefficient commencerait à diminuer, car il commencerait à se montrer une contraction dans la veine extérieure. S'il dépassait 20°, la contraction de la veine intérieure à la base disparaîtrait, et les phénomènes se rapprocheraient de ceux des orifices en mince paroi. (*D'Aubuisson*, Traité d'Hydraulique, p. 55.)

(2) Aide-Mémoire de mécanique pratique, p. 25.

(3) Nous donnons les formules pour calculer le débit d'un cours d'eau.

(4) « L'épaisseur du barrage dans lequel le déversoir est pratiqué, peut varier de 2 à 30 millimètres, sans qu'il en résulte de différence sensible dans le résultat du jaugeage ; et certainement cette limite de 30 millimètres peut encore être dépassée de beaucoup ; car la lame fluide, après avoir passé sur l'arrête intérieure du seuil, se relève comme si elle était projetée dans l'air, et elle ne retoucherait le seuil, en retombant, que lorsqu'il aurait une largeur considérable, à moins que la charge ne fût très-petite. » (*D'Aubuisson*, Expériences sur l'écoulement de l'eau par les déversoirs,

dans laquelle :

Q est le volume, en mètres cubes, débité par 1";

L, la longueur du déversoir;

H, La hauteur du niveau général du réservoir au-dessus du seuil du déversoir sur lequel passe le liquide. Cette hauteur doit être mesurée dans un endroit où la dénivellation qui se produit près du déversoir ne soit pas sensible.

m, coefficient numérique, qui, déterminé par expérience par *Poncelet* et *Lesbros* (1), prend les valeurs suivantes :

Valeurs de H

0m,01	0m,02	0m,03	0m,04	0m,06	0m,08	0m,10	0m,15	0m,20	0m,22

Valeurs de *m*.

0,424	0,417	0,412	0,407	0,401	0,397	0,395	0,393	0,390	0,383

Dans les cas ordinaires on fait $m = 0{,}405$.

Lorsque le déversoir est de même largeur que le canal d'arrivée, et que celui-ci n'a qu'une profondeur comparable à la charge sur le déversoir, la dépense augmente, et le coefficient *m* a pour valeur moyenne 0,42 (2).

faites au Château-d'Eau de Toulouse, par M. *Castel*. Annales des Mines, 3e série, T. IX, p. 231.)

D'Aubuisson donne cette formule sous la forme

$$Q = \frac{2}{3} m L H \sqrt{2gH}$$

qui rappelle mieux son origine théorique; mais nous avons mieux aimé la forme que lui donne *Morin*, car elle se rapproche plus de celle de la formule pour les orifices en mince paroi, et qu'on se la rappelle plus facilement.

On voit, d'ailleurs, que cela ne fait que changer la valeur de *m*, et, si on avait des tableaux calculés pour la première formule, on les approprierait à la seconde en divisant les valeurs de *m* par 2/3.

(1) Expériences hydrauliques sur les lois de l'écoulement de l'eau, p. 112 et suivantes.

(2) Expériences sur l'écoulement de l'eau par les déversoirs, faites au château d'eau de Toulouse, par M. *Castel*. Note de *d'Aubuisson*, Annales des Mines, 2e série, T. 13, 2e livraison de 1836.

Il paraît, du reste, que la largeur du déversoir influe sur la valeur de *m*, et nous donnons ici un tableau extrait de la note ci-dessus citée, mais il faut observer que les valeurs de *m* se rapportent à la formule 8 ainsi modifiée :

$$Q = \frac{2}{3} m L H \sqrt{2gH}$$

Si on ne pouvait pas mesurer la hauteur H, ce qui nécessite à peu près toujours un coup de niveau, il faudrait mesurer l'épaisseur de la lame qui passe sur le déversoir, en la prenant au-dessus de l'arrête intérieure du seuil et assez loin de ses extrémités. En appelant E cette épaisseur, on déterminera H en faisant : $H = 1{,}178\ E$, lorsque la longueur du déversoir est les 4/5 de celle du réservoir ou plus petite;

$H = 1{,}25\ E$ lorsqu'elle est égale à celle du réservoir.

Si on voulait plus d'exactitude, on emploierait la formule suivante, due à *Poncelet* et *Lesbros*, et qui s'applique aux déversoirs qui ont pour largeur le 1/3 au moins de celle du bassin :

$$H = H' + 0{,}0009 + \sqrt{K H' + 0{,}00000081}$$

dans laquelle :

H est la hauteur du bassin;

H' la hauteur au-dessus du seuil;

$$K = 0{,}0000196 \left\{ 19 + \left(\frac{100\,l}{L} - 15{,}3 \right)^2 \right\}$$

L la largeur du bassin;

l la largeur du déversoir.

C'est-à-dire que pour les appliquer à la formule 8, il faudra les multiplier par 2/3.

CHARGES sur le seuil.	VALEUR DE *m*, la largeur du déversoir étant de						
	0m.10	0m.20	0m.30	0m.40	0m.50	0m.60	0m.68
m.							
0.24	0.595	»	»	»	»	»	»
0.22	0.594	»	»	»	»	»	»
0.20	0.594	0.596	»	»	»	»	»
0.18	0.594	0.595	»	»	»	»	»
0.16	0.592	0.595	»	»	»	»	»
0.14	0.592	0.593	0.603	»	»	»	»
0.12	0.590	0.592	0.604	0.621	»	»	»
0.10	0.591	0.593	0.604	0 621	0.631	0.644	0.657
0.08	0.592	0.595	0.606	0.620	0.632	0.644	0.656
0.06	0.595	0.604	0.610	0.622	0.632	0.645	0.656
0.05	0.597	0.611	0.616	0.626	0.633	0.644	0.656
0.04	0.604	0.619	0.623	0.632	0.636	0.645	0.656
0.03	0.618	0.624	0.631	0.636	0.642	0.651	0.660

Si le déversoir est accompagné d'un coursier peu incliné, la valeur de m dans la formule ci-dessus :

$$Q = m\,L\,H\sqrt{2\,g\,H}$$

est donnée par le tableau suivant de *Poncelet* et *Lesbros*, dans lequel les dispositifs a, b, d, e, f se rapportent à la f. 167 des planches.

CHARGES sur le seuil.	VALEURS DE m pour les dispositifs des figures :				
	a	b	d	e	f
0m.21	0.319	0.324	0 322	0.324	0.336
0m.15	0.314	0.313	0.314	»	»
0m.10	0.305	0.303	0.303	0.308	0 315
0m.06	0.283	0.281	0.280	0.271	0.287
0m.04	0.272	0.259	0.257	0.246	0 260
0m.03	0.227	0.227	»	»	»

Si l'eau arrivait au déversoir avec une vitesse acquise, on calculerait la hauteur à laquelle est due cette vitesse, et on augmenterait H de cette quantité.

Si la section du courant, immédiatement à l'amont du déversoir, n'était pas d'au moins 10 fois plus grande que L H, et si v était la vitesse de l'eau à la surface du courant, on emploierait la formule (1) :

$$9^0.\quad Q = 1{,}78\,L\,H\sqrt{H + 0{,}1\,v^2}$$

dans laquelle v représente la vitesse du courant.

Lorsque le réservoir, au lieu d'être entretenu constamment plein, se vide, l'écoulement se fait avec une vitesse qui va continuellement en diminuant ; de là la nécessité d'autres formules pour calculer la dépense.

Théorème :

« Le volume d'eau sorti par un orifice d'un vase prismatique qui se vide, n'est que moitié de celui qu'on aurait eu pendant le temps que le vase eût mis à se vider, si l'écoulement s'était fait constamment sous la charge qui avait lieu au commencement (1). »

(1) *D'Aubuisson*, Traité d'Hydraulique, p. 79.
Si la section du courant est dix fois la largeur du déversoir, on regarde l'eau comme tranquille.

Ce théorème va nous servir à résoudre les problèmes usuels ayant rapport aux réservoirs qui se vident.

Pour avoir le temps qu'un réservoir prismatique mettra à se vider, on a la formule (2) :

$$10^0.\quad T = \frac{2\,A\sqrt{H}}{m\,S\sqrt{2\,g}}$$

dans laquelle :

T est le temps que le réservoir mettra à se vider ;

A est la surface de l'eau dans le réservoir, surface constante, d'après sa forme prismatique.

Les autres lettres ont la même signification que dans les formules précédentes. Observons que H est la charge au commencement de l'écoulement.

Le temps t que le niveau de ce bassin prismatique met pour descendre d'une quantité h, est donné par la formule :

$$11^0.\quad t = \frac{2\,A}{m\,S\sqrt{2\,g}}\left(\sqrt{H} - \sqrt{H-h}\right).$$

Le volume d'eau écoulée pendant ce temps t, est donné par la formule :

$$12^0.\quad Q = t\,m\,S\sqrt{2\,g}\left(\sqrt{H} - \frac{t\,m\,S\sqrt{2\,g}}{4\,A}\right)$$

Si ce réservoir était alimenté par un courant d'eau (donnant moins d'eau qu'il n'en sort par l'orifice), et, si on appelle q la quantité d'eau qui lui est fournie par seconde, pour déterminer le temps dans lequel il s'abaissera d'une quantité h, on emploiera la formule :

$$13^0.\quad t = \frac{2\,A}{\left(m\,S\sqrt{2\,g}\right)^2}\left(m\,S\sqrt{2\,g}\left(\sqrt{H} - \sqrt{H-h}\right) + \right.$$

(1) *D'Aubuisson*, Traité, etc., p. 85.
(2) Il est à remarquer qu'en pratique cette formule donne des quantités trop faibles, car à la fin l'écoulement ne se fait plus d'une manière régulière.

$$+ 2{,}303\, q\, log. \frac{m\,S\sqrt{2\,g\,H} - q}{m\,S\sqrt{2\,g\,(H-h)} - q}\Bigg)$$

Pour avoir l'abaissement du niveau pendant un temps donné, il faudrait avoir la hauteur ou charge H—h, qui resterait après ce temps, et la retrancher de H. Le reste multiplié par A, et le produit augmenté de l'eau qui a afflué pendant le temps t, donnera le volume d'eau écoulée pendant le temps t. Pour avoir H—h, il faudra procéder par tâtonnement, en substituant différentes grandeurs dans la formule ci-dessus (1).

Si l'eau sortait d'un bassin qui ne reçoit pas de courant, par un déversoir au lieu d'un orifice, la formule qui donne le temps pour un abaissement donné h serait :

$$14^0.\quad t = \frac{2\,A}{m\,L\sqrt{2\,g}}\left(\frac{1}{\sqrt{H-h}} - \frac{1}{\sqrt{H}}\right)$$

Pour avoir la quantité d'eau écoulée dans un temps donné, on résoudra cette équation pour obtenir la valeur de H-h, laquelle retranchée de H donnera un reste qui multiplié par A sera la quantité d'eau écoulée pendant le temps t.

Si le réservoir ou bassin n'était pas prismatique, la question se compliquerait et deviendrait, dans le plus grand nombre de cas, insoluble. Il faudra alors procéder par approximation en partageant le bassin en un assez grand nombre des sections horizontales, pour que chacune puisse être envisagée comme sensiblement prismatique. On procédera ainsi par parties.

Nous croyons utile de placer ici d'autres formules pratiques pour les réservoirs qui se vident, données par *Morin* dans son Aide-Mémoire (2).

La dépense d'eau faite par un orifice avec charge, ouvert dans un réservoir dont le niveau varie pendant l'écoulement, est donnée par la formule :

$$15^0.\quad Q = 1{,}476\, m\, L\, t\, E\left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_5} + 4\left(\sqrt{h_2} + \sqrt{h_4}\right) + 2\sqrt{h_3}\right)$$

(1) Les trois dernières formules cesseraient d'être vraies pour un écoulement qui aurait lieu près du fond, car alors le phénomène se complique de plusieurs causes perturbatrices.

(2) Pages 60 et suiv.

dans laquelle :

Q est la dépense pendant le temps $4\,t$;

L, la largeur de l'orifice ;

E, la hauteur de l'orifice ;

m, le coefficient de contraction ;

h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, les hauteurs de niveau, au-dessus de l'orifice, correspondantes à quatre intervalles de temps égaux à t ; h_1 étant la hauteur au commencement de l'expérience, et h_5, la hauteur à la fin de l'expérience (1).

Si l'écoulement se fait par un déversoir, la formule à appliquer est :

$$16^0.\quad Q = 0{,}598\, L\, t\left(H_1\sqrt{H_1} + H_5\sqrt{H_5} + 4\left(H_2\sqrt{H_2} + H_4\sqrt{H_4}\right) + 2\,H_3\sqrt{H_3}\right)$$

dans laquelle on fait :

L la largeur du déversoir ;

H_1, H_2, H_3, H_4, H_5 les hauteurs successives du niveau, au-dessus du seuil du déversoir, correspondantes à des intervalles de temps égaux à t.

Le reste comme précédemment.

Si l'écoulement se fait par un orifice noyé, on conservera la formule pénultième, et h_1, h_2, h_3, h_4, h_5 seront les différences entre les hauteurs de niveau observées de la même manière dans les deux réservoirs, celui qui se vide et celui qui reçoit l'eau.

Si un réservoir à niveau constant écoule son eau dans un réservoir limité, on emploiera, pour connaître le temps dans

(1) On voit que cette formule ne peut servir qu'à mesurer l'eau qui s'écoule, mais qu'elle ne sert pas à en déterminer d'avance la quantité.
Elle peut être utilisée pour le jaugeage d'un cours d'eau par l'observation d'un orifice devant lequel le niveau baisse pendant l'écoulement.
La formule à employer alors est :

$$X = \frac{Q}{t + t'}$$

dans laquelle :

X est le produit ou dépense du cours d'eau en 1'' ;

Q le volume d'eau écoulé pendant le temps de l'ouverture de l'orifice calculé avec les formules ci-dessus ;

t la durée en secondes de cet écoulement ;

t' le temps en secondes que le niveau a employé après la fermeture de l'orifice pour revenir à sa hauteur primitive.

lequel l'eau s'élèvera d'une quantité h dans le second bassin, la formule :

$$11^{o}.\quad t = \frac{2\,A}{m\,S\sqrt{2g}}\left(\sqrt{H} - \sqrt{H-h}\right)$$

dans laquelle :

A est la surface du vase prismatique qui se remplit;

H, la hauteur du vase à niveau constant au-dessus du niveau initial du second vase;

h, la hauteur dont l'eau doit s'élever dans le second vase.

Si un réservoir prismatique se vide en écoulant son eau dans un réservoir qui se remplit, on aura le temps pendant lequel l'eau est montée de h dans le second réservoir, par la formule :

$$17^{o}.\quad t = \frac{2\,A\sqrt{B}}{m\,S\sqrt{2g}\,(A+B)}\left(\sqrt{B\,(H-K)} - \sqrt{(A+B)\,x - A\,H - B\,K}\right)$$

dans laquelle :

A est la section du réservoir qui se vide (1);

B, la section du réservoir qui se remplit;

H, la charge initiale du premier réservoir au-dessus de l'orifice;

K, la charge au-dessus de l'orifice dans le second réservoir, au moment où commence l'opération;

x, la charge d'eau qui reste dans le premier réservoir après que l'eau est montée de h dans le second;

S, la surface de l'orifice de communication.

Si on demandait le temps nécessaire pour que l'eau se mît de niveau dans les deux réservoirs, on aurait la formule :

$$18^{o}.\quad t = \frac{2\,A\,B\sqrt{H-K}}{m\,S\sqrt{2g}\,(A+B)}$$

dans laquelle les lettres ont la même signification que dans la précédente.

(1) Il va sans dire qu'on suppose ces réservoirs prismatiques.

Si, enfin, les deux réservoirs étaient à niveau constant, on aurait la dépense du niveau supérieur, par la formule 4° :

$$Q = m\,S\sqrt{2g\,H}$$

dans laquelle :

H est la différence de niveau des deux réservoirs;

S, la surface de l'orifice;

m, le coefficient correspondant à la hauteur du niveau supérieur sur le centre de l'orifice.

Lorsque l'eau d'un réservoir à niveau constant passe dans un second réservoir, duquel elle s'écoule par un orifice, la hauteur d'eau dans ce second réservoir est moins forte que dans le premier, et, par conséquent, la charge d'eau sur l'orifice est moindre.

La formule qui donne la différence de niveau est la suivante :

$$19^{o}.\quad H - h = \frac{m'^{2}\,a^{2}}{A^{2}}\left(\left(\frac{1}{m}-1\right)^{2} + 1 + 0{,}007\,\frac{S}{A} - L\right)h$$

dans laquelle :

H est la hauteur du niveau du premier réservoir au-dessus du centre de l'orifice du second, par lequel l'écoulement a lieu;

h, la hauteur du niveau du second réservoir au-dessus du centre du même orifice;

m, le coefficient de contraction, pris relativement à la conduite qui réunit les deux réservoirs;

m', le coefficient de contraction relatif à l'orifice de la vanne du second réservoir;

a, l'aire de l'orifice du second réservoir;

A, l'aire de la section de la conduite qui réunit les deux réservoirs;

S, le contour au périmètre mouillé de cette conduite;

L, la longueur développée de cette conduite (1).

Cette différence de niveau avait été depuis très-longtemps constatée en Italie, où on l'a utilisée pour régler le débit des modules et partiteurs, comme nous le verrons dans la suite.

(1) Cette formule, que nous donnons d'après *Morin*, nous paraît d'un médiocre intérêt, puisqu'elle ne prévoit pas, mais constate seulement une différence de niveau, qu'on aurait, presque toujours, pu connaître par des mesures directes.

On avait également prouvé par expérience :

1° Que le rapport entre les hauteurs d'eau, dans les deux réservoirs, au-dessus du centre de l'orifice du second, était constant lorsque les ouvertures des orifices ne variaient pas; c'est-à-dire, que les hauteurs, dans une certaine position, étant H et h, si on porte la hauteur d'eau du premier réservoir à $H + \alpha$, celle du second deviendra $h + \beta$, et on aura la proportion :

$$H : h :: H + \alpha : h + \beta$$

2° Que la différence de niveau est d'autant plus prononcée, que l'ouverture du canal ou du diaphragme qui sépare les deux réservoirs est plus petite.

Si, au lieu d'avoir deux réservoirs séparés par une conduite ou par un diaphragme, on en avait plusieurs consécutifs séparés de même, la hauteur d'eau irait en diminuant; mais le rapport de la hauteur du premier réservoir à celle du dernier reste constant tant que les ouvertures des orifices ou diaphragmes ne varient pas, et la vitesse de l'écoulement par le dernier orifice est toujours due à la hauteur ou charge du dernier réservoir.

Les deux formules fondamentales qui servent à résoudre les problèmes qui ont rapport aux eaux courantes, sont les suivantes, qui donnent la vitesse de l'eau, et la quantité de liquide dépensée par un canal à pente uniforme et à section constante (1) :

$$20^{0}. \quad v = -0{,}0332 + \sqrt{2736\,\frac{ps}{c} + 0{,}0011}$$

$$21^{0}. \quad Q = s\left(-0{,}0332 + \sqrt{2736\,\frac{ps}{c} + 0{,}0011}\right),$$

ou, avec une exactitude bien suffisante,

$$22^{0}. \quad Q = s\left(\sqrt{2736\,\frac{ps}{c}} - 0{,}0332\right)$$

(1) Dans les grandes vitesses, on peut, sans grave erreur, employer les formules suivantes, qui sont plus simples :

$$v = 51\sqrt{\frac{ps}{c}} \quad \text{et} \quad Q = 51\,S\sqrt{\frac{ps}{c}}$$

dans lesquelles :

v est la vitesse moyenne, par seconde, de l'eau;

s, la surface de la section du canal;

p, la pente par mètre du fond du canal;

c, la longueur développée en mètres du périmètre mouillé de la section (1).

Lorsque l'eau entre dans un canal ouvert à son origine, une chute ou dépression de niveau a lieu, de façon que la hauteur d'eau dans le canal, lorsque le régime est devenu uniforme, est moindre que la hauteur du niveau du réservoir au-dessus du seuil d'entrée.

(1) Les coefficients de ces formules ont été déterminés par *Eytelwein*, d'après quatre-vingt-onze expériences faites sur des canaux et des rivières, dans lesquelles la vitesse a varié de 0 m. 124 jusqu'à 2 m. 42 par seconde, et la section fluide de 0,014 jusqu'à 2604 mètres carrés. Ils sont généralement adoptés.

De Prony, en discutant d'autres expériences, avait trouvé d'autres valeurs pour ces coefficients.

La formule qui donne la dépense serait alors :

$$Q = s\left(\sqrt{3253{,}06\,p\,\frac{s}{c} - 0{,}072}\right)$$

Quelques ingénieurs l'emploient encore.

Nadault de Buffon donne, d'après *Cocconcelli*, une formule de *Tadini*, déduite de soixante expériences faites sur les canaux d'irrigation du nord de l'Italie. Cette formule, en adoptant les mêmes dénominations, est la suivante :

$$Q = 50\,s\sqrt{h\,p} = 50\,l\,h\sqrt{h\,p}$$

h étant la hauteur de l'eau dans le canal.

l étant la largeur moyenne du trapèze, qui forme la section du canal.

Il nous paraît difficile d'admettre comme exacte une formule indépendante du périmètre mouillé. Si les talus des berges étaient partout les mêmes, on pourrait dire qu'elle contient implicitement ce périmètre, car la longueur des deux côtés dépend de h, et celle du fond de l; mais, si le talus change, le périmètre mouillé peut changer, h et l restant les mêmes. Il est probable que les canaux sur lesquels on l'a expérimentée avaient tous les mêmes talus. Du reste, cette formule n'est pas généralement adoptée en Italie, et elle donne des valeurs pour Q qui diffèrent beaucoup de celles d'*Eytelwein*. Dans un canal ayant 7 m 70 à la surface et 3 m. 20 au fond de largeur, 1 m. 50 de hauteur d'eau et 0,0005 de pente,

La formule d'*Eytelwein* donne $Q = 9^{mmm}{,}046$
Celle de *Tadini* — $Q = 11.\ 192$

La vitesse serait donnée par la formule

$$v = \frac{Q}{s} = 50\sqrt{h\,p}$$

e, il nous paraît impossible d'admettre que la vitesse ne dépende que de la hauteur. Les valeurs sont plus rapprochées lorsque le talus des berges a 3 de base pour 1 a hauteur.

la conséquence de tout ceci, est que la formule de *Tadini*, quoique plus simple, ne peut pas assez exacte pour qu'on l'emploie.

La hauteur de cette chute est donnée par la formule :

$$23^0.\quad H - h = 0{,}051\,\frac{v^2}{m^2}$$

dans laquelle :

H est la hauteur dans le réservoir au-dessus du seuil d'entrée ;

h, la hauteur dans le canal ;

v, la vitesse moyenne de l'eau dans le canal, lorsqu'elle est devenue uniforme ;

m, coefficient déterminé par expérience, qui, lorsque le seuil du canal correspond au fond du réservoir, est fixé, par *Eytelwein*, à 0,95 pour les larges canaux, et à 0,86 pour les canaux étroits, comme les coursiers des usines.

Si l'eau arrivait directement au canal avec une vitesse acquise, il faudrait diminuer la hauteur de chute ainsi calculée d'une quantité égale à la hauteur due à cette vitesse.

Lorsque la prise d'eau se fait au moyen de vannes, on distingue deux cas : si la vanne verse son eau dans l'air, ou si elle débouche dans l'eau, mais que celle-ci n'arrive qu'à son côté supérieur, la dépense se calcule comme pour les orifices qui débouchent dans l'air.

Si la vanne est noyée sensiblement, la dépense est donnée par la formule :

$$m\,S'\sqrt{2\,g\,(H-h)}$$

et on aura, pour résoudre les questions de prise d'eau, la équation :

$$24^0.\quad m\,S'\sqrt{2\,g\,(H-h)} = s\left(\sqrt{2736\,\frac{p\,s}{c}} - 0{,}0534\right) = Q$$

S' est la surface de l'orifice découvert par la vanne.

La vitesse de l'eau n'est pas la même à la surface et au fond d'un canal ; elle varie également du milieu aux bords.

D'après des considérations théoriques, elle devrait être à son maximum dans le filet qui est le plus éloigné des parois, et dans les canaux ordinaires, de section trapézoïdale, ce serait

le filet du milieu de la surface qui serait animé de la plus grande vitesse Mais, en réalité, il n'en est pas ainsi.

La vitesse diminue en allant du milieu aux bords, ainsi c'est sur la section longitudinale du milieu que se trouve le filet animé de la plus grande vitesse ; mais, en partant de la surface, la vitesse commence par augmenter pour diminuer ensuite jusqu'au fond.

Généralement, le filet animé de la plus grande vitesse est assez rapproché de la surface (1).

On peut calculer approximativement la vitesse moyenne en fonction de la vitesse de la surface, par les formules suivantes dues à *Dubuat* (2) :

$$25^0\begin{cases} u = \dfrac{1}{2}\,(V + v) \\ v = (\sqrt{V} - 0{,}165)^2 \\ u = (\sqrt{V} - 0{,}082)^2 + 0{,}00677 \end{cases}$$

dans lesquelles :

V est la vitesse à la surface, au milieu du courant ;

v, la vitesse au fond ;

u, la vitesse moyenne.

De Prony, en discutant les mêmes expériences, établit cette autre relation, qu'il croit plus juste :

$$26^0.\quad u = V\,\frac{V + 2{,}372}{V + 3{,}153} \quad \text{et} \quad v = 2\,u - V$$

et il admet que, dans la pratique, lorsque la vitesse à la surface est comprise entre $0^m{,}20$ et $1^m{,}50$, on peut faire (3) :

$$u = 0{,}8\ V.$$

Morin (4) donne les rapports suivants entre la vitesse à la surface et la vitesse moyenne :

(1) Il résulterait d'expériences faites par *Raucourt*, sur la Néva, là où elle a une largeur de 306 m. et une profondeur de 18 m., que ce filet est un peu plus près du fond que de la surface du courant.

(2) Principes d'Hydraulique. Ces formules ne donnent que des approximations, et seront peut-être modifiées dans la suite par de nouvelles expériences plus en grand.

(3) *De Prony*. Jaugeage des eaux courantes.

(4) Aide-Mémoire, p. 37. Ces rapports concordent avec ceux calculés avec la formule de *de Prony*.

Des expériences faites sur la Seine ont donné $v = 0{,}62\ V$
Celles de *Raucourt*, sur la Néva, $v = 0\,75\ V$
Et celles de *Defontaine*, sur le Rhin, $v = 0{,}88\ V$

Vitesse à la surface.

0m,10	0m,50	1m,00	1m,50	2m,00	2m,50	3m,00	3m,50	4m,00

Rapport de la vitesse moyenne à la vitesse à la surface.

0,760	0,786	0,812	0,832	0,848	0,862	0,873	0,883	0,891

De Prony donne la vitesse de l'eau dans une conduite qui débouche à l'air libre, par la formule :

$$27^0.\quad V = 26{,}44 \sqrt{\frac{D\,H}{L + 54\,D}}$$

dans laquelle :

V est la vitesse moyenne du régime de la conduite ;

D, son diamètre intérieur ;

H, la hauteur du niveau du réservoir au-dessus du centre de l'extrémité inférieure de la conduite ;

L, la longueur développée de la conduite.

Si, en débouchant dans un réservoir inférieur, son orifice était noyé, H représenterait la différence de niveau des deux réservoirs.

La vitesse moyenne, multipliée par la surface de la section, donnera le débit Q.

On aura donc :

$$28^0.\quad Q = S\,V = \frac{D^2}{4}\,\pi\,V = 26{,}44\,\frac{\pi}{4}\sqrt{\frac{D^5\,H}{L + 54\,D}}$$

Pour déterminer la hauteur à laquelle peut s'élever l'eau dans un réservoir où débouche une conduite d'un diamètre et d'une longueur donnés, qui doit débiter une quantité d'eau donnée, cette hauteur étant mesurée en contre-bas du niveau du bassin supérieur, on a la formule :

$$29^0.\quad H = \frac{Q^2\,(L + 54\,D)}{451{,}39\,D^5}$$

dans laquelle :

H représente la différence de niveau cherchée.

Les autres lettres, comme ci-dessus.

Un coude, dans une conduite, diminue la vitesse, et correspond à une perte de charge, soit à une diminution de H,

dans les formules ci-dessus. *Navier*, en discutant les résultats obtenus par *Dubuat*, est arrivé à la formule :

$$30^0.\quad p = \frac{V^2}{2g}\left(0{,}0059\,\frac{1}{r} + 0{,}0186\right)\frac{a}{r}$$

dans laquelle :

p est la perte de charge due au coude ;

V, la vitesse moyenne de l'eau dans la conduite ;

r, le rayon de l'arc formé par l'axe du coude ;

a, développement de l'arc formé par l'axe du coude.

On fait toujours les coudes arrondis, pour éviter une trop grande diminution de charge. Lorsque l'angle est très-grand, et le coude arrondi, on peut toujours négliger de tenir compte de son effet.

L'épaisseur à donner aux tuyaux de conduite cylindriques, pour résister à une pression intérieure donnée, se trouve au moyen de la formule :

$$e = \frac{p\,d}{2\,R}$$

dans laquelle :

e est l'épaisseur du tuyau en millimètres ;

p, la pression intérieure du tuyau exprimée en mètres de hauteur d'eau ;

d, le diamètre du tuyau en mètres ;

R, résistance à la traction de la matière dont est composé le tuyau, par millimètre carré de section.

Dans la pratique, on détermine l'épaisseur des tuyaux en fonte, par la formule :

$$e = 0^m{,}01 + 0{,}02\,d$$

e, épaisseur cherchée en mètres ;

d, diamètre intérieur du tuyau en mètres.

Pour déterminer P, ou la pression exercée sur un point de la conduite, on a la formule :

$$31^0.\quad P = P' + 1000\,(H - (h' - h))$$

dans laquelle :

P est la pression cherchée exprimée en kilogrammes, par mètre carré de superficie ;

P', la pression à l'origine, ou en un point donné de la conduite ;

H, la hauteur du point où la pression est P', au-dessus de celui où elle est P.

h' et h, les hauteurs respectives, dues à la vitesse de l'eau, aux points où la pression est P' et P.

Si la conduite a une section constante, la formule se simplifie et devient :

$$P = P' + 1000\,H.$$

Lorsqu'une digue ferme entièrement une rivière, elle force l'eau à s'élever et à se déverser par-dessus.

La hauteur de l'élévation au-dessus de la digue est donnée par la formule :

$$32^{o}.\quad H = \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{1.8\,l}\right)^{2}}$$

dans laquelle :

H est la hauteur cherchée ;

Q, la dépense, et l la largeur du déversoir. Cette formule, mise sous la forme :

$$Q = 1,8\,l\,H\sqrt{H},$$

donne une approximation assez exacte pour la dépense des déversoirs.

Si le déversoir était incomplet, c'est-à-dire si son seuil se tenait au-dessous de la surface de l'eau, dans le canal de fuite en aval du déversoir, on aurait la formule :

$$33^{o}.\quad Q = 1,8\,l\,h\sqrt{h} + 2,75\,l\,(a-b)\sqrt{h} + 0,051\,u^{2}$$

dans laquelle :

Q est la dépense d'eau ;

l, la largeur du déversoir ;

h, la hauteur mesurée au-dessus du seuil de la lame d'eau au-dessus du niveau prolongé du canal inférieur ou de fuite ;

a, la hauteur du niveau du canal inférieur au-dessus du fond du canal ;

b, la hauteur du barrage au déversoir au-dessus du même fond (on voit que $[a-b]$ est la hauteur du niveau inférieur au-dessus du seuil du barrage) ;

u, la vitesse moyenne de la tranche d'eau qui passe sans inclinaison au-dessus du déversoir.

Cette formule, en prenant la valeur de h, donne la hauteur du remous.

Quant à l'amplitude du remous, nous devons dire que les hydrauliciens ne sont pas d'accord pour sa détermination, et que l'expérience n'a pas encore été suffisamment consultée, pour nous permettre de donner des formules.

Si, par une construction quelconque, faite dans une rivière, on rétrécissait brusquement son lit, il y aurait également un remous, et son élévation est donnée par la formule :

$$34^{o}.\quad x = 0,051\,V^{2}\left(\left(\frac{L\,h}{m\,l\,(h+x)}\right)^{2} - 1\right)$$

dans laquelle :

x est la hauteur de remous cherchée ;

L, la largeur moyenne de la rivière, avant le rétrécissement ;

l, la largeur de l'espace rétréci ;

m, le coefficient de contraction à l'entrée de l'espace rétréci ;

V, la vitesse de la rivière avant le rétrécissement.

Les déterminations des remous ne donnent que des approximations souvent peu exactes (1).

§ II. APPLICATIONS. — OPÉRATIONS PRATIQUES.

VITESSE DE L'EAU S'ÉCOULANT PAR UN ORIFICE EN MINCE PAROI.

La contraction de la veine fluide montre que la vitesse n'est pas la même immédiatement à la sortie de l'orifice, et là où la veine est le plus contractée. Généralement on admet que la vitesse théorique donnée par la formule, est celle qui a lieu à la section de la veine contractée ; mais les belles expé-

(1) Voici comment s'exprime sur ce sujet *d'Aubuisson* (Traité d'Hydraulique, p. 167) :

« Les variations qu'éprouvent continuellement le coefficient de contraction, ainsi que celui qu'on adoptera pour réduire la vitesse moyenne à celle de la surface, ne permettent jamais de résoudre, avec une grande exactitude, les questions relatives aux remous. Dans la pratique, également, leur hauteur et leur amplitude ne sauraient être prises très-exactement ; et, de tous côtés, on ne peut avoir que des approximations. »

riences de *Poncelet* et *Lesbros*, en déterminant la forme et la section de la veine contractée, montrent que cette application de la formule n'est pas exacte (1).

La vitesse théorique dépend de la hauteur du niveau du réservoir au-dessus du centre de gravité de l'orifice. Les Traités de Mécanique donnent les moyens de déterminer ce centre pour les diverses figures; mais comme, dans la pratique, les orifices sont presque toujours ou circulaires ou rectangulaires, on observera que, dans ces cas, le centre de gravité se confond avec le centre de figure.

Il suffira donc de mesurer la distance verticale qui sépare le seuil inférieur de l'orifice du niveau du réservoir, là où l'eau est tranquille, et d'en retrancher soit le rayon, soit la demi-hauteur verticale de l'orifice.

La détermination de cette hauteur peut se faire, soit à l'aide d'un nivellement exact, soit avec une règle assujettie bien horizontalement, et portant deux tiges verticales, et qui glissent sur elle, dont l'une donne la distance du seuil de l'orifice à la règle, et l'autre la distance du niveau des eaux tranquilles à la même règle.

PREMIER PROBLÈME.

On demande la vitesse de l'eau sortant d'un réservoir par un orifice en mince paroi, sur le centre duquel la charge est de $2^m,27$.

La formule 1°. $V = \sqrt{2\,g\,H}$

donne, en remplaçant les lettres par les valeurs numériques :

$$V = \sqrt{2 \times 9,8088 \times 2^m,27} = 6^m,673$$

vitesse théorique par seconde (2).

DEUXIÈME PROBLÈME.

Dans les mêmes conditions que dans le problème 1er, quelle serait la vitesse si l'écoulement se faisait à gueule-bée?

(1) Voyez un Mémoire de *Lesbros*, Annales des ponts-et-chaussées, année 1831, p. 223.

(2) Si on voulait avoir la vitesse réelle, en un point quelconque de la veine, il faudrait chercher la dépense et la diviser par la section de la veine exactement mesurée sur ce point.

Il faudra multiplier le résultat ci-dessus, par 0,82, ce qui donnera :

$$V = 0,82 \times 6^m,673 = 5^m,472$$

vitesse théorique par seconde.

DÉPENSE POUR DES ORIFICES DÉBOUCHANT A L'AIR LIBRE.

TROISIÈME PROBLÈME.

Quelle est la dépense réelle d'un orifice rectangulaire en mince paroi, de $0^m,10$ *de hauteur, et de* $0^m,95$ *de largeur, sous une charge de* $1^m,50$ *sur son centre, débouchant à l'air libre?*

La formule 4°. $Q = m\,S\,\sqrt{2\,g\,H}$

donne, en remplaçant les lettres par les valeurs numériques :

$m = 0,611$, nombre donné par premier tableau.

$S = 0^m,10 \times 0^m,95 = 0^{mm},095$

$$Q = 0,611 \times 0^{mm},095 \sqrt{19,6176 \times 1^m,50} = 0^{mmm},315$$

mètres cubes par seconde.

Si la charge avait été mesurée au-dessus de l'orifice, la valeur de m, donnée par le second tableau, aurait été également de 0,611, car, pour une si forte charge, il n'y a pas d'inflexion sensible dans le niveau du réservoir.

QUATRIÈME PROBLÈME.

Quelle est la dépense réelle d'un orifice circulaire de $0,^m04$ *de rayon, percé en mince paroi, sous une charge de* $0,^m630$ *sur son centre, débouchant à l'air libre?*

Même formule que pour le problème 3.

m n'est pas donné par les tables, et il faut prendre des moyennes.

Pour une charge de $0^m,600$ et $0^m,10$ de hauteur d'orifice, on a $m = 0,617$; pour 0,05 de hauteur d'orifice, $m = 627$; en prenant la moyenne, on a, pour 0,08 diamètre de l'orifice, 0,621.

En opérant de même pour une charge de $0^m,700$, on a, pour $0^m,08$ de hauteur d'orifice, $m = 0,6214$.

Ces deux valeurs de m, étant égales, il n'y a pas lieu de

prendre une nouvelle moyenne, pour avoir la valeur de m, pour une charge de $0^m,630$.

On aura donc :

$m = 0,621$

$s = 0^{mm},004$

et $Q = 0,621 \times 0^{mm},005 \sqrt{19,6176 \times 0^m,63} = 0^{mmm},011$ par seconde.

CINQUIÈME PROBLÈME.

Quelle est la dépense réelle d'un orifice de $0^m,20$ de hauteur, sur $1^m,30$ de largeur, et sous une charge de $0,^m80$ sur son milieu, débouchant à l'air libre, et dont le seuil est dans le prolongement du fond du réservoir?

Même formule que ci-dessus; mais m devra être multiplié par 1,125, car la contraction est incomplète sur un côté. On a donc :

$m = 0,605 \times 1,125 = 0,681$

$S = 0,^{mm}26$

et $Q = 0,681 \times 0^{mm},26 \sqrt{19,6176 \times 0^m,8} = 0^{mmm},701$ par seconde.

SIXIÈME PROBLÈME.

Quelle est la dépense réelle d'une vanne qui démasque un orifice de $0^m,50$ de hauteur, sur $0^m,60$ de largeur, dont le seuil est près du radier d'amont, débouchant à l'air libre, sous une charge de $2^m,30$ sur le seuil?

Même formule que ci-dessus.

$H = 2^m,05$

$m = 0,625$

$S = 0^{mm},3$

et $Q = 0,625 \times 0^{mm},3 \sqrt{19,6176 \times 2^m,05} = 1^{mmm},186$ par seconde.

SEPTIÈME PROBLÈME.

Quelle serait la dépense réelle de deux vannes semblables à celles du problème précédent, et éloignées de $2^m,00$ l'une de l'autre?

Même formule pour chaque vanne.

$m = 0,555$

La dépense d'une vanne : $Q = 1^{mmm},053$ par seconde ;

Et la dépense de deux vannes : $2Q = 2^{mmm},106$ par seconde.

HUITIÈME PROBLÈME.

Quelle est la dépense réelle d'une vanne inclinée, qui démasque un orifice de $1^m,20$ de largeur, et de $0^m,15$ de hauteur, et qui est inclinée à 1 de base sur 2 de hauteur, sous une charge de $1^m,50$ sur le seuil, pour lequel la contraction est nulle sur le fond et sur les deux côtés?

Même formule que ci-dessus.

$m = 0,74$

et $Q = 0,74 \times 0^{mm},18 \sqrt{19,6176 \times 1^m,5} = 0^{mmm},722$ par seconde.

DÉPENSE PAR DES ORIFICES NOYÉS.

NEUVIÈME PROBLÈME.

Quelle est la dépense réelle d'un orifice en mince paroi, de $0,^m10$ de hauteur, sur $1,^m20$ de largeur, débouchant dans un second réservoir, la hauteur du niveau de premier réservoir au-dessus du seuil etant de $1,^m35$, et celle du réservoir en aval de $1,^m10$?

On a, d'après la formule 5° :

$$Q = m S \sqrt{2g(H - h)}$$

et mettant à la place des lettres, leurs valeurs numériques :

$Q = 0,616 \times 0^{mm},12 \sqrt{19,6176 \times (1^m,35 - 1^m,10)} = 0^{mmm},164$ par seconde.

DÉPENSE PAR DES ORIFICES ACCOMPAGNÉS DE COURSIERS.

DIXIÈME PROBLÈME.

Quelle est la dépense réelle d'un orifice accompagné d'un coursier, avec la disposition a de la f. 167; l'orifice ayant $0^m,75$

de largeur sur $0^m,20$ *de hauteur, sous une charge de* $0^m,18$ *sur le centre?*

Formule 4°. $Q = m S \sqrt{2 g H}$

m n'est pas donné par le tableau, *page* 456, mais on l'obtient en prenant une moyenne et on a :

$$Q = 0,521 \times 0^{mm},15 \sqrt{19,6176 \times 0^m,18} = 0^{mmm},147 \text{ par seconde.}$$

DÉPENSE PAR UNE BUSE.

ONZIÈME PROBLÈME.

Quelle est la dépense réelle d'une buse ayant sur sa petite base $0^m,15$ *de hauteur sur* $0^m,20$ *de largeur, sous une charge de* 3^m?

Dans ce cas, on emploie la même formule 4°, en faisant $m = 0,98$.

On a donc :

$Q = 0,98 \times 0^{mm},03 \sqrt{19,6176 \times 3^m} = 0^{mmm},222$ par seconde.

DÉPENSE PAR DES ORIFICES EN DÉVERSOIR.

La formule 8°, qui sert dans ces cas, contient la hauteur H du niveau du réservoir au-dessus du côté inférieur du déversoir. Cette hauteur peut être mesurée, comme nous l'avons dit plus haut, pour les orifices ordinaires; mais on peut remarquer, pour faciliter cette mesure, que, lorsque le déversoir est moins large que le réservoir, le niveau de l'eau dans les angles du barrage, est à la même hauteur qu'à une distance assez grande en amont. Il suffira donc alors de mesurer la hauteur du niveau en ces points au-dessus du seuil du déversoir, pour en déduire H ou la charge (1).

DOUZIÈME PROBLÈME.

Quel est le volume d'eau qui s'écoule en une seconde, par un déversoir de 12^m *de large, et dont le seuil est à* $0^m,15$ *au-dessous du niveau général du réservoir?*

Formule 8°. $Q = m L H \sqrt{2 g H}$

(1) *Morin*, Aide-Mémoire, p. 31.

En mettant les valeurs numériques des lettres :

$$Q = 0,393 \times 12^m \times 0^m,15 \sqrt{19,6176 \times 0^m,15} = 1^{mmm},213 \text{ par seconde.}$$

TREIZIÈME PROBLÈME.

Un étang est alimenté par un cours d'eau qui, dans les moments des plus grandes pluies, lui apporte $1^{mmm},30$ *d'eau par seconde; on demande à quelle profondeur il faut établir un déversoir de* 2^m, *de large au-dessous du niveau de la plus grande élévation qu'on veut voir prendre aux eaux, pour qu'elles n'inondent pas les terres voisines?*

En résolvant l'équation 8°, par rapport à H, on a :

$$H = \sqrt[3]{\frac{1}{2g}\left(\frac{Q}{mL}\right)^2}$$

et mettant les valeurs numériques :

$$H = \sqrt[3]{\frac{1}{19,6176}\left(\frac{1^{mmm},30}{0,385 \times 2^m}\right)^2} = 0^m,547$$

QUATORZIÈME PROBLÈME.

Un étang est alimenté par des sources et par un ruisseau; il se vide par un déversoir de 2^m *de large. Dans les plus grandes pluies, les eaux montent au-dessus du seuil de* $1^m,10$, *et elles inondent les terres. On veut, pour y obvier, élargir le seuil du déversoir, de manière à faire baisser de* $0^m,60$ *les eaux dans le réservoir, lors des grandes pluies. On demande la largeur qu'il faudra donner à ce déversoir?*

La quantité d'eau dépensée est donnée par la formule 8°, et on a :

$$Q = 0,385 \times 2^m \times 1^m,1 \sqrt{19,6176 \times 1^m,1} = 3^{mmm},934$$

En résolvant ensuite la formule 8°, par rapport à L, on a :

$$L = \frac{Q}{m H \sqrt{2 g H}}$$

et mettant les valeurs numériques :

$$L = \frac{3^{mmm},934}{0,385 \times 0^{m},50 \times \sqrt{19,6176 \times 0^{m},50}} = 6^{m},524$$

QUINZIÈME PROBLÈME.

Quelle est la dépense d'un déversoir de 2m de large, ouvert dans un réservoir de 8m de large, l'épaisseur de la lame passant sur le seuil étant au milieu de la longueur du déversoir, de 0m,06?

Formule 8°. $Q = m\,L\,H\sqrt{2\,g\,H}$

$H = 1,178\,E$

E étant l'épaisseur de la lame au-dessus du seuil du déversoir. En mettant les valeurs numériques, on a :

$$Q = 0,401 \times 2^{m} \times 1,178 \times 0^{m},06 \times \sqrt{19,6176 \times 1,178 \times 0^{m},06} = 0^{mmm},009$$

SEIZIÈME PROBLÈME.

On a un déversoir de 3m de large, auquel l'eau arrive par un canal de 5m de largeur, avec une vitesse de 0m,65 par seconde. La charge est de 0m,20; on demande la dépense?

Formule 9°. $Q = 1,78\,L\,H\sqrt{H + 0,1\,v^{2}}$

en mettant les valeurs numériques, on a :

$$Q = 1,78 \times 3^{m} \times 0^{m},20\sqrt{0^{m},20 + 0,1 \times (0^{m},65)^{2}} = 0^{mmm},525$$

DÉPENSE PAR DES BASSINS QUI SE VIDENT.

DIX-SEPTIÈME PROBLÈME.

On a un bassin cylindrique, dont la section horizontale est un cercle de 5m de rayon. Il se vide par une ouverture circulaire en mince paroi de 0m,05 de rayon, le niveau de l'eau est à 2m,50 au-dessus du centre de l'orifice; on demande le temps que le niveau de l'eau mettra à descendre de 1m,50?

Formule 11°. $t = \frac{2\,A}{m\,S\sqrt{2\,g}}\left(\sqrt{H} - \sqrt{H - h}\right)$

dans laquelle :

$A = 5^{2} \times 3,1416 = 78^{mm},54$

$h = 1^{m},5$

$H = 2^{m},50$

$S = 0,05^{2} \times 3,1416 = 0^{mm},0078$

En mettant dans la formule les valeurs numériques, on a :

$$t = \frac{2 \times 78^{mm},54}{0,609 \times 0^{mm},0078\sqrt{19,6176}} \times \left(\sqrt{2^{m},50} - \sqrt{2^{m},50 - 1^{m},50}\right) = 3319'' = 55' 19''$$

DIX-HUITIÈME PROBLÈME.

Le réservoir ou grand étang d'Arminvillier a 80 hectares 45 ares de superficie, entouré de digues; on peut l'envisager comme prismatique. L'eau sortant par une ouverture de 0m,50 de hauteur sur 0m,65 de largeur, et, au lever de la pelle, le niveau se trouvant à 2m,5 au-dessus du centre de l'orifice, on demande la quantité d'eau écoulée en 48 heures, et la quantité dont le niveau du réservoir aura baissé?

Formule 12°. $Q = t\,m\,S\sqrt{2\,g}\left(\sqrt{H} - \frac{t\,m\,S\sqrt{2\,g}}{4\,A}\right)$

En mettant les valeurs numériques, on a :

$$Q = 17280 \times 0,601 \times 0^{mm},325\sqrt{19,6176} \times \left(\sqrt{0^{m},50} - \frac{17280 \times 0,601 \times 0^{mm},325 \times \sqrt{19,6176}}{4 \times 804500^{mm}}\right)$$

$= 11196^{mmm},080$, dépense des 48 heures.

Pour avoir la quantité dont le niveau s'est abaissé, il faut diviser ce cube par la surface du réservoir,

Et on aura :

$$\frac{11196^{mmm},080}{804500^{mm},} = 0^{m},014$$

DIX-NEUVIÈME PROBLÈME.

Un réservoir, de forme prismatique, a 4,500^{mm} de superficie et 2,^{m}80 de profondeur. Il reçoit les eaux d'une source qui donne 0^{mmm},40 d'eau par seconde. La vanne de fond a une ouverture de 0^{m},80 de large et 0^{m},40 de haut. On demande le temps qu'il mettra à se vider jusqu'à 0^{m},10 au-dessus du bord supérieur du pertuis?

Formule 13°. $$t = \frac{2A}{(mS\sqrt{2g})^2}\left(mS\sqrt{2g}\,(\sqrt{H}-\sqrt{H-h}) + 2{,}303\,q\,log.\,\frac{mS\sqrt{2gH}-q}{mS\sqrt{2g(H-h)}-q}\right)$$

On a dans ce cas :

$A = 4500^{mm}$
$S = 0^{mm},32$
$H = 2^{m},60$
$h = 2^{m},30$
$q = 0^{mmm},40$

Mettant ces valeurs dans la formule, on a :

$$t = \frac{2\times 4500}{(0{,}601\times 0{,}32\sqrt{19{,}6176})^2}\left(0{,}601\times 0{,}32\sqrt{19{,}6176}\times(\sqrt{2{,}6}-\sqrt{2{,}6-2{,}3}) + 2{,}303\times 0{,}4\times log.\,\frac{0{,}601\times 0{,}32\sqrt{19{,}6176\times 2{,}6\times 0{,}4}}{0{,}601\times 0{,}32\sqrt{19{,}6176\,(2{,}6-2{,}3)}-0{,}4}\right)$$

$= 14494'' = 4^{h}, 1', 34''$.

VINGTIÈME PROBLÈME.

Le même réservoir que dans le problème précédent étant donné, déterminer l'abaissement de niveau en une heure, et l'eau qui s'en est écoulée?

En mettant les valeurs numériques dans la formule 13°, et observant que $t = 3600''$, on aura :

$$3600 = \frac{2\times 4500}{(0{,}601\times 0{,}32\sqrt{19{,}6176})^2}\left\{0{,}601\times 0{,}32\times\sqrt{19{,}6176}\,(\sqrt{2{,}6}-\sqrt{H-h}) + 2{,}303\times 0{,}4\left(log\,(0{,}601\times 0{,}32\sqrt{19{,}6176\times 2{,}6}-0{,}4) - log\,(0{,}601\times 0{,}32\sqrt{19{,}6176}\sqrt{H-h}-0{,}0)\right)\right\}$$

En opérant et en réduisant, on a :

$$10561{,}98\sqrt{H-h} + 11419{,}83\,log\,(0{,}852\sqrt{H-h}-0{,}4) - 13327{,}618 = 0$$

ou bien :

$$10561{,}98\sqrt{2{,}60-h} + 11419{,}83\,log\,(0{,}852\sqrt{2{,}60-h}-0{,}4) - 13327{,}618 = 0$$

En faisant	$h = 0{,}60$	l'équation devient	$+ 532{,}92 = 0$
—	$h = 1{,}00$	—	$-1897{,}26 = 0$
—	$h = 0{,}80$	—	$- 125{,}51 = 0$
—	$h = 0{,}70$	—	$- 36{,}93 = 0$
—	$h = 0{,}65$	—	$+ 249{,}91 = 0$
—	$h = 0{,}68$	—	$+ 77{,}95 = 0$
—	$h = 0{,}69$	—	$+ 19{,}81 = 0$
—	$h = 0{,}695$	—	$- 8{,}32 = 0$
—	$h = 0{,}693$	—	$+ 2{,}84 = 0$
—	$h = 0{,}6935$	—	$+ 0{,}15 = 0$

En s'arrêtant à cette approximation, on voit, qu'à moins d'un demi-millimètre près, l'eau s'est abaissée de 0,^{m}6935.

La quantité d'eau écoulée est :

$$A\times h + q\times t = 4500\times 0{,}6935 + 0{,}40\times 3600 =$$

$4560^{mmm},75$

VINGT-UNIÈME PROBLÈME.

On a un bassin prismatique, dont la surface est de 1000^{mm}; l'eau coule par un déversoir de 1^{m},50 de large; le niveau de

l'eau est à 0,40; on demande le temps qu'il mettra pour baisser de 0_m30?

Formule 14°. $$t = \frac{2\,A}{m\,L\sqrt{2g}}\left(\frac{1}{\sqrt{H-h}} - \frac{1}{\sqrt{H}}\right)$$

En mettant les valeurs, on a :

$$t = \frac{2 \times 1000}{0{,}385 \times 1{,}5 \times \sqrt{19{,}6176}} \times \left(\frac{1}{\sqrt{0{,}4-0{,}3}} - \frac{1}{\sqrt{0{,}4}}\right) = 1236'' = 20',36''$$

VINGT-DEUXIÈME PROBLÈME.

Avec les mêmes données du problème précédent, on demande la quantité d'eau qui s'écoulera en 10 minutes?

En résolvant l'équation 14°, par rapport à $H - h$, et en faisant pour abréger $\frac{2\,A}{m\,L\sqrt{2g}} = B$, on a :

$$H - h = \left(\frac{B\sqrt{H}}{t\sqrt{H+B}}\right)^2$$

$$\text{et } h = H - \left(\frac{B\sqrt{H}}{t\sqrt{H+B}}\right)^2$$

h est la quantité dont le niveau s'est abaissé.

En remplaçant les lettres par leurs valeurs numériques, on a :

$$h = 0^m,4 - \left(\frac{781{,}952\sqrt{0{,}4}}{600\sqrt{0{,}4} + 781{,}952}\right)^2 = 0^m,219.$$

La quantité d'eau écoulée est représentée par $A\,h = 1000^{mq} \times 0{,}219 = 219$ mètres cubes.

VINGT-TROISIÈME PROBLÈME.

On a un étang, dont la surface est de $5^h\,25^a\,48^c$. Les autres surfaces, mesurées à $0^m,30$ de distance verticale en descendant, sont : $4^h\,38^a\,46^c$; $3^h\,56^a\,28^c$; $2^h\,98^a\,12^c$. L'étang se vide par une buse pyramidale, dont l'orifice de sortie est carré, et de $0^m,40$ de côté. L'étang ne recevant pas d'eau, on demande le temps qu'il mettra à baisser de $0^m,90$ à partir du niveau de la première surface, qui est à 3^m au-dessus du centre de l'orifice?

Ici il faut envisager chaque section horizontale de $0,^m30$ d'épaisseur, comme sensiblement prismatique; c'est une erreur qu'on fait, et qui est d'autant moindre que la hauteur verticale de chaque section est plus petite.

Formule 11°. $$t = \frac{2\,A}{m\,S\sqrt{2g}}\left(\sqrt{H} - \sqrt{H-h}\right)$$

comme l'écoulement se fait par une buse, $m = 0{,}98$.

Cherchons le temps nécessaire pour vider chaque section; en observant que la surface moyenne des sections est :

Surface de la 1re section.

$$\frac{52548^{mm} + 43846^{mm}}{2} = 48197^{mm}$$

Surface de la 2me section.

$$\frac{43846^{mm} + 35628^{mm}}{2} = 39737^{mm}$$

Surface de la 3me section.

$$\frac{35628^{mm} + 29812^{mm}}{2} = 32720^{mm}$$

et on aura :

Première section. $$t = \frac{2 \times 48197}{0{,}98 \times 0{,}16 \times \sqrt{19{,}6176}} \times \left(\sqrt{3^m} - \sqrt{2^m,70}\right) = 12350'' = 3^h,25',50''$$

Deuxième section. $t = \dfrac{2 \times 59737}{0{,}98 \times 0{,}16 \sqrt{19{,}6176}} \times$

$(\sqrt{2{,}70} - \sqrt{2{,}40}) = 10753'' = 2^h, 59', 13''$

Troisième section. $t = \dfrac{2 \times 32720}{0{,}98 \times 0{,}16 \sqrt{19{,}6176}} \times$

$(\sqrt{2{,}40} - \sqrt{2{,}10}) = 9427'' = 2^h, 37', 7''$

Temps de l'abaissement total :

$3^h, 25' 50'' + 2^h, 59' 13'' + 2^h, 37' 7'' = 9^h, 12', 10''$

VINGT-QUATRIÈME PROBLÈME.

Un grand étang, alimenté par des sources abondantes, avec un déversoir, et qu'on peut envisager comme à niveau constant, verse son eau dans un réservoir prismatique et carré, dont le côté est de 10m. L'écoulement se fait par une vanne de fond, de manière que l'orifice a 0m,20 de hauteur et 0m,30 de largeur. Le niveau de l'eau, dans le petit réservoir, est à 1m,50 au-dessous du niveau de l'eau dans le grand réservoir; on ouvre la vanne, et on demande le temps que mettra l'eau à s'élever de 0m,50 dans le réservoir limité?

Formule 11°. $t = \dfrac{2\,A}{m\,S\sqrt{2g}} (\sqrt{H} - \sqrt{H - h})$

$A = 100^{mm}$; $S = 0^{mm}, 06$; $H\,1^m, 50$; $h = 0^m, 50$; et

$t = \dfrac{2 \times 100}{0{,}602 \times 0{,}06 \sqrt{19{,}6176}} (\sqrt{1{,}5} - \sqrt{1{,}5 - 0{,}5})$

$= 281'' = 4', 41''$

VINGT-CINQUIÈME PROBLÈME.

Un réservoir prismatique a une surface de 300mm; il se vide dans un autre réservoir prismatique de 200mm de surface, au moyen d'une vanne de 0m,40 de hauteur sur 0m,30 de largeur. Au commencement de l'opération, le niveau du premier réservoir est au-dessus du centre de l'orifice, de 3m,50, et l'eau du second réservoir est au-dessus du même centre de 0,m 50. On

demande le temps nécessaire pour que l'eau monte de 1m dans le second réservoir?

Formule 17°. $t = \dfrac{2\,A\sqrt{B}}{m\,S\sqrt{2g}\,(A + B)} \times$

$\left(\sqrt{B(H - K)} - \sqrt{(A + B)x - AH - BK}\right)$

En mettant les valeurs numériques, on a :

$t = \dfrac{2 \times 300\sqrt{200}}{0{,}601 \times 0{,}12\sqrt{19{,}6176} \times (300 + 200)} \times$

$\left(\sqrt{200\,(3{,}50 - 0{,}50)} - \sqrt{(300 + 200)\,28333 - 300 \times 3{,}5 - 200 \times 0{,}5}\right)$

$t = 434'' = 7'\,14''$

VINGT-SIXIÈME PROBLÈME.

En ayant les mêmes données que dans le problème précédent, on demande le temps que l'eau mettra pour être de niveau dans les deux réservoirs?

Formule 18°. $t = \dfrac{2\,A\,B\sqrt{H - K}}{m\,S\sqrt{2g}\,(A + B)}$

En mettant les valeurs numériques, on a :

$t = \dfrac{2 \times 300 \times 200\sqrt{3{,}5 - 0{,}5}}{0{,}601 \times 0{,}12\sqrt{19{,}6176}\,(300 + 200)}$

$= 1301'' = 21', 41''$

Il est trop facile de calculer la quantité d'eau passée du premier dans le second réservoir, pour que nous nous y arrêtions.

VINGT-SEPTIÈME PROBLÈME.

Un bief de canal communique avec le bief inférieur, au moyen d'un orifice circulaire de 0m,10 de rayon. Le niveau des deux biefs est constant. L'écoulement a lieu à gueule-bée, et la

différence de niveau des deux biefs est de $2^m,70$. *On demande la dépense par seconde?*

Formule 4°. $Q = m\,S\sqrt{2\,g\,H}$

En mettant les valeurs numériques, on a :

$$Q = 0,82 \times 0,0314\sqrt{19,6176 \times 2,70} = 0^{mmm},187$$

VINGT-HUITIÈME PROBLÈME.

On doit établir un orifice en mince paroi, dans un réservoir à niveau constant, sous une charge de $1,^m37$. *L'orifice doit avoir* $0,m15$ *de hauteur. On demande quelle largeur on devra lui donner, pour que son débit soit de* 220 *litres par seconde?*

Formule 4°. $Q = m\,S\sqrt{2\,g\,H}$, et en résolvant par rapport à S :

$$S = \frac{Q}{m\sqrt{2\,g\,H}}$$

En mettant les valeurs numériques, on a :

$$S = \frac{0^{mmm},220}{0,608\sqrt{19,6176 \times 1^m,37}} = 0^{mm},0698$$

S est égal à la largeur l de l'orifice multiplié par sa hauteur h, donc :

$$S = l\,h\,;\ l = \frac{S}{h} = \frac{0^{mm},0698}{0m,15} = 0^m,4653$$

VINGT-NEUVIÈME PROBLÈME.

On demande à quelle profondeur au-dessous du niveau constant d'un réservoir, il faudra placer un orifice en mince paroi, rond, et de $0^m,05$ *de rayon, pour que la dépense soit de* $0^{mmm},050$ *par seconde?*

Formule 4°. $Q = m\,S\sqrt{2\,g\,H}$, et en résolvant par rapport à H :

$$H = \frac{Q^2}{2\,g\,m^2\,S^2}$$

En mettant les valeurs numériques, on a :

$$H = \frac{(0,050)^2}{19,6176 \times (0,601)^2 \times (0,00785)^2} = 5^m,726$$

TRENTIÈME PROBLÈME.

Un étang est alimenté par un ruisseau qui donne $0^{mmm},648$ *par seconde; l'eau en sort par une buse de fond, dont la petite section est carrée, et de* $0,^m18$ *de côté; on demande à quelle hauteur au-dessus du centre de la buse devra être placé le seuil d'un déversoir de* 2^m *de large, pour que la moitié de l'eau sorte par le déversoir, et l'autre moitié par la buse; le niveau se conservant constant?*

La dépense de la buse est donnée par la formule 4° :

$Q = 0,98\,S\sqrt{2\,g\,H}$, dans laquelle tout est connu, excepté H.

On aura donc :

$$H = \frac{(0,324)^2}{19,6176 \times (0,98)^2 \times (0,18)^4} = 5^m,307^{mo}$$

On connaît la hauteur du niveau au-dessus du centre de la buse, et le problème se réduit à celui-ci : *Quelle est la profondeur qu'il faut donner à un déversoir de deux mètres de large, pour qu'il débite* $0^{mmm},824$ *d'eau par seconde?*

Formule. $Q = m\,L\,H\sqrt{2\,g\,H}$

La solution s'obtient comme dans le problème 13^me :

$$H = \sqrt[3]{\frac{1}{2\,g}\left(\frac{Q}{m\,L}\right)^2}$$

$$= \sqrt[3]{\frac{1}{19,6176}\left(\frac{0,324}{0,385 \times 2}\right)^2} = 0^m,278$$

TRENTE-UNIÈME PROBLÈME.

On a un canal dont la section est un trapèze. La largeur, à la surface de l'eau, est de $7^m,70$, *et à la cuvette, de* $3^m,20$, *la hauteur* $1^m,50$. *La pente longitudinale est de* $0^m,2$ *par kilomètre; on demande la vitesse de l'eau et le débit du canal?*

Pour la vitesse, formule 20° :

$$V = -0,0322 + \sqrt{2736\,\frac{p\,s}{c} + 0,0011}$$

$$s = \frac{7,70 + 3,20}{2} \times 1,50 \times 8^{mm},175$$

$$c = 2\sqrt{(1,50)^2\,(2,25)^2} + 3,20 = 8^m,608$$

$$p = 0,0002$$

En mettant les valeurs numériques, on a :

$$V = -0,0322 + \sqrt{2736\,\frac{0,0002 \times 8,175}{8,608} + 0,0011}$$

$$= 0^m,6677$$

Pour la dépense, formule 22° :

$$Q = s\left(\sqrt{2736\,\frac{p\,s}{c}} - 0,0332\right)$$

En mettant les valeurs numériques, on a :

$$Q = 8,175\left(\sqrt{2736\,\frac{0,0002 \times 8,175}{8,608}} - 0,0332\right)$$

$$= 5^{mmm},721947$$

TRENTE-DEUXIÈME PROBLÈME.

On a 3^{mmm} *d'eau à dépenser par seconde dans un canal qui doit avoir* $1^m,50$ *de profondeur,* 9^m *de largeur au niveau de l'eau, et* 3^m *au fond; on demande la pente qu'il faudra lui donner* (1) :

Formule 22°. $Q = s\left(\sqrt{2736\,\frac{p\,s}{c}} - 0,0332\right)$

En résolvant par rapport à p, on a :

$$p = \frac{c\,(Q + 0,0332\,s)^2}{2736\,s^3}$$

$$c = 3 + 2\sqrt{1,5^2 + 3^2} = 9,7112$$

$$s = \frac{9+3}{2} \times 1,5 = 9^{mm}$$

En mettant les valeurs numériques, on a :

$$p = \frac{9,7112\,(3 + 0,0332 \times 9)^2}{2736 \times 9^3} = 0^m,000032$$

soit $0^m,032$ par kilomètre.

TRENTE-TROISIÈME PROBLÈME.

On veut établir un canal qui dépense $3^{mmm},0188$ *d'eau par seconde; la profondeur d'eau doit être de* $1^m,50$, *et les talus de* 1,5 *de base pour* 1 *de hauteur; la vitesse doit être de* $0^m,35$ *par seconde; on demande la pente que doit avoir le canal?*

Formule 20°.

$$v = -0,0332 + \sqrt{2736\,\frac{p\,s}{c} + 0,0011}$$

En résolvant par rapport à p, on a :

$$p = \frac{c\left((v + 0,0332)^2 - 0,0011\right)}{2736\,s}$$

$$s = \frac{Q}{v} = \frac{3,0188}{0,35} = 8^{mm},625$$

$$c = 2\sqrt{1,5^2 \times 2,25^2} + \frac{8,625 - 2\left(\frac{1,5 \times 2,25}{2}\right)}{1,5} = 8,908$$

(1) C'est le problème qu'on avait à résoudre dans l'établissement du canal de l'Ourcq.

En mettant les valeurs numériques, on a :

$$p = \frac{8{,}908\left((0{,}35+0{,}0332)^2-0{,}0011\right)}{2736\times 8{,}625} = 0{,}00005362$$

La largeur du canal au fond est :

$$l = \frac{8{,}625 - 2\left(\frac{1{,}5\times 2{,}25}{2}\right)}{1{,}5} = 3^{m},50$$

TRENTE-QUATRIÈME PROBLÈME.

On demande la largeur que doit avoir le fond d'un canal qui doit débiter $9^{mmm},50$ *d'eau par seconde, dont la pente est de* 0,0005, *dont les talus doivent avoir* 2 *de base pour* 1 *de hauteur, et dont la hauteur d'eau doit être de* $1^{m},50$ (1)?

Formule 22°. $$Q = s\left(\sqrt{2736\,\frac{p\,s}{c}} - 0{,}0332\right)$$

En appelant cette largeur l, et l' la largeur à la surface, et n le rapport de la base à la hauteur des talus, et h la hauteur de l'eau dans le canal, on a :

$$l' = l + 2nh$$

$$s = \frac{l+l'}{2}h = (l+nh)h$$

$$c = l + 2\sqrt{h^2+h^2n^2} = l + 2h\sqrt{n^2+1}$$

En mettant ces valeurs dans l'équation 22°, on obtient :

$$Q = (l+nh)h\left(\sqrt{2736\,p\,\frac{(l+nh)h}{l+2h\sqrt{n^2+1}}} - 0{,}0332\right)$$

équation dans laquelle tout est connu, excepté l.

(1) Ce problème se présente assez souvent dans l'établissement des canaux collateurs.

En mettant les valeurs numériques, on a :

$$3{,}5 = (l+2\times 1{,}5)\,1{,}5\times\left(\sqrt{2736\times 0{,}0005\,\frac{(l+2\times 1{,}5)\,1{,}5}{l+2\times 1{,}5\sqrt{2^2+1}}} - 0{,}0332\right)$$

et en réduisant :

$$l^3 + 8{,}8971\,l^2 + 6{,}1381\,l - 108{,}3387 = 0$$

Si on fait $l = 3$, l'équation devient $+\ 17{,}1455 = 0$

" $l = 2$ " $-\ 52{,}4741 = 0$

" $l = 2{,}8$ " $+\ 0{,}5532 = 0$

" $l = 2{,}78$ " $-\ 1{,}0296 = 0$

" $l = 2{,}79$ " $+\ 0{,}1563 = 0$

" $l = 2{,}793$ " $-\ 0{,}0028 = 0$

Sans pousser l'approximation plus loin, on a pour la largeur cherchée $2,^{m}793$, et pour la largeur à la surface de l'eau, $6+2,^{m}793 = 8,^{m}793$.

TRENTE-CINQUIÈME PROBLÈME.

On a un canal dont la largeur au fond est de 3^{m}; *la pente* 0,001, *et les talus de* 2 *de base pour* 1 *de hauteur; il doit débiter* 8^{mmm} *par seconde; on demande quelle sera la hauteur de l'eau?*

En adoptant les mêmes dénominations que dans le problème précédent, on arrive de même à l'équation :

$$Q = (l+nh)h\left(\sqrt{2736\,p\,\frac{(l+nh)h}{l+2h\sqrt{n^2+1}}} - 0{,}0332\right)$$

dans laquelle tout est connu, excepté h.

En mettant les valeurs numériques, on a :

$$8 = (3+2\times h)h\left(\sqrt{2736\times 0{,}001\,\frac{(3+2h)h}{3+2h\sqrt{2^2+1}}} - 0{,}0332\right)$$

et en réduisant :

$$h^6 + 4{,}5007\,h^5 + 6{,}7491\,h^4 + 5{,}1095\,h^3 - 0{,}4728\,h^2 - 13{,}2993\,h - 8{,}7751 = 0$$

Equation du sixième degré qu'on résoudra en mettant différentes valeurs pour h, dans le premier membre, jusqu'à avoir une approximation suffisante.

Si on fait $h = 1$	l'équation devient	$- 4{,}1879 = 0$
$- \quad = 1{,}1$	$-$	$- 0{,}9364 = 0$
$- \quad = 1{,}12$	$-$	$+ 0{,}6302 = 0$

Si on se contente d'une approximation de quelques millimètres, on fera :

$$h = 1^m{,}11$$

Si on voulait avoir une approximation plus grande, on continuerait à donner des valeurs de plus en plus approchées à h.

TRENTE-SIXIÈME PROBLÈME.

Un canal prend son eau dans un bassin ou retenue de rivière au moyen d'une entaille rectangulaire de 4m de largeur, et dont le seuil est à 2m au-dessous de l'étiage. L'eau doit être conduite par un canal de forme rectangulaire, et également de 4m de large, à 265m de distance, sur un point qui est à 0m,44 en contre-bas de l'étiage ; on demande le volume d'eau dépensé?

Formule 22°. $Q = s\left(\sqrt{2756\,\frac{p\,s}{c}} - 0{,}0332\right)^2$

Formule 23°. $H - h = 0{,}051\,\frac{v^2}{m^2}$

Observons que le canal étant rectangulaire, si on désigne par l sa largeur, on aura :

$s = l\,h$, et $c = l + 2\,h$, et la formule 20, qui donne la vitesse, deviendra, si on néglige la fraction minime 0,0011 sous le radical :

$$v = \sqrt{2756\,\frac{p\,l\,h}{l + 2\,h}} - 0{,}0332$$

on aura donc :

$$(\alpha)\quad H - h = \frac{0{,}051}{m^2}\left(\sqrt{2756\,\frac{p\,l\,h}{l + 2\,h}} - 0{,}0332\right)^2$$

Il faut, avec ces données, trouver les valeurs de s, p et c, pour les mettre dans l'équation 22°, et avoir la valeur demandée de Q. Dans notre problème $s = 4\,h$, et $c = 4 + 2\,h$; enfin, $p = \frac{0{,}44 - (H - h)}{265}$ et comme $H = 2$, $p = \frac{h - 1{,}56}{265}$.

On voit que tout dépend de la détermination de h. Pour avoir cette valeur, on mettra dans l'équation (α) ci-dessus les valeurs que nous venons de donner, et, en prenant pour m la moyenne des coefficients d'*Eytelwein*, soit : $m = 0{,}905$, on aura, toute réduction faite :

$$h = 2 - 0{,}06224\left(\sqrt{41{,}30\,\frac{h\,(h - 1{,}56)}{4 + 2\,h}} - 0{,}0332\right)^2$$

Si on voulait résoudre l'équation par rapport à h, on arriverait à une équation du quatrième degré; mais il est aussi facile de la résoudre sous cette forme par tâtonnement.

On substitue pour h, dans le second membre, diverses valeurs, en remarquant que h ne doit être que de peu plus petit que H.

Si on fait $h = 1^m{,}90$, dans le second membre on a :

$$h = 1{,}795$$

Cette valeur mise dans le second membre donne :

$$h = 1{,}864$$

celle-ci à son tour donne :

$$h = 1{,}819$$

et ainsi de suite :

$$h = 1{,}845$$
$$h = 1{,}829$$
$$h = 1{,}841$$
$$h = 1{,}833$$
$$h = 1{,}839$$
$$h = 1{,}835$$
$$h = 1{,}837$$
$$h = 1{,}836$$

La vraie valeur de h tombant entre ces deux derniers nombres, on peut prendre $h = 1{,}836$, et la formule 22° donne $Q = 11{,}^{mmm}82$.

p serait ainsi égal à 0,00103.

TRENTE-SEPTIÈME PROBLÈME.

On a un canal qui débite 5,^{mmm}010 par seconde. Il est alimenté par une vanne noyée, dont le seuil est sur le prolongement du fond de la rivière; la hauteur d'eau dans le canal au-dessus du seuil est de 1^m,50, et dans le réservoir, de 2^m,50. On demande de combien il faudra lever la vanne qui a 3^m de large pour alimenter le canal?

Formule 24°. $m\,S'\sqrt{2\,g\,(H-h)} = Q$

$$S' = \frac{Q}{m\sqrt{2\,g\,(H-h)}}$$

En mettant les valeurs numériques, on a :

$$S' = \frac{5{,}010}{0{,}625\sqrt{19{,}6176\,(2^m{,}5 - 1^m{,}5)}} = 1^{mm}{,}332$$

$$S' = l'\,h' \text{ et } h' = \frac{S'}{l'} = \frac{1{,}332}{3} = 0^m{,}444$$

TRENTE-HUITIÈME PROBLÈME.

Quelle sera la vitesse au fond et la vitesse moyenne de l'eau d'un canal, dont la vitesse à la surface est de 0^m,871?

Pour trouver la vitesse moyenne :

Formule 26°. $u = V\,\dfrac{V + 2{,}372}{V + 3{,}153}$

et en mettant les valeurs numériques :

$u = 0{,}871\,\dfrac{0.871 + 2{,}372}{0{,}871 + 3{,}153} = 0^m{,}7019$. Par la formule de *Dubuat*, on aurait trouvé :

$u = (\sqrt{V} - 0{,}082)^2 + 0{,}00677 = 0^m{,}731$.

Pour trouver la vitesse au fond :

Formule 25°. $v = (\sqrt{V} - 0{,}165)^2$

et en mettant les valeurs numériques :

$v = (\sqrt{0{,}871} - 0{,}165)^2 = 0{,}5897$. Par la formule de *Prony*, on aurait eu $v = 0{,}5328$.

TRENTE-NEUVIÈME PROBLÈME.

Quelle sera la vitesse dans une conduite de 0^m,05 de rayon intérieur, et de 500^m de longueur, la hauteur du niveau de l'eau du réservoir au-dessus du centre de la sortie de la conduite, étant de 3^m,50?

Formule 27°. $v = 26{,}44\sqrt{\dfrac{D\,H}{L + 54\,D}}$

et en mettant les valeurs numériques :

$$V = 26{,}44\sqrt{\frac{0{,}1 \times 5{,}5}{500 \times 54 \times 0{,}1}} = 0^m{,}69537$$

QUARANTIÈME PROBLÈME.

Quelle serait la dépense de la même conduite que ci-dessus, si, au lieu de déboucher à l'air libre, elle versait son eau dans un réservoir dont la différence de niveau avec le réservoir alimentateur serait de 2^m?

Formule 28°. $Q = 26{,}44\,\dfrac{\pi}{4}\sqrt{\dfrac{D^5\,H}{L + 54\,D}}$,

et en mettant les valeurs numériques :

$$Q = 26{,}44\,\frac{3{,}1416}{4}\sqrt{\frac{0{,}1^5 \times 2}{500 + 54 \times 0{,}1}} = 0^{mmm}{,}00415$$

QUARANTE-UNIÈME PROBLÈME.

Quel serait le diamètre qu'il faudrait donner à une conduite

de 400^{m} de longueur, réunissant deux bassins dont la différence de niveau est de 2^{m}, pour qu'elle débite 0^{mmm},06 par seconde?

Formule 28°. $$Q = 26{,}44\ \frac{\pi}{4}\sqrt{\frac{D^5\,H}{L + 54\,D}}$$

En résolvant par rapport à D, on a :

$$D^5 = \frac{Q^2\,(L + 54\,D)}{451{,}39\,H}$$

équation qu'on résoudra par tâtonnement, après avoir mis les valeurs numériques des lettres, ce qui donne :

$$D^5 = \frac{0{,}06^2\,(400 + 54 \times D)}{451{,}39 \times 2}$$

Pour avoir une première approximation, on négligera le terme 54 D, généralement fort petit par rapport à L, et l'on aura :

$$D = \sqrt[5]{\frac{0{,}06^2 \times 400}{451{,}39 \times 2}} = 0{,}27832$$

Cette valeur, mise dans l'équation ci-dessus, donne :

$$0{,}00167 = 0{,}00173.$$

Cette première approximation trouvée, on pourra, par des substitutions successives, s'approcher de plus en plus de la véritable valeur de D.

QUARANTE-DEUXIÈME PROBLÈME.

Quelle sera la hauteur du niveau du bassin de réception au-dessous du niveau du réservoir supérieur, pour qu'une conduite de 0^{m},40 de diamètre, et d'une longueur de 100^{m}, débite 0^{s},1 par seconde?

Formule 29°. $$H = \frac{Q^2\,(L + 54\,D)}{451{,}39\,D^5}$$

En mettant les valeurs numériques, on a :

$$H = \frac{0{,}01\,(100 + 54 \times 0{,}40)}{451{,}39 \times (0{,}40)^5} = 0^{m},275$$

QUARANTE-TROISIÈME ET DERNIER PROBLÈME.

Un canal, dont le débit est de 3^{mmm},451, doit être complètement barré; la largeur du déversoir est fixée à 8^{m}. On demande la hauteur que l'eau aura au-dessus du déversoir?

Formule 32°. $$H = \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{1{,}8\,l}\right)^2}$$

En mettant les valeurs numériques, on a :

$$H = \sqrt[3]{\left(\frac{3{,}451}{1{,}8 \times 8}\right)^2} = 0^{m},386$$

Nous croyons devoir terminer ce chapitre, en avertissant le lecteur que toutes les formules que nous avons données, et que nous venons d'employer, donnent des approximations, mais des approximations seulement, et que, le plus souvent, les résultats pratiques s'écartent sensiblement de ceux donnés par le calcul. Cela tient à plusieurs causes, dont les principales sont : le peu d'exactitude des coefficients employés (malgré le talent des savants qui se sont occupés de leur détermination, on ne peut, réellement, avoir une pleine confiance que dans ceux donnés par *Poncelet* et *Lesbros*), et dans la difficulté d'établir des constructions parfaitement dans les mêmes conditions que celles des expérimentateurs, ou dans les conditions qu'on suppose pour arriver à une formule mathématique. Ainsi, par exemple, un déversoir est toujours supposé parfaitement horizontal, ce qui, dans la pratique, ne s'obtient presque jamais, etc. Ainsi, il est bien entendu qu'on ne doit chercher dans ces formules, que des approximations, et que lorsqu'on s'en servira dans la pratique pour déterminer les dimensions à donner à des constructions, on n'envisagera les résultats que comme des limites qu'on modifiera de manière à être sûr d'avance d'atteindre le but qu'on se propose.

CHAPITRE II.

JAUGEAGES.

On appelle jaugeage l'opération au moyen de laquelle on détermine la quantité d'eau que débite par seconde un cours d'eau ou une source.

Depuis l'introduction des nouvelles mesures, les ingénieurs adoptent pour unité le mètre cube ; ainsi, jauger un cours d'eau consiste à mesurer le nombre de mètres cubes d'eau qu'il débite par seconde.

Malheureusement, cette unité n'est pas adoptée partout, et dans le midi les irrigateurs en emploient d'autres fort mal déterminées, connues sous le nom de *meules*, *moulans*, etc.

Ces anciennes mesures sont portées, dans toutes les transactions antérieures à la loi qui rend obligatoire l'emploi du système métrique, et il serait très-important de pouvoir les définir d'une manière exacte.

Jaubert de Passa (1) qui s'est occupé avec soin de cette question, reste encore dans le vague, puisqu'il trouve dans des documents authentiques trois mesures différentes, qui, à trois diverses époques, ont servi pour fixer la meule d'eau.

Pour les dernières mesures adoptées, *Jaubert de Passa* pense qu'elles sont les suivantes :

Une meule un orifice circulaire de 0^m243 de diamètre (9 pouces, mesure catalane), sous une pression constante d'une ligne d'eau au-dessus du bord supérieur de l'orifice ; la dépense par seconde est de 56 lit. 81.

Une demi-meule, un orifice circulaire de 0^m189 de diamètre sous la même pression ; la dépense par seconde est de 28 lit. 34.

L'épaisseur de la paroi des ouvertures est de 36 à 42 lignes.

Ce savant agriculteur dit qu'on appelle *meule*, le volume d'eau nécessaire pour mettre en mouvement un moulin à farine, et il observe, avec raison, que cette détermination n'est rien moins qu'exacte, puisque la quantité d'eau nécessaire à un moulin dépend de la chute dont on dispose.

Nadault de Buffon (2) pense qu'il a fait confusion entre deux

(1) Mémoire sur les cours d'eau et les canaux d'arrosage des Pyrénées-Orientales p. 63 et suiv.

(2) Traité théorique et pratique des Irrigations, T. II, p. 104.

choses différentes, savoir : la *meule-machine* ou volume d'eau nécessaire au mouvement d'un moulin, et la *meule d'irrigation*, volume d'eau beaucoup moindre, usité dans la pratique des arrosage, spécialement dans les Pyrénées.

Il paraît, en effet, que dans les Pyrénées-Orientales on évalue la dépense d'un moulin à 300 litres par seconde, tandis que nous venons de voir que la meule d'irrigation ne représente qu'une dépense de 57 litres par seconde.

Le nom de *meule d'eau* ou d'*œil de meule* serait venu à cette dernière mesure, de ce que, depuis un temps immémorial, on a recours dans le pays pour le mesurage des eaux d'irrigation, à des vieilles meules usées et hors de service, qui sont percées au centre d'un trou circulaire de 9 pouces catalans de diamètre, trou qui sert d'orifice pour l'écoulement de l'eau.

La même incertitude existe pour la détermination du *moulin d'eau*, mesure usitée dans la Provence et le Dauphiné. Dans le canal des Alpines, le moulan représente, d'après le président *Coppeau*, un débit de 265 litres par seconde.

Nadault de Buffon pense que l'unité qu'on devrait adopter, serait un demi-hectolitre par seconde.

Il existe, enfin, une ancienne mesure qui a été, depuis longtemps, généralement adoptée, c'est le pouce d'eau ou le pouce de fontainier.

C'est l'eau qui s'écoule par un orifice circulaire d'un pouce (pied-de-roi), ouvert en mince paroi, et sous une charge d'une ligne d'eau au-dessus du sommet de l'orifice.

Le produit correspondant à un pouce de fontainier est :

en 24 heures de	$19^{mmm},1953$,	
en 1 heure de	0,	7998,
en 1 minute de	0,	01333,
en 1 seconde de	0,	0002222.

La ligne d'eau serait la 144e partie du pouce.

Le point d'eau la 144e partie de la ligne (1).

(1) C'est ainsi que *Morin*, dans son Aide-Mémoire, définit le pouce de fontainier, mais dans la pratique, il y avait beaucoup de vague dans cette mesure aussi, car l'orifice n'était pas toujours percé en mince paroi, et car il avait même quelquefois un ajutage cylindrique d'un pouce de longueur.

D'après *Mariotte* (Traité du mouvement des eaux, p. 260), la dépense d'un pouce d'eau en 24 heures est de $19^{mmm},7437$.

D'après *Couplet* (Mémoires de l'Académie des Sciences, année 1732), elle est de $18^{mmm},2804$.

Enfin, d'après *Bossut* (Hydrodynamique, T. II, p. 30), elle est seulement de $17^{mmm},9388$.

Quant aux lignes et aux points d'eau, leur valeur est loin d'être proportionnelle au

Il n'est maintenant plus permis de se servir, dans la mesure des eaux, que du mètre cube ou du litre ; aussi nous n'employons jamais les anciennes mesures dont nous venons de parler.

Le jaugeage des eaux courantes est une opération délicate et difficile, qui ne peut malheureusement donner que des approximations, quelques soins qu'on y apporte. Nous allons indiquer d'abord les causes générales qui peuvent modifier les résultats, et nous exposerons ensuite celles qui sont particulières à chaque méthode de jaugeage.

Les petits cours d'eau ont presque toujours des usines, des moulins qui en changent complètement le régime. Il faut que tous ces moulins marchent, ou soient arrêtés ensemble depuis assez longtemps, sur tout le cours en amont du ruisseau, pour qu'on puisse procéder à un jaugeage exact, après que l'écoulement se sera établi d'une manière régulière (1). Il est, en effet, évident que les moulins qui retiennent l'eau pour remplir leur bief de retenue, diminuent la quantité d'eau qui coule dans la rivière, et que ceux qui marchent, en débitant l'eau accumulée, augmentent son débit.

Cette condition, d'avoir toutes les usines en repos ou en marche simultanément, s'obtient fort difficilement lorsqu'on travaille pour le gouvernement ; il ne faut pas y songer lorsqu'on jauge dans l'intérêt des particuliers.

Une rivière est rarement dans un état stable; son débit ou augmente ou diminue, et comme le jaugeage est fait en vue d'une stabilité qui n'existe pas, il se trouve qu'on fait des erreurs qu'on ne peut pas apprécier. Sur la Moselle, dans le département du même nom, on n'aurait eu un écoulement sensiblement uniforme en 1834, qu'aux deux époques auxquelles la rivière était à l'étiage, soit du 15 au 27 juillet, et du 20 septembre au 20 octobre (2).

Il est aussi à observer que lorsque la rivière croît, il se perd beaucoup d'eau en infiltrations dans la partie du périmètre mouillé qui se trouve nouvellement couverte, tandis que, lorsqu'elle décroît, ces pertes n'ont plus lieu que sur

carré des diamètres, puisqu'on les établissait avec leur centre sous une charge constante, qui était comme celle des pouces d'eau de 7 lignes. (*Belidor*, Architecture hydraulique, T. II, p. 368.)

(1) Voyez, pour les difficultés de ce genre, le bel ouvrage qu'a publié sur le canal de l'Ourcq l'ingénieur *Girard*.

(2) Cours de construction des ouvrages qui établissent la navigation des rivières et des canaux, par *Minard*, inspecteur divisionnaire des ponts-et-chaussées, p. 37.

une bien moindre échelle, quoique la hauteur de l'eau soit la même à l'instant du jaugeage.

Passons maintenant aux différentes méthodes de jaugeages qu'on peut employer suivant les cas qui se présentent dans la pratique.

Pour les canaux et aqueducs réguliers, on peut mesurer leur pente, leur section et leur périmètre mouillé, et déterminer la dépense au moyen de la formule 22°, *page* 466 :

$$Q = s\left(\sqrt{2736\,\frac{p\,s}{l}} - 0{,}0332\right)$$

C'est ce que nous appellerions volontiers un jaugeage *a priori*.

Dans ce cas, il faut observer qu'on suppose la section et le périmètre mouillé constants, et la pente uniforme sur une certaine longueur, ce qui n'a réellement lieu que pour les aqueducs en maçonnerie ou taillés dans le roc. Dans les canaux en terre, le fond est presque toujours envahi par les herbes aquatiques, qui augmentent de beaucoup le périmètre mouillé, ce qui fait que le débit du canal peut être en réalité beaucoup moindre que celui donné par la formule.

On peut, pour jauger les canaux, déterminer par expérience, comme nous le verrons bientôt, la vitesse moyenne et mesurer la section ; le produit de ces deux quantités donnera le débit.

On peut, enfin, barrer le canal, forcer l'eau à s'écouler par un déversoir, et calculer alors le débit au moyen de la formule 8°, *page* 457. $Q = m\,L\,H\sqrt{2\,g\,H}$. Nous verrons bientôt, en traitant du jaugeage des rivières, les soins qu'il faut apporter à la construction de ces déversoirs.

Dans les petits cours d'eau provenant de sources, on a généralement l'avantage de ne pas rencontrer des usines supérieures qui en changent le régime. La méthode la plus exacte pour les jauger, consiste à creuser un réservoir dans lequel on les fait couler pendant un certain temps et à calculer directement la quantité d'eau qui s'est écoulée ; à diviser enfin cette quantité par le nombre de secondes qu'a duré l'écoulement, et à prendre le quotient pour la dépense par seconde du cours d'eau.

Cette méthode, la plus exacte de toutes, ne laisse pas dans

la pratique de présenter de la difficulté pour être bien appliquée.

Il faut, en effet, avoir une chute pour pouvoir facilement faire écouler, sans entrave, l'eau du ruisseau dans le réservoir. Il faut barrer le cours d'eau et avoir un orifice identique pour l'écoulement dans le lit et pour l'écoulement dans le réservoir. Si le seuil des deux orifices n'était pas parfaitement au même niveau, et si leur largeur n'était pas la même, on commettrait de graves erreurs. Il faut pouvoir fermer l'orifice qui verse l'eau dans le lit au même instant qu'on ouvre celui qui la verse dans le réservoir. Toutes ces causes d'erreur seront d'autant moindres que le bassin sera plus grand, et qu'il faudra plus longtemps pour le remplir. Il faut, en outre, que le bassin soit parfaitement étanche, ce qu'on n'obtient qu'avec un revêtement en maçonnerie ou en charpente, et qu'il soit d'une forme régulière, pour qu'on puisse exactement cuber l'eau qu'il aura reçue dans un temps donné.

Quoi que l'on fasse, si le réservoir est prismatique, dans la première seconde l'eau montera toujours un peu moins que dans la deuxième.

Nous avons toujours fait cette remarque lorsque nous avons jaugé des petits cours d'eau avec cette méthode, et nous l'attribuons au petit changement de direction inévitable que doivent subir les molécules fluides pour passer par deux orifices différents.

Il est évident qu'il ne faut commencer l'opération, que lorsque l'eau barrée aura pris un régime régulier.

Cette méthode n'est plus applicable lorsque le cours d'eau est assez considérable, aussi devient-il plus difficile de le jauger exactement.

Le second moyen de jauger les petits cours d'eau, qui nous paraît, après celui-ci, mieux remplir les conditions d'exactitude, consiste à barrer le ruisseau et faire passer l'eau sur un déversoir; on calcule alors la dépense avec la formule 8°, *page* 457, $Q = m\,L\,H\sqrt{2g\,H}$. Il faut avoir beaucoup de soins, dans cette opération, pour arriver à des résultats exacts. Voici comment s'exprime, sur ce sujet, d'*Aubuisson* (1):

« On choisira un lieu où l'opération puisse être convenablement faite : par exemple, un resserrement du lit où les berges sont peu inclinées.

(1) Traité d'Hydraulique, p. 54.

« On verra, par aperçu, quelles doivent être les dimensions de la cloison de barrage, et du déversoir qui doit y être pratiqué. Le seuil devra en être à une hauteur au-dessus du fond du lit, un peu supérieur à la profondeur du courant dans cette partie, avant le barrage, afin que l'eau, après son déversement, ne reflue pas jusqu'au seuil. Entre les bords latéraux du déversoir et les berges, il conviendra de laisser, de chaque côté, une portion de cloison ayant de deux à trois décimètres de large.

« Lorsque la cloison sera faite et que le lit sera disposé pour la recevoir, on l'établira; on bouchera les joints avec de la mousse, des étoupes, du suif, etc.; on fermera les issues par lesquelles l'eau passe, sur le fond et sur les côtés, avec des gazons, de l'argile, des mottes de terre, de manière que le barrage soit bien étanche pendant l'opération du jaugeage, et pendant le peu de temps qu'il a fallu avant que le régime propre au nouvel état de choses fût bien établi.

« Quand il l'est, que l'écoulement est stable, on détermine H, ou la hauteur de la surface du courant au-dessus du seuil. A cet effet, je remarquerai que l'eau se tient contre les portions de la cloison comprises entre les berges et les bords du déversoir, à très-peu près au même niveau qu'en amont du déversoir, avant que le fluide commence à s'infléchir vers lui.

« En conséquence, sur chacune de ces deux portions, on prendra un point de la ligne de flottaison; de l'un à l'autre on tendra un cordon, et sa distance verticale au seuil sera H. On la prendra au milieu pour atténuer l'erreur qui pourrait résulter du défaut de sa parfaite horizontalité. »

Nous n'ajouterons que peu de chose à ce qu'a dit le savant hydraulicien. Il est à désirer que le barrage se trouve sur une partie étroite du lit qui succède à un grand élargissement, de manière à former une espèce de réservoir où l'eau se trouve sensiblement immobile. Si l'eau arrivait au déversoir avec une vitesse acquise, on aurait, il est vrai, la formule 9°, *page* 460, $Q = 1{,}78\,L\,H\sqrt{H + 0{,}1\,v^2}$ pour calculer la dépense; mais les causes d'erreur seraient plus grandes, et il est souvent difficile de bien mesurer la vitesse moyenne, comme nous le verrons bientôt, particulièrement aux abords d'un barrage, où la vitesse au fond est toujours minime, et quelquefois même négative.

Il faut que l'épaisseur du déversoir soit telle que la contrac-

tion ait lieu, et que l'eau en aval du barrage se trouve au moins de $0^m,20$ plus basse qu'en amont, pour que l'écoulement ait réellement lieu à l'air libre.

On pourra quelquefois profiter des barrages établis pour les usines; mais, comme il est très-rare qu'ils aient leur seuil parfaitement de niveau, il faudra presque toujours y ajouter, ou une planche, ou des liteaux, qui forment un nouveau seuil bien de niveau.

Il est, du reste, fort rare aussi que l'eau n'arrive pas à ces déversoirs avec une certaine vitesse, ce qu'il faut éviter.

Enfin, les formules ne seraient plus applicables si les déversoirs n'étaient pas pratiqués dans une paroi plane.

Lorsqu'on établit un nouveau déversoir, ou lorsqu'on exhausse un déversoir existant, on ne doit procéder au jaugeage qu'après un temps assez long; car les infiltrations qui ont lieu diminuent le débit, jusqu'à ce que la terre se soit gorgée d'eau, et on pourrait commettre ainsi des erreurs considérables.

On se sert aussi, pour jauger les petits cours d'eau, des vannes et buses des usines; ce moyen donne des résultats moins satisfaisants que les précédents; car, d'un côté, la plupart des usines et moulins épars dans les campagnes sont construits sans soin et laissent perdre beaucoup d'eau, ce qui fait qu'il est fort difficile de parvenir à faire passer toute l'eau par l'ouverture de la vanne; et, d'un autre côté, les bords des vannes ne peuvent généralement pas être pris pour des minces parois, ce qui laisse beaucoup d'incertitude dans la détermination de la valeur qu'il faut appliquer au coefficient pratique m, qui entre dans les formules que nous avons données au chapitre précédent, et qui trouveraient ici leur application (1).

Une autre grande cause d'erreur consiste en ce que l'on ne peut à peu près jamais parvenir à ouvrir la vanne juste, de manière à ce que le niveau du bief supérieur de retenue se trouve stable; il monte ou il descend pendant l'opération, et dans le premier cas, la vanne dépense moins d'eau que n'en fournit le ruisseau; dans le second cas, elle en dépense plus.

Morin, dans son Aide-Mémoire, donne une formule pour déterminer le débit lorsque le bief supérieur se vide.

(1) J'ai dû, par ordre supérieur, employer cette méthode de jaugeage pour mesurer le débit de la Saudre et de ses affluents, lorsque j'étais, en 1848, chargé des travaux du canal de la Saudre, et j'ai rencontré tant de difficultés et de causes d'erreur, que j'ai moi-même bien peu de confiance dans le résultat de mes opérations.

Voici comment s'exprime ce savant :

« Il est souvent fort long de régler l'ouverture d'un orifice, de façon que toute l'eau fournie par le cours d'eau s'écoulant, le niveau reste constant, ce qui permet de jauger la source par les formules des orifices ouverts dans des réservoirs entretenus constamment pleins. Lorsqu'on ne pourra attendre que le régime soit ainsi établi, on procédera ainsi qu'il suit :

» On lèvera la vanne d'une quantité telle que le volume d'eau écoulé dans chaque seconde étant plus grand que le produit de la source, le niveau s'abaisse. On observera les hauteurs successives de ce niveau, correspondantes à des intervalles de temps égaux, et l'on calculera le volume d'eau écoulé pendant le temps total de l'abaissement. (On aura recours pour calculer ce volume à la formule 15°, que nous avons donnée *page* 462.)

» Puis on fermera brusquement l'orifice, et on observera le temps nécessaire pour que le niveau revienne à la même hauteur qu'au commencement de l'opération.

» Cela fait, appelons :

Q le volume d'eau écoulé pendant tout le temps de l'ouverture de l'orifice;

t la durée en secondes de cette période de l'écoulement;

t' le temps en secondes que le niveau a employé à revenir à sa hauteur primitive;

X le produit de la source en une seconde;

On aura :

$$X = \frac{Q}{t + t'}$$

Nous donnons cette formule, en conseillant de ne l'employer que faute de mieux, car les causes d'erreur y sont fort multipliées.

Les anciens fontainiers avaient une méthode spéciale de jauger les petits cours d'eaux. Ils les barraient avec une planche percée d'un certain nombre de trous d'un pouce de diamètre, qu'on fermait avec des bouchons.

Les centres de ces orifices se trouvaient sur une même ligne droite, qu'on avait soin, en établissant le barrage, de mettre horizontale. Ils ouvraient ensuite autant de trous qu'il le fallait pour que la surface de l'eau en amont se tînt à 7 lignes au-dessus des centres des orifices, et le nombre de

trous débouchés donnait le nombre de pouces d'eau que le ruisseau débitait. On voit combien cette méthode était vicieuse, puisqu'elle ne tenait aucun compte de la vitesse avec laquelle l'eau arrivait aux orifices, et de l'inflexion de la surface de l'eau à l'approche de ces mêmes orifices.

La même planche, servant de déversoir, donnerait des résultats bien plus exacts.

Dans toutes ces méthodes de jaugeage, on mesure la quantité d'eau dépensée en un temps donné, sans s'occuper de la vitesse du courant; elles sont les plus exactes, mais on ne peut presque jamais les appliquer au jaugeage des cours d'eau considérables. Il faut alors mesurer la vitesse et la section pour avoir la dépense, en multipliant l'une par l'autre ces quantités.

Nous devons entrer dans quelques détails sur le moyen de prendre ces mesures le plus exactement possible, et sur les instruments qu'on y emploie.

Nous avons vu que la vitesse d'un courant était différente pour chaque filet. Pour avoir donc la vitesse moyenne d'une manière tout-à-fait exacte, il faudrait, pour ainsi dire, mesurer directement la vitesse de chaque filet séparément, et en prendre la moyenne. Mais on voit de suite qu'il est impossible d'en arriver là dans la pratique; on se contente donc d'approximations plus ou moins exactes.

Quelquefois on mesure la vitesse à la surface, dans l'endroit où elle est la plus forte, qui correspond presque toujours au thalweg, et on calcule la vitesse moyenne au moyen des formules 25e et 26e, *page* 469.

Les instruments qui servent à mesurer la vitesse à la surface, sont des flotteurs.

On les fait ordinairement en bois, d'une pesanteur spécifique de peu inférieure à celle de l'eau, de manière à ce qu'ils s'y enfoncent presque entièrement. Il est nécessaire d'en agir ainsi, car si le flotteur avait une partie considérable au-dessus de l'eau, sa vitesse ne serait plus celle de l'eau, modifiée qu'elle serait par l'action de l'air, et, plus encore, par l'action de la pesanteur qui tend à l'augmenter.

On peut, avec avantage, remplacer les flotteurs en bois par des boules de métal creuses, qu'on leste convenablement avec du plomb de chasse.

Pour avoir la vitesse de l'eau au moyen de flotteurs qui en prennent la vitesse, on compte le nombre de secondes qu'ils emploient à parcourir une distance préalablement mesurée. On les place sur le plus fort du courant, assez en amont du point où l'on commence à compter le nombre de secondes dans lequel est parcouru l'espace mesuré, pour qu'en y arrivant ils aient bien acquis la vitesse du fluide circonvoisin.

Il est à remarquer que ces flotteurs tendent à se porter là où le courant est le plus fort, et, qu'en arrivant à l'espace mesuré, ils se trouveront ainsi tout naturellement dans le plus fort du courant.

Il est bon de tendre transversalement au-dessus du cours d'eau deux ficelles, pour bien limiter l'espace mesuré, et pour bien fixer le moment où les flotteurs y entrent et en sortent.

Il faudra toujours répéter l'opération au moins trois fois pour prendre la moyenne, et atténuer ainsi les erreurs qu'on peut commettre.

Il serait inutile de vouloir employer ces flotteurs pour déterminer la vitesse de tout autre filet que celui allant le plus vite, car ils ne suivraient pas sa direction. On voit donc qu'on ne peut pas les employer pour les filets compris entre le thalweg et les bords.

Il ne faut pas, enfin, employer les flotteurs pour mesurer des vitesses très-grandes, comme celles qui auraient lieu dans des cours d'eau ayant des pentes de plusieurs millimètres par mètre; car alors la vitesse donnée par le flotteur serait plus grande que celle de l'eau (1).

Pour déterminer la vitesse en un point quelconque de la surface d'un cours d'eau, *Dubuat* s'est servi avec avantage d'une petite roue à aubes, faite d'un bois très-léger, et très-mobile sur son axe. Cet instrument est représenté (*fig* 169) avec les dimensions que lui avait données le célèbre hydraulicien (2); il ne pesait en tout que $0^k,69$.

En établissant cette roue sur le courant, de manière qu'une aube plonge juste dans le fluide, son centre de percussion en prendra à très-peu près la vitesse; et, en connaissant sa distance du centre, ou, ce qui revient au même, la longueur développée de la circonférence qu'il décrit, on aura, en comptant le nombre de tours que la roue fait en un temps donné,

(1) *Venturoli*, Elementi di meccanica e idraulica, vol. II, p. 215.
(2) *Dubuat*, Hydraul., § 441.

le chemin qu'une molécule d'eau a parcouru dans le même temps; ce qui fournira sa vitesse (1).

Les autres instruments dont nous allons parler servent à mesurer la vitesse dans un point quelconque du courant, soit à la surface, soit à une profondeur plus ou moins grande. Si on se contente de déterminer la vitesse à la surface, on aura recours aux mêmes formules que ci-dessus pour avoir la vitesse moyenne; dans le cas contraire, on déterminera la vitesse sur un certain nombre de points verticalement placés les uns au-dessous des autres, pour plusieurs sections longitudinales du courant, et on prendra une moyenne arithmétique, qui sera une approximation de la vitesse moyenne cherchée, d'autant plus exacte qu'on aura mesuré la vitesse réelle d'un plus grand nombre de filets, et que ces filets seront plus régulièrement répartis sur la surface totale de la section du cours d'eau.

Le pendule hydrométrique est une sphère d'ivoire ou de métal creux, suspendue à un fil très-fin, dont l'extrémité est fixée au centre d'un quart de cercle gradué (*fig.* 170). On établit cet appareil au-dessus du point dont on veut avoir la vitesse, et on l'abaisse jusqu'à ce que la boule se trouve à la profondeur du filet sur lequel on veut expérimenter. Le courant l'entraîne, le fil prend une direction inclinée, et on a la vitesse cherchée en multiplant la racine carrée de la tangente de l'angle d'inclinaison par un nombre constant, de manière qu'on aura :

$$V = n\sqrt{\text{tang. } i}$$

V est la vitesse cherchée,

i, l'angle d'inclinaison,

n, un nombre constant qu'on déterminera par expérience, pour une boule et une longueur de fil données.

(1) Pour déterminer la position du centre de percussion, on aurait la formule :

$$\delta = \frac{I}{MD}$$

dans laquelle :

δ est la distance entre le centre de percussion de la palette et l'axe de rotation,

I le moment d'inertie du corps,

M sa masse,

D la distance du centre de gravité du corps à l'axe.

Dans notre petite machine, toutes ces quantités seraient fort difficiles à évaluer d'une manière exacte; aussi on peut, sans erreur sensible, supposer le centre de percussion au milieu de l'aube.

Ce pendule peut être utilement employé pour mesurer la vitesse à la surface ou près de la surface; mais lorsqu'on l'emploie à une certaine profondeur, le fil qui est submergé se courbe, et l'axe donné par le fil sur le quart de cercle, ne correspond plus à l'angle qu'on cherche.

Venturoli (1) propose, dans ce cas, de mesurer la vitesse au moyen du poids capable de soutenir la boule exposée au courant (*fig.* 171). On fera alors passer le fil sur une poulie très-mobile, et on suspendra à son extrémité un poids capable de tenir la boule en équilibre. On aura la vitesse au moyen de l'équation :

$$V = \sqrt{\frac{1}{m}\sqrt{(T^2 - P^2)}}$$

dans laquelle :

V est la vitesse cherchée;

m, coefficient à déterminer par expérience;

T, poids qui fait équilibre à la boule entraînée par le courant;

P, le poids de la boule dans l'eau, soit son poids réel diminué du poids d'un volume d'eau égal au sien.

Si la pente du courant était assez forte, on emploierait la formule :

$$T^2 = P^2 + 2\,P\,m\,V^2 \cos.\,\alpha + m^2 V^4$$

dans laquelle les lettres ont même valeur que dans la précédente, et α est l'angle que la surface du courant, dans sa section longitudinale, fait avec la verticale.

Le tube de *Pitot*, *fig.* 173, ainsi nommé, car c'est *Pitot* qui le premier en fit usage (2), est un tube recourbé par le bout inférieur. On l'enfonce dans l'eau jusqu'à ce que l'orifice du bout recourbé, tourné contre le courant, vers l'amont, soit au niveau de la veine dont on veut avoir la viteese. La force du courant presse l'eau dans le tube et la fait remonter dans la branche verticale. On regardait d'abord la hauteur à laquelle elle s'élevait au-dessus de la surface du cours d'eau comme la hauteur due à la vitesse du courant.

Dubuat a démontré que les choses ne sont pas telles qu'on le supposait (3); et malgré les modifications apportées dans

(1) Elementi di meccanica e d'idraulica, vol. II, p. 228.

(2) Mémoires de l'Académie des Sciences, année 1732.

(3) Hydraulique, § 572.

sa construction par *Michelotti*, cet instrument n'est plus guère usité, quoiqu'il soit d'une grande simplicité, car les vitesses qu'on en déduit sont loin d'être exactes (1).

Brünings, dans ses expériences sur le Rhin, a employé un instrument de son invention, qu'il a nommé *Tachomètre*.

Cet instrument (*Voyez fig.* 172) consiste en une plaque fixée à plat sur l'extrémité d'une tige qui se meut horizontalement dans une douille fixée à un arbre vertical. On place l'arbre verticalement en l'appuyant ou l'enfonçant dans le fond du lit du cours d'eau, de manière que la plaque reçoive le choc du courant. L'extrémité de la tige est recourbée et garnie d'un anneau, auquel on attache un cordon qui, après avoir passé par une poulie, monte verticalement et vient s'attacher au petit bras d'une romaine fixée sur l'extrémité supérieure de l'arbre vertical. Lorsque le tachomètre est convenablement placé, pour la détermination à laquelle on veut le faire servir, le courant agit sur la plaque, et il tend à pousser la tige dans sa douille. On place alors le poids mobile de la romaine, de manière à faire équilibre à l'effort du courant, et le poids qu'il faut pour établir l'équilibre est égal à une colonne d'eau ayant la surface de la plaque pour base, et pour hauteur la hauteur due à la vitesse de l'eau. Dans la pratique il faut tenir compte des petits frottements qu'on déterminera expérimentalement pour chaque tachomètre. Il est assez difficile de placer cet instrument de manière que la plaque ait sa surface exactement perpendiculaire à la direction du courant.

Le moulinet hydrométique de *Wattmann* est généralement préféré aux instruments précédents. Voici la description qu'en donne *D'Aubuisson* (2) :

« Il présente un arbre tournant qui porte quatre petites ailes disposées comme celles d'un moulin à vent. Le courant les fait tourner; et du nombre de révolutions faites en un certain temps, lequel est indiqué par l'instrument même, on conclut directement la vitesse.

» En effet, abstraction faite de la petite résistance due au frottement de l'arbre sur ses supports, la vitesse du courant

(1) Voici comment cet instrument est jugé par le savant *Navier* (Résumé des leçons données à l'École des ponts-et-chaussées, T. II, p. 152) :

« On omet à dessein ici de faire mention du tube de Pitot, instrument fondé sur des principes inexacts, comme on l'a reconnu par une étude approfondie de la résistance des fluides. » (Voyez *les Notes du premier volume de l'Architecture hydraulique de Bélidor*, p. 357 et 361.)

(2) Traité d'Hydraulique, p. 146.

est proportionnelle à celle des ailes, et celle-ci l'est au nombre n de tours faits dans l'unité de temps, ou, ce qui revient au même, au nombre N fait dans un temps T, et divisé par ce temps; de sorte, qu'on a :

$$v = \alpha\, n = \alpha\, \frac{N}{T}$$

α étant un coefficient constant pour un même moulinet, et à déterminer par l'expérience.

» A cet effet on place le moulinet dans un courant dont la vitesse a été déterminée par un autre moyen; on prend le nombre de tours qu'il y fait pendant un certain temps, on divise ce nombre par ce temps, ou divise encore la vitesse par le quotient qu'on vient d'obtenir, et l'on a α . . . .

. . . . . .

» L'utilité dont cet instrument peut être, me porte à faire connaître la disposition et les dimensions de ses parties principales, que la *fig.* 176 représente, d'ailleurs, à moitié de leur grandeur naturelle. Les ailettes, au nombre de quatre, sont de minces plaques de cuivre carrées de $0^{m}025$ de côté, et dont le milieu est à $0^{m},05$ de l'axe de rotation; leur plan fait un angle de 45° avec cet axe. Pour les petites vitesses, où il faut un instrument plus sensible, on double et le côté des ailes et leur distance à l'arbre tournant. On a ainsi deux assortiments d'ailes, et l'on monte sur cet arbre celui qui est le plus convenable à l'opération qu'on se propose de faire.

» Les roues dentées ont chacune 80 dents, et le pignon qui transmet le mouvement de l'une à l'autre, n'en a que 5, de sorte qu'elles peuvent indiquer jusqu'à 500 tours. Elles sont portées sur un châssis mobile, autour d'une de ses extrémités, et qu'un ressort à boudin tient éloigné de l'arbre tournant. Sur cet arbre, comme sur une vis sans fin, est une courte hélice, dans le pas de laquelle s'engrènent les dents des roues, lorsqu'elles sont suffisamment rapprochées; ce rapprochement s'effectue en tirant de bas en haut, à l'aide d'un cordon, l'extrémité mobile du châssis.

» Lorsqu'on veut opérer, on commence par faire en sorte que les parties tournantes de l'instrument aient toute la mobilité possible, et on place le zéro du numéro des dents de chacune des deux roues, vis-à-vis l'index respectif fixé au limbe. Puis l'on introduit une perche de bois, ou mieux une tige de fer, dans la douille du moulinet, que l'on y fixe à un

point dépendant de la profondeur où l'on veut avoir la vitesse. Si cette profondeur est petite, on place et assujettit la tige à quelques mètres en avant de l'extrémité antérieure d'une nacelle, que l'on amarre au lieu de l'opération. Pour les grandes profondeurs, on se sert de deux bateaux, que l'on joint par de forts madriers allant de l'un à l'autre, et c'est sur ce ponton que l'on s'établit; on le conduit et on le fixe au point voulu, et puis on descend la barre portant le moulinet, jusqu'à ce que son extrémité soit au fond de la rivière. Lorsque tout est prêt, une personne, au signal donné par celui qui doit compter le temps, tire le cordon du châssis portant les roues dentées, et elle les tient ainsi pressées contre l'arbre tournant, lequel leur communique alors le mouvement. A un second signal, on lâche le cordon; le ressort à boudin repousse le châssis, l'engrenage cesse et les roues s'arrêtent. On retire l'instrument de l'eau, et on lit, vis-à-vis de l'index, le nombre de tours faits par le moulinet dans l'intervalle de temps qui s'est écoulé entre les deux signaux; ce nombre, divisé par ce temps et multiplié par le coefficient propre au moulinet, est la vitesse cherchée. »

Nous n'ajouterons rien à cette description parfaitement claire, mais nous observerons que si, en tirant le cordon, on peut faire appuyer aussi fortement qu'on le veut les roues dentées sur la vis sans fin, le mouvement du moulinet doit en être plus ou moins ralenti. Nous pensons donc qu'il doit y avoir une dent pour arrêter le châssis de manière que les roues dentées pressent la vis toujours de la même manière.

Girouette hydrométrique. L'abbé *Ximenes* a employé, sur l'Arne, un instrument qu'il a appelé *Ventola* (1). Il consiste (*Voyez fig.* 173) en une tige verticale mobile sur deux pivots, qu'on place dans le courant dont on veut avoir la vitesse. A cette tige est fixée perpendiculairement, sur un de ses côtés, une plaque rectangulaire qui présente sa surface au choc du courant. Par son moyen le courant tend à faire tourner la tige verticale sur ses pivots; mais sur la même tige est un petit tour sur lequel s'enroule un cordon qui passe par une poulie, et auquel on suspend un poids capable de tenir la plaque en équilibre perpendiculairement au courant; le moment de la résistance devant être égal au moment du poids, on peut déduire de ce dernier la vitesse du courant.

Il nous reste à parler de deux instruments fréquemment

(1) *Ximenes*, Nuove sperienze idrauliche Siena, 1780.

employés en Italie, et nous ne croyons pas pouvoir mieux faire que de prendre pour guide la description qu'en donne *Venturoli*, dans ses éléments de mécanique et d'hydraulique.

Flotteur composé. Cet instrument se compose de deux boules (*fig.* 174) réunies par un fil; la première, plus légère que l'eau, et la seconde plus lourde. Il faut que leurs poids soient tellement proportionnés que lorsque l'instrument est dans l'eau, la boule supérieure soit à peu près entièrement submergée (1). Le système des deux boules prend bientôt un mouvement uniforme. On mesurera sa vitesse en même temps qu'on mesurera la vitesse avec un flotteur simple et de la même manière.

$$\text{La formule } c = \frac{AV + Bv}{A + B},$$

dans laquelle :

c est la vitesse du flotteur composé;
A le diamètre de la boule supérieure;
B le diamètre de la boule inférieure;
V la vitesse de l'eau à la surface où se meut la boule A;
v la vitesse du filet dans lequel se meut la boule B;

nous donnera la vitesse du filet dans lequel se meut la boule inférieure; et en faisant varier la longueur du fil qui réunit les deux boules, on pourra avoir ainsi la vitesse aux différentes profondeurs. Cet instrument très-simple a un défaut qui consiste en ce que le fil qui réunit les deux boules ne se tient pas suivant la verticale, comme le suppose la formule que nous avons donnée; aussi nous ne conseillons pas de l'employer, à moins qu'une grande différence entre le poids spécifique des boules ne fasse que le fil se tienne sensiblement droit sur un plan vertical, et que les trois vitesses ne diffèrent pas beaucoup entre elles.

Les tiges hydrométriques (*Aste ritrométriche*). Ce sont des baguettes qu'on arrange de manière à ce qu'elles se tiennent verticalement dans l'eau tranquille, et aussi près que possible de la verticale dans l'eau courante. On prend pour cela une seule gaule, ce qui est préférable, ou un faisceau de gaules du bois le plus léger possible, et on adapte à l'extrémité inférieure un petit cylindre en fer blanc qu'on leste convenablement avec du plomb de chasse. Il peut être convenable de mettre à la partie supérieure une petite rondelle en liége qui

(1) *Brunacci*, Nuz. italiano, T. I, parte II.

entre à frottement, mais qui, en tous cas, doit être placée de manière à se trouver entièrement couverte par l'eau (1). La longueur de la tige doit être calculée de manière à ce que son extrémité inférieure se trouve dans l'espace qu'elle doit parcourir, aussi près du fond de la rivière que possible, sans pourtant jamais le toucher. Cela fait, on se sert de cette tige comme d'un flotteur composé, et sa vitesse donne, approximativement, la vitesse moyenne de la section verticale dans laquelle elle se meut. Nous disons approximativement, car pour qu'elle fût exacte, il faudrait que l'équation, qui donne les différentes vitesses verticales, fût celle d'une ligne droite (2). *Venturoli* donne des fourmules pour calculer plus exactement cette vitesse moyenne ; mais comme il faudrait mesurer, pour les résoudre, l'inclinaison de la tige en mouvement avec la verticale, mesure à peu près impossible à prendre exactement dans la pratique, nous croyons inutile de les rapporter ici. En tout cas, les tiges hydrométriques donnent des approximations assez satisfaisantes, et sont d'un emploi très-facile.

Pour s'en servir on mesure une longueur du cours d'eau d'une section régulière et constante autant que possible, et on la limite par deux cordeaux, tendus comme nous l'avons dit en parlant des flotteurs simples. Le cordon d'amont est assez élevé pour laisser passer les tiges qui sortent de l'eau de 4 ou 5 centimètres, et qui sont terminées par quatre crochets en fil-de-fer, ayant la forme d'une ancre renversée; ces crochets servent à l'accrocher au cordeau d'aval à la fin de sa carrière. Il est facile de voir qu'il faut, en tout le reste, agir comme pour les flotteurs simples, c'est-à-dire qu'il faut les mettre dans l'eau assez en amont du premier cordeau pour qu'en y arrivant, elles aient bien pris la vitesse moyenne du courant, et qu'il faut, avec une montre à secondes indépendantes, bien mesurer le temps qu'elles mettent à parcourir l'espace mesuré. L'espace divisé par le temps donnera la vitesse moyenne cherchée.

Nous ne nous arrêterons pas aux moyens de bien lever la section, il faut un nivellement soigné, en prenant des points d'autant plus rapprochés, que le lit sera moins régulier ; mais nous devons avertir qu'il faut aussi niveler la surface de l'eau, car il n'est pas très-rare qu'elle ne se trouve pas au même

(1) La f. 175 donne les détails de celles que nous avons employées pour le jaugeage de la Saudre, en 1846.

(2) *Venturoli*, Elementi, etc., p. 221.

niveau sur les deux rives, et il y a toujours un gonflement au milieu qui correspond à peu près au thalweg (1).

Il devient maintenant fort facile d'expliquer la manière de faire les jaugeages des rivières, en employant la vitesse moyenne pour déterminer l'eau dépensée.

On mesurera la vitesse moyenne par un des procédés que nous venons d'expliquer, et on la multipliera par la section, le produit représentera la dépense.

Dans la pratique, il faut avoir égard à plusieurs considérations pour ne pas tomber dans de graves erreurs.

On choisira pour opérer, un endroit où le cours de la rivière soit sensiblement rectiligne, et où il soit assez éloigné des coudes, soit en amont soit en aval; on choisira également l'endroit où le lit sera le plus régulier possible pour pouvoir, sans grande erreur, avoir la section moyenne du courant. On sera à peu près toujours forcé de lever plusieurs sections à des distances égales, pour en avoir la moyenne, et de chercher la vitesse moyenne entre la première et la dernière section qu'on aura levées.

Il faudra choisir un jour calme pour ces opérations, car le vent peut modifier la vitesse de l'eau et celle des flotteurs.

Enfin, on ne saurait assez mettre d'exactitude dans toutes les opérations, si on veut arriver à un résultat tant soit peu satisfaisant. Malgré tout cela, nous le répétons, les jaugeages des rivières ne donnent que des approximations, qui peuvent souvent être assez différentes de la réalité.

Dans les très-grandes rivières, il convient de partager le cours d'eau en plusieurs sections longitudinales, desquelles on mesure la vitesse et la section moyenne transversale pour chacune individuellement, et l'on calcule ainsi la dépense pour chaque section. La somme des dépenses donne la dépense totale.

On peut voir dans *Nadault de Buffon* (2), la description détaillée de plusieurs jaugeages de ce genre faits sur les grands fleuves d'Italie.

Le tableau suivant donne les résultats d'un jaugeage de ce genre que nous avons fait sur la Saudre le 28 août 1846.

(1) Ceci est dit pour le cas où l'on veut faire servir la vitesse cherchée, à la détermination du débit du cours d'eau.

(2) Traité théorique et pratique des Irrigations, T. II, p. 47 et suiv.

NUMÉROS des flotteurs et des lignes parcourues. 1.	PROFONDEURS réelles : au profil d'amont. 2.	PROFONDEURS réelles : au profil d'aval. 3.	PROFONDEURS réduites : sur chaque ligne. 4.	PROFONDEURS réduites : entre deux lignes voisines. 5.	Distances moyennes entre deux lignes voisines. 6.	Sections partielles ou produit des colonnes 5 et 6. 7.	Vitesses par seconde des flotteurs dans chaque ligne. 8.	Vitesses moyennes entre deux lignes voisines. 9.	Produits des nombres des colonnes Nos 7 et 9. 10.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt. car.	mèt.	mèt.	mèt. cub.
Rive gauche.	1.400	1.850	1.623				0.000		
				1.695	4.250	7.205		0.024	0.172
1	1.550	2.000	1.765				0.048		
				1.777	3.750	6.663		0.047	0.313
2	1.650	1.950	1.790				0.046		
				1.697	6.250	10.606		0.043	0.456
3	1.490	1.720	1.605				0.041		
				1.540	5.150	7.931		0.020	0.158
Rive droite.	1.550	1.600	1.475				0.000		
								TOTAL. .	1.099

La première colonne donne les numéros d'ordre des lignes sur lesquelles on a mesuré la vitesse. On voit que la rivière avait été partagée en quatre sections longitudinales.

Les profils d'amont et d'aval étaient séparés par une distance de 80 mètres. Ils étaient limités par deux cordeaux tendus en travers de la rivière; le cordeau d'amont avait été divisé d'abord, et celui d'aval a été divisé au point où ont abouti les tiges hydrométriques qui mesuraient les vitesses. Les vitesses ont été ainsi mesurées les premières, et on a ensuite relevé les profils pour avoir les sections.

Les autres colonnes donnent tous les éléments nécessaires pour calculer les débits qui se trouvent dans la 10e colonne, et dont le total donne la dépense de la rivière.

Il nous reste enfin à décrire, en dernier lieu, un procédé de jaugeage proposé par *de Prony* qui s'est beaucoup occupé de cette importante question du jaugeage des eaux courantes (1). Ce procédé nous paraît satisfaire aux conditions du problème qu'on se propose; mais il exige des constructions dispendieuses et d'un établissement difficile, ce qui en limite extraordinairement l'emploi.

Ce procédé de *de Prony* consiste à établir en amont de l'orifice destiné à donner l'écoulement à l'eau (*fig.* 177), un bassin de forme prismatique et régulière, long d'à peu près 30 ou 40 mètres, lequel reçoit l'eau de la rivière par deux conduits égaux et opposés, de manière que la vitesse de l'eau de l'un se trouve détruite par la vitesse de l'eau de l'autre. Ces deux canaux sont fermés par des vannes. L'eau en sort par une vanne de fond placée dans le barrage d'aval.

On laisse affluer l'eau dans ce bassin jusqu'à ce que l'écoulement par l'orifice d'aval soit devenu constant, et on isole ensuite subitement le bassin du lit du cours d'eau en fermant simultanément les vannes des deux conduits latéraux.

L'écoulement continue d'avoir lieu par l'orifice d'aval, et le bassin se vide.

On observe alors simultanément les temps écoulés et les quantités correspondantes dont le niveau de l'eau s'abaisse dans le bassin. Ces quantités multipliées par la surface du bassin prismatique donnent les volumes d'eau qui ont été dépensés par l'orifice pendant les intervalles de temps observés simultanément. On a alors les temps égaux écoulés de-

(1) Mémoire sur le jaugeage des eaux courantes, 1802.

puis l'instant où le bassin a été isolé, qui, mesurés en secondes, seront :

$$\ldots\ t, 2\,t, 3\,t, 4\,t, \ldots\ldots,$$

et les volumes d'eau dépensés qui correspondent à ces temps, qui, mesurés en mètres cubes, seront :

$$\ldots\ q', q'', q''', q'''' \ldots\ldots$$

On arrêtera l'observation lorsque la surface de l'eau sera à 20 centimètres au-dessus de la paroi supérieure de l'orifice ; car nous avons vu que, lorsque l'écoulement s'approche de la fin, il devient irrégulier.

Le volume Q du courant, ou, pour mieux dire, sa dépense qui avait lieu à l'orifice lorsque le bassin a été isolé et que le régime était bien établi, soit lorsqu'on avait $t = 0$, se calculera au moyen des formules suivantes :

Si on a une seule observation :

$$Q = \frac{1}{t}\, q'$$

Si on en a deux :

$$Q = \frac{1}{t}\left(2\,q' - \frac{q''}{2}\right)$$

Si on en a trois :

$$Q = \frac{1}{t}\left(3\,q' - 3\,\frac{q''}{2} + \frac{q'''}{3}\right)$$

et enfin, si on a un nombre quelconque n d'observations :

$$Q = \frac{1}{t}\left(n\,q' - \frac{n(n-1)}{1\times 2}\times\frac{q''}{2} + \frac{n(n-1)(n-2)}{1\times 2\times 3}\times\frac{q'''}{3} \ldots\ldots \pm \frac{q^{(n)}}{n}\right)$$

Nous terminerons ce que nous avons à dire sur ce procédé, par la remarque suivante de *Navier* (1) :

« On doit remarquer, en employant cette méthode, que la surface de l'eau dans le bassin ne peut en général se maintenir exactement horizontale : il doit s'y établir une pente du côté de l'orifice. Il faut donc observer simultanément l'abaissement de cette surface dans divers points du bassin, afin d'en connaître exactement la figure à chaque intervalle de temps t, et par suite les volumes d'eau écoulée après chacun de ces intervalles. »

(1) Résumé des leçons, etc., T. II, p. 155.

CHAPITRE III.

CANAUX D'IRRIGATION.

§ Ier. DÉRIVATION ET ALIMENTATION.

L'importance et les dimensions des canaux d'arrosage sont extrêmement variables, car nous donnons ce nom tout aussi bien à la petite rigole qui donne l'eau pour irriguer à peine quelques hectares, et aux grands canaux du midi de la France et du nord de l'Italie, qui ont une portée de plusieurs mètres cubes, ce qui en forme de véritables rivières artificielles.

La question d'alimentation est pour ceux-ci généralement moins compliquée que pour les canaux de navigation, car dans ces derniers on cherche l'eau pour les alimenter, et on doit s'efforcer d'en consommer le moins possible, tandis que les canaux d'irrigation sont établis, au contraire, pour transporter l'eau dont on dispose, et on doit les faire de manière qu'ils la débitent en entier. Ce n'est pas que, pour les établir, l'ingénieur n'ait pas à s'occuper d'avoir le plus d'eau possible, mais il ne doit pas chercher à en débiter peu, et, ce qui l'intéresse principalement, c'est de ne pas en perdre beaucoup en infiltrations.

Quant à la prise d'eau principale, elle se fait toujours, soit dans une rivière, soit dans un réservoir ; mais on a aussi souvent des prises d'eau secondaires, qui viennent augmenter l'eau qui coule dans le canal. Ces prises d'eau secondaires sont en tout semblables à la principale, car des petits canaux, qu'on nomme quelquefois rigoles, en apportent l'eau dans le grand ; aussi, nous ne nous en occuperons pas.

Il est extrêmement rare qu'on puisse prendre l'eau d'une rivière sans établir un barrage qui en élève le niveau ; car, sans cela, on serait réduit à en avoir fort peu pendant l'étiage. Une autre considération fort puissante, est que les canaux d'arrosage prennent leur eau aux rivières assez près de leur source, pour qu'elles soient torrentielles et sujettes à changer de lit, ce qui n'a plus guère lieu aux approches d'un barrage. Il est vrai de dire qu'en Italie, où presque toutes les rivières sont endiguées, cet inconvénient est bien moins sensible qu'ailleurs ; pourtant nous n'y connaissons pas de prise d'eau sans barrage. En échange, le lit de la Durance est si variable, que,

malgré les barrages, les canaux se trouveraient souvent sans eau si l'on n'y remédiait par des travaux annuels et temporaires.

Dans un des chapitres suivants, nous traiterons de la construction de ces ouvrages d'une très-grande importance. Il en est de même des autres travaux d'art, que nous avons tous relégués au même chapitre. La prise d'eau d'un canal d'arrosage peut se faire soit comme celle d'un canal de navigation, en l'embranchant directement sur la rivière, soit au moyen d'un déversoir, soit enfin au moyen de vannes qu'on appelle martélières; ces deux dernières dispositions sont celles qui sont le plus usitées, et, suivant nous, les martélières paraissent presque toujours préférables, puisqu'elles permettent de donner au canal la quantité d'eau qu'on juge convenable.

Si on ne les emploie pas, on court les chances des crues, qui se font sentir dans le canal, tout aussi bien que dans la rivière, et qui produisent souvent de graves dégradations (1).

La direction qu'il faut donner au canal à sa prise d'eau, et l'emplacement de celle-ci présentent des problèmes fort compliqués, qui exigent des études approfondies et une grande capacité dans l'ingénieur chargé des travaux. Il doit avoir en vue la facile alimentation du canal et la stabilité du lit de la rivière, pour ne pas être ensuite entraîné à des dépenses d'entretien trop considérables. Il est difficile de donner des règles générales sur ce sujet, car les données du problème sont très-nombreuses; c'est donc à l'ingénieur de les apprécier en étudiant son projet. En général, nous dirons qu'il faut éviter d'établir la prise d'eau près de la partie convexe d'un coude du courant de la rivière, car elle serait alors sujette à des atterrissements, qui souvent feraient chaumer le canal et qui forceraient même à déplacer les constructions qui forment la tête du canal. Il est également utile de placer la prise d'eau dans une partie profonde de la rivière, qu'on nomme *racle* ou *mouille*, et de placer, au contraire, le barrage destiné à élever l'eau de la rivière sur une *maigre* ou *trémate*, là où l'eau a peu de profondeur. Il est enfin très-utile de placer la prise d'eau dans une partie du lit de la rivière où il se soit établi un régime constant, et où on n'ait pas à craindre des changements brusques du thalweg; mais il faut dire qu'il y a des rivières torrentielles, telles que la Durance, qui ne présentent aucune stabilité sur aucun point de leurs cours. On sera alors forcé de

(1) C'est là ce qui arrive au canal de Paderno, dérivé de l'Adda, en Lombardie.

chercher à obtenir un régime constant, au moyen d'ouvrages établis vers la rivière, en amont du barrage, comme digues, épis, etc.

L'entrée d'un canal à sa prise d'eau se fait presque toujours évasée vers la rivière, même dans le cas où, n'étant pas navigable, cela n'aurait plus pour but de faciliter l'entrée des bateaux (1).

Quant à la direction que doit avoir le canal à son origine, par rapport à la direction de la rivière, nous observerons que le plus grand nombre de ceux que nous connaissons sont placés de manière à faire un angle aigu avec le courant de la rivière, en allant de l'amont vers l'aval; mais que, si on emploie un déversoir pour prendre l'eau, cette disposition rend l'effet des crues plus sensible dans le canal, et nous lisons dans *Sganzin* (2), « qu'à l'occasion de l'écluse de prise d'eau du canal de Beaucaire, dans le Rhône, il avait été reconnu que la disposition la plus convenable était de diriger l'entrée de la dérivation de l'amont à l'aval, suivant un angle très-aigu avec le fil de l'eau, sauf à raccorder cette direction avec l'alignement du canal, soit par des courbes, soit par un grand bassin placé à l'intersection (3). » Mais, comme ce canal est destiné à la navigation, on a eu principalement en vue de faciliter la manœuvre des bateaux.

Dans notre projet du canal de la Saudre, nous avions fait la prise d'eau perpendiculaire au fil de l'eau, pour éviter les atterrissements et recevoir les eaux troubles destinées au limonage des terres.

Lorsque la prise d'eau a lieu sur une petite rivière, dans laquelle on n'a pas d'usines, on s'inquiète peu de la quantité d'eau qu'on peut prendre, ou, pour mieux dire, on en prend

(1) « Nous croyons donc que la figure évasée est celle qui convient le mieux à l'embouchure des canaux, et qu'il en doit résulter plusieurs avantages, dont voici les principaux :

« 1° L'eau ne formant pas de chute à leur entrée, et gardant une pente uniforme à cet endroit, comme au-dessous, où le cours d'eau régulier est établi, elle ne perdra rien de sa profondeur ni de sa vitesse, et la dépense du canal sera la plus grande possible, relativement à ses dimensions.

« 2° Si cette entrée n'est pas revêtue de quais de maçonnerie, et qu'elle ne soit qu'en terre, l'eau ne fera point d'effort pour ronger les rives, ni pour creuser le lit, comme elle a coutume de faire quand l'entrée du canal n'a pas plus d'ouverture que le reste du lit.

« 3° Si le canal doit être fréquenté par des bateaux, etc. » (*Dubuat*, Principes d'Hydraulique, T. I, p 243.)

(2) Résumé des leçons d'un cours de construction, 4e édition, T. II. p. 64.

(3) Voyez, pour plus de détails, une Notice de l'ingénieur *Grangent*, Ann. des ponts-et-chaussées, 1832.

le plus qu'on peut; mais, lorsque le canal est dérivé d'une rivière pour laquelle il existe un règlement d'eau, ou d'une rivière navigable, par suite d'une concession de l'Etat, le volume d'eau qu'on doit prendre pendant l'étiage est limité. Il devient alors nécessaire d'établir la prise d'eau, de manière à régler le débit du canal. Très-souvent, comme nous l'avons vu, le canal n'a aucun ouvrage à son commencement; il faut alors, pour atteindre ce but, que sa section et sa pente soient parfaitement réglées sur une assez grande longueur, 400 à 500 mètres, car, alors, au moyen de ces données, on pourra déterminer sa portée; ou bien, au moyen de la portée, on déterminera une de ces données, les autres restant arbitraires. On emploiera la formule d'*Eytelwein*, comme la plus exacte. Mais les talus, le fond et, en conséquence, la section du canal seront bien vite modifiés, particulièrement dans un canal à eau courante, et souvent à fortes pentes; aussi son débit pourrait varier de beaucoup, et, pour le rendre stable, il faudra, sur une assez grande longueur, faire des revêtements aux berges, soit en maçonnerie de pierres ou de briques avec mortier, soit avec des perrés en pierres sèches. Quant aux revêtements de gazon, ils ne nous paraissent pas assez résistants pour remplir le but qu'on se propose dans cette partie d'un canal.

Lorsqu'un canal prend son eau de cette façon, on ne peut pas le rendre insubmersible pendant les crues; c'est là un défaut qu'il partage avec les canaux qui sont alimentés par un déversoir.

Lorsque la prise d'eau est faite par un déversoir ou par des martélières, les formules que nous avons données au Chapitre I, 3e partie, Livre III, serviront à fixer leurs dimensions, pour avoir une dépense d'eau déterminée, dès qu'on connaîtra le niveau des eaux de la rivière à l'étiage (1).

Si on prend l'eau dans un réservoir, on ne peut plus le faire qu'au moyen des artifices dont nous avons parlé dans la première partie de ce livre; mais il devient difficile de déterminer pour chaque grandeur qu'on peut donner à l'ouverture, en ouvrant plus ou moins l'orifice, la quantité d'eau dépensée.

Si on veut donc que le débit soit à-peu-près constant entre

(1) *Nadault de Buffon* fait la critique de ces formules, dans le tome II de son Traité des Irrigations, et nous sommes de son avis sur le peu d'exactitude pratique de toutes les formules d'hydraulique; mais, comme la formule de *Tadini*, par laquelle il propose de les remplacer, ne nous paraît pas plus exacte, nous continuons d'employer les premières.

certaines limites, il faudra établir un déversoir ou des vannes au commencement du canal, qui permettront d'en calculer la dépense, et on ouvrira les robinets ou autres orifices en tâtonant, jusqu'à ce que la dépense soit celle qu'on veut avoir.

Dans les prises d'eau en rivière sans martélières, il est de la plus grande utilité de prendre l'eau par un aqueduc couvert, car on peut ainsi rendre le canal à peu près insubmersible et obvier aux plus graves inconvénients qui proviennent des crues et dont nous avons parlé plus haut. Cette disposition est généralement adoptée en Piémont, où les canaux d'arrosage sont dérivés de rivières torrentielles et sujettes à de très-fortes crues.

Quant aux ouvrages accessoires, tels que murs en ailes et de jouée, revêtements des rives, pilotis, enrochements, etc., nous en parlerons, en même temps que des barrages, dans le chapitre qui traite des travaux d'art.

Lorsque l'entrée d'un canal est libre, on a l'inconvénient de ne pouvoir le faire chômer, pour le réparer, qu'au moyen de bâtardeaux en terre qui le ferment. Aussi nous conseillerons toujours l'emploi de martélières ou, pour le moins, d'établir des doubles rainures dans des murs latéraux, au-dessus du seuil d'entrée, pour recevoir des poutrelles et fermer le passage à l'eau. Ces poutrelles ou ces vannes ont aussi le grand avantage de permettre de faire des chasses pour nettoyer l'entrée du canal, qui est généralement toujours la première à s'ensabler, et elles économisent ainsi des travaux coûteux de dragage ou de curage.

Nous avons déjà dit qu'il faut chercher à avoir le plus d'eau qu'on peut dans un canal d'arrosage, car il n'est fait que pour transporter de l'eau, et plus il en a, plus il est utile; il ne faut donc pas négliger d'y faire affluer toutes les eaux dont on peut disposer sur son parcours.

Lorsqu'on fait une seconde prise d'eau dans une rivière, c'est un grand canal qu'on crée et qui se joint au premier, après un parcours plus ou moins long. Le point de jonction des deux canaux est généralement fortifié par quelques ouvrages d'art, comme perrés, pilotis ou autres, qui sont d'une exécution fort facile.

Lorsque le canal traverse un ruisseau, on peut le faire passer au-dessus au moyen d'un pont aqueduc; ou bien, si la hauteur n'est pas suffisante, le ruisseau passe dessous le canal

au moyen d'un syphon. Mais plus généralement, on introduit les eaux du ruisseau dans le canal, pour en augmenter la portée. Cela a un grave inconvénient, lors des crues, lorsque les ruisseaux charrient du sable et des graviers, car le canal s'ensable rapidement et nécessite de fréquents curages. On peut y obvier, en partie, en creusant, au devant de l'embouchure du ruisseau, un puits dans lequel se ramassent les sables et graviers, avant l'introduction de l'eau dans le canal. Du reste, on change ordinairement le lit du ruisseau de place, pour l'introduire facilement dans le canal, car celui-ci se trouve très-souvent en remblai au-dessus du thalweg de la vallée traversée, thalweg que suit ordinairement le courant du ruisseau. Ce déplacement ne nous paraît pas être toujours une bonne disposition, et nous pensons qu'il y aurait souvent avantage à laisser se former un petit étang d'un côté du canal. Le ruisseau y déposerait ses troubles grossiers, et l'eau entrerait dans le canal principal par un deversoir.

Il est rare qu'on ait des tranchées profondes dans un canal d'arrosage; aussi ne faut-il guère compter sur les sources qu'on peut accidentellement rencontrer dans les déblais. Si pourtant ce cas se présentait, et qu'on en rencontrât, il faudrait quelques travaux d'art assez simples pour en assurer l'écoulement.

Ces travaux se réduisent ordinairement à un perré pour empêcher les dégradations que produirait la source, et, quelquefois, à un bout d'aqueduc pour mieux la diriger.

Il peut même devenir important de faire, comme dans le Milanais, des fouilles et des recherches pour trouver des sources dans les terrains environnants, sources qu'on dirige ensuite dans le canal au moyen de rigoles ou canaux secondaires.

Il y a tel canal, en Lombardie, qui reçoit ainsi par des sources plus de la moitié de l'eau qu'il dépense; et dans tous les canaux qui sont une propriété particulière, on ne néglige jamais ce moyen d'alimentation. Cela se conçoit facilement dans une contrée où le prix de l'eau est très-élevé, comme nous le verrons dans la suite. Nous renvoyons à la deuxième partie de ce livre pour tout ce qui a rapport aux sources.

Nous donnons aux planches *fig.* 179 et suiv. les dessins de plusieurs prises d'eau de canaux importants (1).

(1) Sur les prises d'eau et l'alimentation des canaux, on trouvera d'utiles renseignements dans les rapports sur le canal latéral à la Garonne et sur le canal latéral à la Loire, insérés aux Annales des ponts-et-chaussés, 1832, et dans l'ouvrage intitulé : De la dépense et des produits des canaux et des chemins de fer, par le *comte Pillet-Will*.

(1) *Nadault de Buffon* dit, à propos des canaux d'irrigation :

« On doit remarquer, en effet, qu'ils ne sont pas seulement des canaux de dérivation, mais surtout des canaux à dérivations, c'est-à-dire à dérivations faciles, qu'on doit pouvoir y effectuer en aussi grande quantité qu'on le désire, et sans le secours d'aucun barrage. » (Traité des Irrigations, T. II, p. 177.)

§ II. PROFILS EN LONG ET EN TRAVERS.

C'est des profils en long et en travers que dépend la dépense d'eau d'un canal; c'est assez dire pour qu'on comprenne combien il importe de les établir d'une manière convenable. Plusieurs considérations, outre celle de la quantité d'eau dont on dispose, doivent attirer l'attention de l'ingénieur; telles sont la nature du terrain, l'économie dans les ouvrages d'art, la surface à irriguer, etc.; on voit que le problème est complexe et qu'il ne peut être résolu d'une manière générale. Nous ne pouvons donc que fixer des limites, en laissant à l'appréciation de l'ingénieur tout ce qui dépend des circonstances locales (1).

Plus la pente longitudinale d'un canal sera grande, moins il faudra de section pour avoir la même dépense d'eau, et une diminution dans la section revient à une diminution dans les terrassements.

Il en résulte qu'une augmentation dans la pente correspond à une diminution dans la dépense. Cela est vrai, en général, mais il peut y avoir des exceptions : par exemple, si on doit changer de vallée en traversant un col, il est évident que, si le point de départ est donné, il peut se faire qu'une augmentation de pente nécessite une tranchée souvent profonde, ou un tunnel, là où l'on aurait pu passer en terrain naturel. Une augmentation de pente, lorsque le point de départ est donné, diminue au contraire les remblais nécessaires pour traverser une vallée; mais l'inverse a lieu si c'est le point d'arrivée qui est donné, tandis qu'on peut changer le point de départ. On voit, d'après cela, que, suivant les circonstances, il peut y avoir avantage à augmenter ou diminuer la pente; ce sont ces circonstances que l'ingénieur doit apprécier.

Mais il ne faut pas croire que la détermination de la pente reste ailleurs arbitraire. La nature du terrain pose des limites qu'on ne peut pas dépasser sans courir le risque de voir le canal se dégrader rapidement.

Il faut alors avoir recours aux revêtements, soit en pierres

sèches, soit en maçonnerie, qui sont toujours fort coûteux. Une autre considération peut aussi faire diminuer la pente : c'est celle de se procurer des chutes pour les utiliser pour l'industrie.

D'un autre côté, un canal à pente très-faible ne peut pas servir à transporter des eaux troubles pour les limonages, et, s'il reçoit des eaux troubles, les limons s'y déposent et nécessitent de fréquents et coûteux curages. C'est ce qui arrive dans la Robine de Narbonne, destinée au colmatage et à la navigation, deux choses qui paraissent s'exclure mutuellement.

Dubuat (1) a fait des expériences pour déterminer quelle était la vitesse maximum d'un courant à laquelle différentes natures de sols pouvaient résister sans se dégrader.

On trouve des expériences du même genre rapportées dans l'*Encyclopédie d'Edimbourg*. Nous donnons les unes et les autres dans le tableau suivant. Mais nous devons remarquer que ces limites nous paraissent trop faibles, puisque nous connaissons un grand nombre de rigoles où ces sortes de terres ne sont pas dégradées, malgré la vitesse de l'eau, qui est de beaucoup supérieure.

Les expériences de *Dubuat* ayant été faites sur le fond d'un petit canal en bois, il est facile de voir que ces terres, remuées et désagrégées, devaient céder à une moindre vitesse que si elles avaient été naturellement consolidées par leur tassement.

(1) Principes d'Hydraulique, T. II, p. 91 et suiv.

MATIÈRES qui résistent aux vitesses indiquées et qui se dégraderaient avec des vitesses plus grandes.	DENSITÉS, celle de l'eau étant = 1	VITESSE par seconde. Expériences de *Dubuat*.	VITESSE par seconde. Encyclopédie d'Edimbourg.
		mèt.	mèt.
Terres détrempées, boue.	»	»	0.076
Argile brune propre à la poterie.	2.64	0.081	»
Argile tendre.	»	»	0.152
Gros sable jaune.	3.36	0.217	»
Gravier de la Seine gros comme une graine d'anis	2.54	0.108	»
Gravier de la Seine gros comme un pois	2.54	0.181	»
Gravier de la Seine gros comme une petite fève	2.54	0.325	»
Sable ordinaire.	»	»	0.305
Gravier en général.	»	»	0.609
Galets de mer arrondis, de 0m.27 de diamètre.	2.61	0.650	»
Cailloux.	»	»	0.914
Silex anguleux, gros comme un œuf de poule.	2.25	0.975	»
Pierres cassées.	»	»	1.210
Cailloux agglomérés, schiste tendre.	»	»	1.520
Roches feuilletées.	»	»	1.830
Roches dures.	»	»	3.050

Les vitesses portées dans ce tableau représentent les vitesses du fond, et non pas les vitesses moyennes ou de la surface, qui sont toujours plus fortes.

Voici maintenant un tableau qui donne les pentes de plusieurs canaux ou de quelques-unes de leurs parties.

DÉSIGNATION DES RIGOLES ET CANAUX.	PENTES par kilom.	PENTES par mètre.
	mèt.	mèt.
Une rigole à Latour, près le Mont-Dore; la partie creusée dans le roc.	8.50	0.0085
Idem, dans la terre.	5.00	0.0050
Une rigole près de Briançon, dans un terrain schisteux	6.40	0.0064
Canaux d'Alaric et de Tarbes, dans les Hautes-Pyrénées.	4.10	0.0041
Canal de Perpignan (en partie).	5.50	0.0055
Idem, autre partie.	2.20	0.0022
Rigole dans les Vosges.	3.50	0.0035
Canal dérivé du Drac (Hautes-Alp.).	2.80	0.0028
Rigole dans la Drôme.	5.10	0.0051
Rigole près de Chambéry (Savoie).	4.20	0.0042
Canal du Bazer (Haute-Garonne).	0.24	0.00024
	0.32	0.00032
	0.40	0.0004
Canal de Crapone (Bouches-du-Rhône).	0.86	0.00086
	1.55	0.00155
	2.30	0.0023
Canal des Alpines (partie ancienne).	0.08	0.00008
	2.00	0.0020
	2.30	0.0023
Idem (partie moderne).	0.30	0.0003
	0.40	0.0004
	0.50	0 0005
Canal de Marseille (Bouches-du-Rhône)	0.46	0.00046
	0.05	0.00005
	1.00	0.0010
	0.40	0.0004
Canal de Pierrelatte (Drôme).	0.27	0 00027
	0.13	0.00013
Rigole près de Suza (Piémont).	0.85	0.00085
Canal d'Ivrée (Piémont).	0.50	0.0005
	0.90	0.0009
	1.50	0.0015

DÉSIGNATION DES RIGOLES ET CANAUX.	PENTES par kilom.	PENTES par mètre.
	mèt.	mèt.
Canal de la Sesia, rive gauche (Piémont).	0.40	0.0004
	0 80	0.0008
	1.00	0.0010
Canal de Caluso (Piémont).	1.00	0.0010
	1.85	0 00185
	2.70	0.0027
Une dérivation particulière (Piémont)	0 36	0 00036
Idem *idem*.	0.60	0.0006
Naviglio grande; irrigation et navigation à la fois (Lombardie), première partie.	0.72	0.00072
	1.13	0 00113
	1.55	0.00155
Idem, deuxième partie.	0.20	0.0002
	0.68	0.00068
	1.16	0.00116
Idem, troisième partie.	0.30	0 0003
	0 55	0.00055
	0.80	0.0008
Canal de Beregnardo (Lombardie), irrigation et navigation.	0.17	0.00017
	0.18	0.00018
Canal de Pavie (Lombardie), irrigation et navigation.	0.30	0 0003
	0.41	0.00041
Canal de la Martesana (Lombardie), irrigation et navigation.	0.40	0.0004
	0.47	0.00047
	0.58	0.00058
Canal de la Muzza (Lombardie).	0.16	0.00016
	0 18	0.00018
	0 72	0.00072
Canal du Cremonais (Lombardie).	0.75	0.00075
	1 50	0.0015
	2.06	0.00206
Une dérivation particulière près de Lodi (Lombardie).	0.28	0.00028
Idem.	0.45	0.00045
Idem, près de Pavie.	0.70	0.0007
Idem, près de Côme.	0.91	0.00091

Nous aurions voulu réunir dans ce tableau les pentes de quelques canaux d'Espagne, mais les données nous ont manqué, et nous avons dû y renoncer.

On voit que, dans les exemples cités, les limites des pentes se trouvent bien éloignées, mais on doit observer que les parties des canaux d'Italie qui ont de très-fortes pentes, ont les berges revêtues, soit en perrés, soit en charpente.

Voyons maintenant les idées émises sur ce sujet par divers auteurs.

Sganzin (1) indique comme limites inférieures des pentes dans les canaux d'irrigation : pour les grandes dérivations, $0^m,10$ à $0^m,15$, et, pour les petites saignées, $1^m,00$ à $1^m,5$ par kilomètre. La première de ces limites nous paraît faible, surtout si on a égard aux herbes qui croissent sur le fond et retardent le mouvement. La seconde nous paraît assez convenable. Nous avons exécuté des petites rigoles avec $0^m,80$ à $0^m,70$, qui fonctionnent fort bien.

Nadault de Buffon (2) donne pour limites des pentes des canaux d'arrosage $0^m,600$ et $0^m,277$ par kilomètre, et pour les canaux d'arrosage et de navigation simultanément, $0^m,300$ et $0^m,130$ par kilomètre. Trois de ces limites nous paraissent bien établies, mais celle de $0^m,600$ nous paraît trop faible, et nous pensons qu'on peut, sans inconvénient, la porter à $1^m,00$.

De Pertuis (3) donne, comme des pentes les plus favorables aux canaux d'arrosage, 6 à 12 mètres par kilomètre. Il est évident que ces pentes sont fort exagérées, à moins qu'il ne se soit glissé une erreur d'impression qui ait décuplé leur valeur.

Bosc propose une pente de 2 à 4 mètres par kilomètre. Ce sont des pentes encore trop fortes.

Mathieu de Dombasle dit que les pentes qui conviennent à ces canaux peuvent varier de $2^m,77$ à $5^m,54$ par kilomètre. La première, quoique très-forte, pourrait, à la rigueur, être employée; mais, quant à la seconde, elle est évidemment exagérée (4).

(1) Programme ou résumé des leçons d'un cours de construction, T. II, p. 148 et 149, 4e édition.

(2) Traité théorique et pratique des Irrigations, T. II, p. 213.

(3) De l'amélioration des prairies naturelles et de leur irrigation.

(4) « Pour la pente d'une rigole, on reste ordinairement entre les limites de 0m 10 à 0 m. 50 par kilomètre. Toutefois, on n'a donné que 0m.07 pour 1,000 mètres à la rigole de Courpalet du canal d'Orléans, qui présentait des sujétions spéciales par le peu d'élévation des sources au-dessus du bief de partage, et par le grand développement de la conduite d'eau.

« Aux canaux du Centre et de Briare, on s'est réglé sur 0m. 10 à 0m. 12 par 1,000 mètres.

« La rigole de Saint-Ferriol a une pente surabondante de 0m. 88 par 1,000 mètres; on a été chercher l'eau dans des points trop élevés, pauvres en sources; on a été aussi forcé de traverser des terrains très-accidentés et qui ne gardent pas l'eau. » (*Sganzin*, Cours de Construction, T. II, p. 89.)

Nous avons dit qu'en fixant la pente d'un canal, il faut avoir égard à la nature du terrain traversé, et cela, non-seulement pour éviter les dégradations du fond, mais aussi pour diminuer les pertes qu'on éprouve par l'infiltration. En effet, plus la pente sera grande, et plus la section pourra être petite pour le même débit; donc la surface infiltrante diminuera lorsque la pente augmentera; d'ailleurs, il paraît prouvé qu'on perd moins d'eau de cette manière, lorsque l'eau est animée d'une grande vitesse.

Lorsqu'on calcule la vitesse au fond, au moyen des formules que nous avons données plus haut, on a la vitesse qui aurait lieu dans un canal uni, mais les herbes qui croissent sur le fond la diminuent très-sensiblement, et leurs racines, en liant les terres, les empêchent de se dégrader. Aussi, nous pensons qu'en pratique il ne faut guère compter que sur les trois quarts de la vitesse donnée par les formules.

Dans l'établissement d'un canal, il faut chercher à lui donner une pente uniforme, ou, du moins, à ne pas en changer trop souvent. Il pourrait y avoir avantage à diminuer la pente plutôt que la section, à mesure que le canal dépense ses eaux par les saignées destinées aux irrigations.

Ces deux règles sont assujéties aux circonstances locales, qui, souvent, forcent à adopter des pentes très-variables. C'est ce qui nous est arrivé dans le second tracé du canal de la Saudre, dans lequel les points de passage qui nous avaient été fixés par le conseil des ponts et chaussées, ne nous laissaient pas libres de modifier les pentes qu'entre des limites fort rapprochées.

La section transversale du canal doit être déterminée simultanément avec la pente, puisque ce n'est que combinées qu'elles permettent d'en déterminer la dépense d'eau.

Une chose est pourtant indépendante du débit du canal; c'est l'inclinaison du talus des berges. Elle ne dépend que de la nature des terrains traversés.

Pour déterminer cette inclinaison, on ne peut que consulter l'expérience pour chaque localité; mais nous pouvons

dire qu'il est fort rare que les berges se soutiennent si elles n'ont pas des talus réglés au moins par 1 1/2 de base pour 1 de hauteur, et qu'il est plus prudent de donner 2 de base pour 1 de hauteur, inclinaison qui suffit généralement dans le plus grand nombre des cas.

Si on passe ensuite à déterminer la section, on voit qu'en diminuant sa largeur on augmente la hauteur d'eau dans le canal, ce qui diminue un peu les pertes d'eau dues à l'évaporation; mais, d'un autre côté, un canal trop étroit devient difficile à entretenir et à curer.

Lorsque la profondeur qu'on doit creuser en déblais ne dépasse pas 2 mètres à $2^{m},10$, et que la largeur supérieure ne dépasse pas 5 mètres, on peut admettre que la dépense est proportionnelle au cube de terre remuée; aussi, la forme de la section qui, sous une même surface, aura un périmètre mouillé plus petit, donnant la plus grande dépense d'eau, sera la plus économique.

Le demi-cercle remplit ces conditions, et, ensuite, les demi-polygones réguliers s'en approchent le plus, mais les difficultés de construction ne permettent pas de les adopter. Si le canal est creusé dans la terre, on donne à la section la forme d'un trapèze (1), et, s'il est creusé dans le roc, ou s'il est revêtu en maçonnerie, on lui donne souvent la forme d'un rectangle.

Lorsqu'on adopte la forme rectangulaire, on donne au canal une largeur à peu près double de la hauteur d'eau qu'il doit amener, ce qui le constitue dans de bonnes conditions économiques.

Quelque bien que soient établies les sections, quelque bien réglés que soient les talus, il arrive toujours que l'eau courante modifie leur forme, et qu'en peu de temps la section ne présente plus la forme trapézoïdale qu'on lui avait d'abord donnée. *Nadault de Buffon* propose donc, avec raison, d'établir, de distance en distance, des profils en maçonnerie fixes, sur lesquels on pourrait se guider dans les curages et les réparations.

(1) « J'ai déjà dit que la figure naturelle d'un lit creusé dans la terre ne peut pas être rectangulaire, parce que les terres communes ne peuvent se soutenir à plomb, sans s'ébouler, en prenant un talus quelconque. Cette raison exclut aussi la forme demi-circulaire. La forme trapèze, composée de trois lignes droites, offrant des talus suffisants, sympathise davantage avec la nature des terres; mais l'eau n'aime point les lignes droites; si on les emploie, elles sont bientôt attaquées par ce fluide, dont elles gênent l'indépendance, ou recouvertes et ensevelies sous des dépôts de limon, qui reproche à l'artiste l'inutilité de son travail. » (*Dubuat*, Principes d'Hydraulique, T. I, p. 118.)

Quelle que soit la forme qu'on donne à la section, il faut toujours que la surface de l'eau se tienne au-dessous de la surface des berges. Trente à cinquante centimètres paraissent suffisants.

Nous donnons, aux figures 240, 241, 242, 243, 273, les profils en travers de quelques canaux existants.

Dans les rigoles ordinaires, on ne fait pas de contre-fossés, car on les tient le plus qu'on peut en terrain naturel; mais, dans les grands canaux qu'on est souvent forcé d'établir en remblai, les contre-fossés, du moins du côté d'amont, deviennent nécessaires pour la solidité du canal. Leurs dimensions dépendent de la quantité d'eau qu'ils doivent dépenser, et qu'il est malheureusement difficile de déterminer *a priori*.

Dans les talus extérieurs des remblais, on doit avoir moins de pied que dans les talus intérieurs; 1 ou 1 1/2 de base pour 1 de hauteur suffit presque toujours.

La largeur de la banquette doit permettre de s'y promener facilement; aussi on devra lui donner $1^{m},50$ ou 1 mètre au moins.

En déterminant la section d'un canal à construire, on doit, comme nous venons de le voir, avoir principalement en vue la quantité d'eau qu'il doit dépenser, et il deviendrait important de déterminer d'avance la quantité d'eau qu'il perdra, soit par l'évaporation, soit par les infiltrations.

Nous avons déjà parlé de la difficulté qu'on éprouve pour arriver à une solution exacte de ce problème, qui, de prime-abord, paraît fort simple, et qui est bien loin de l'être.

On a bien peu d'expériences sur ce sujet, et on en aurait un grand nombre, qu'on ne serait pas en droit d'en tirer des conséquences générales.

En effet, l'évaporation dépend du climat, de l'exposition, etc.; elle varie dans de très-grandes limites, et elle n'est certainement pas sensiblement la même sur tous les points d'un même canal. Les infiltrations dépendent de la nature du sol et du sous-sol, des pentes, de la profondeur des déblais, de l'importance et de l'élévation des remblais, de la nature des eaux qui charrient plus ou moins de matières limoneuses, qui, en se déposant, parviennent, au bout d'un certain temps, à étancher les biefs du canal. On voit, d'après cela, qu'il est impossible de faire entrer et combiner toutes ces données dans la solution d'un problème qui est, de sa nature, indéterminé entre de certaines limites.

Les savants les plus distingués sont restés dans le vague lorsqu'ils ont voulu fixer ces deux quantités : l'évaporation et l'infiltration, et les ingénieurs, dans la rédaction de leurs projets, les déterminent d'après des observations locales et plus encore, il faut le dire, d'après leur inspiration, qui souvent n'a pas été très-heureuse, puisqu'ils ont eu de terribles déboires, qui ont quelquefois mis en balance la réussite de constructions qui avaient déjà coûté des sommes énormes.

Venturoli, dans son traité si remarquable d'hydraulique, se contente de dire que des expériences faites sur le canal du Languedoc, portent l'évaporation annuelle à un prisme d'eau ayant pour base la surface du canal et pour hauteur $0^m,80$; et que dans le même canal on estime que les infiltrations sont à l'évaporation comme 3 est à 2.

Ceci n'apprend pas grand'chose, car, d'un côté, l'évaporation n'étant pas d'une intensité constante, on ne peut pas dire que celle d'un jour sera la 365e partie de celle d'un an, et car, d'un autre côté, la quantité moyenne des infiltrations d'un canal de la longueur de celui du Languedoc, ne peut pas s'appliquer à un bief ouvert en terrain plus ou moins perméable.

Sganzin (1), après avoir reconnu toutes les difficultés qui s'opposent à une détermination exacte de la perte d'eau par évaporation, suppose qu'elle peut être annuellement de $0^m,80$ à $0^m,95$ de hauteur verticale, ce qui donnerait $0^m,002$ à $0^m,0023$ par jour; mais en tenant compte des mois secs de l'été, il propose d'adopter dans les calculs pratiques le chiffre $0^m,01$ pour la hauteur de la tranche qui s'évapore en vingt-quatre heures.

Pour la perte due aux infiltrations, il constate qu'elle peut être très-variable (2), et propose, nous ne savons pas d'après quels documents, de l'évaluer, dans les premiers temps de la mise en service d'un canal, à une tranche d'eau de $0^m,05$ d'épaisseur.

Nadault de Buffon n'aborde pas directement la question,

(1) Programme d'un cours de construction, T. II, p. 77.

(2) Voici comment il s'exprime sur ce sujet :

« On évaluait autrefois cette cause de perte (les infiltrations), tantôt à 1/2, tantôt à 1 fois 1/2 ou à 2 fois celle des évaporations.

« Sur les canaux de Briare et de Loing, les pertes par filtration sont au moins deux fois celles par évaporation.

« Le canal de l'Ourcq perd encore en vingt-quatre heures une tranche de 0m. 06 à 0m. 10 d'épaisseur.

« Au canal du Midi, les pertes par évaporation, infiltrations et autres, forment en tout une tranche de 0m. 03 à 0m. 04 de hauteur.

« Mais il y a eu, sous ce rapport, des mécomptes énormes, qui, sur beaucoup de canaux, ont compromis la navigation, entre autres sur ceux de Narbonne, du Centre, de Saint-Quentin, de l'Ourcq, de Bourgogne, et du Rhône au Rhin.

« Ainsi, le canal de Narbonne, dont les berges sont en gravier, perdait, après 15 ans, 12 mètres cubes par mètre courant en 24 heures, ou une hauteur de 0m. 80.

« Ainsi, au canal du Centre, construit par Gauthey, dans une zone en remblais qui passait sur d'anciennes carrières, l'eau se perdait tout entière en vingt-quatre heures.

« Ainsi, au canal de Saint-Quentin, où le bief de partage était établi sur un sol crayeux, rempli de fissures d'une profondeur indéfinie, la navigation chômait pendant les 2/3 de l'année.

« Dans les terrains argileux, qui prennent beaucoup de retrait, les alternatives de sécheresse et d'humidité, tantôt font perdre beaucoup d'eau, et tantôt la retiennent tout entière. »

(1) Cours de construction, etc., p. 159.

il ne fait que rapporter trois expériences faites en Lombardie, d'après lesquelles les pertes par infiltration et par évaporation sont :

Pour le Naviglio grande, de 0,129 de l'eau introduite;
Pour le canal de la Martesan, de 0,107 *Idem.*
Pour le canal de la Muzza, de 0,161 *Idem.*

et il en conclut en conseillant de prendre la moyenne et de l'appliquer comme approximation.

Nous ne saurions pas être de son avis, car, d'un côté, il nous paraît bien étrange d'appliquer la même moyenne à tous les canaux, sans tenir compte de leur longueur, de leur largeur, etc.; comme si un canal de 3 kilomètres de longueur devait perdre par infiltration et évaporation autant d'eau qu'un canal de 60 kilomètres de longueur avec la même section, dès qu'on y introduit la même quantité d'eau.

D'un autre côté, nous ne sommes pas complètement convaincu de l'exactitude des déterminations des pertes des trois canaux lombards, et enfin, ce qui peut avoir lieu sous le climat et avec le sol de la Lombardie, peut se trouver très-erroné sous un autre climat et sur un autre sol.

Nous terminerons ce que nous voulons dire sur un sujet pour lequel nous avons le regret de ne rien pouvoir avancer de positif, en transcrivant l'opinion d'un de nos plus savants ingénieurs, dans l'expérience duquel nous avons la plus entière confiance.

« Les pertes par évaporation, dit l'inspecteur *Minard* (1), dépendent évidemment du climat. Si à Paris on compte moyennement sur $1^m,40$ d'évaporation par année dans les lieux ouverts, mais abrités, et sur $0^m,60$ de pluie pendant le même temps dans les lieux découverts, on croit que la perte définitive sera de $0^m,80$ par année, ou environ $0^m,00225$ par jour, pour une surface d'eau à découvert. Il faudrait donc multiplier par cette hauteur les superficies du bief de par-

tage (1), des biefs immédiatement au-dessous jusqu'aux premières prises d'eau, des réservoirs versant au point de partage, et en général de toutes les eaux qui doivent l'alimenter, pour avoir le volume perdu en 24 heures par l'évaporation dans un canal des environs de Paris.

« Telle est à peu près la marche qu'on suit dans le calcul des pertes par évaporation ; mais il faut convenir qu'elle ne conduit pas à un résultat réel.

« 1° Plusieurs considérations empêchent d'assimiler l'évaporation dans un canal ouvert à tous vents, à celle des vases employés dans les expériences faites à ce sujet ;

« 2° Il est plus prudent, au lieu de faire le calcul sur les résultats annuels, de l'établir sur les résultats comparatifs de la pluie et de l'évaporation des jours ou au moins des semaines les plus défavorables; autrement on s'expose à des mécomptes fâcheux.

« J'ai supposé plus haut $1^m,40$ de hauteur d'eau évaporée annuellement dans les environs de Paris ; c'est en effet le chiffre qu'on a admis jusqu'à présent. Je ne connais pas les expériences sur lesquelles il est fondé ; celles qui ont été faites dernièrement au canal de Bourgogne donnent un tout autre résultat ; en voici le tableau :

LIEUX.	ANNÉES								
	1831	1832	1833	1834	1835	1836	1837	1838	1839
Saint-Jean-de-Losne.	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.	mill.
Pluie.	998	492	682	617	744	1.144	695	714	904
Evaporation. .	577	»	»	»	»	777	594	679	601
Dijon.									
Pluie.	822	489	651	603	644	941	632	647	540
Evaporation. .	871	842	624	565	641	625	625	684	694
Pouilly.									
Pluie.	780	546	683	521	855	1.019	709	721	819
Evaporation. .	520	610	571	654	552	515	506	591	526
Montbard.									
Pluie.	624	550	576	451	687	1.017	814	648	771
Evaporation. .	621	887	803	»	»	495	407	458	475

(1) L'auteur ne traite que des canaux de navigation.

« Les pertes par infiltration sont incalculables ; elles varient depuis un à deux centimètres d'abaissement par vingt-quatre heures jusqu'au *centuple* ; elles dépendent de beaucoup de circonstances, mais principalement de la nature du terrain dans lequel est ouvert le canal ; nous remettons à citer des exemples quand nous parlerons des moyens employés pour remédier aux filtrations qui présentent peut-être le plus grand obstacle à la confection des canaux. »

Nous avons vu que les plantes aquatiques, en diminuant la section et en augmentant le périmètre mouillé, font diminuer par leur croissance la dépense d'un canal de section donnée. Cette diminution peut être très-forte et aller jusqu'au tiers ou au quart de l'eau débitée par le canal dans son état normal ; mais il est également impossible de la déterminer *a priori* d'une manière tant soit peu exacte pour un canal projeté.

Dans tel canal de la Lombardie ou du Piémont, on est forcé de faucher ces herbes deux fois par an, tandis que dans tel autre fort peu éloigné du premier, on en trouve fort peu.

Nous sommes donc encore ici dans le vague et forcés de convenir qu'on ne peut rien prévoir pour se guider d'une manière certaine dans la détermination de cette diminution de dépense d'eau.

§ III. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LE TRACÉ ET L'ÉTABLISSEMENT D'UN CANAL.

Il y a ici différentes espèces de canaux qui doivent satisfaire à des conditions assez diverses.

Nous distinguerons :

1° Les grands canaux d'irrigation et de navigation à la fois, auxquels nous avons consacré un chapitre spécial, qui est le suivant.

2° Les grands canaux d'irrigation, qui sont toujours dérivés d'une rivière, et pour lesquels les réservoirs ne seraient généralement que d'un faible secours, ces canaux débitant d'ordinaire plusieurs mètres cubes d'eau par seconde, et ne pouvant guère être alimentés par un réservoir ordinaire pendant plusieurs jours.

Les canaux de ce genre sont creusés ou par l'Etat, ou par des entrepreneurs ou compagnies qui en obtiennent la concession de l'Etat.

Dans l'un et dans l'autre cas, il faut que l'entreprise soit

profitable et qu'elle rapporte proportionnellement à la dépense qu'elle a causée.

Malheureusement, en France c'est à peu près toujours le contraire qui est arrivé, c'est-à-dire que les entrepreneurs de canaux d'irrigation ont souvent fait la richesse de leur pays, mais en se ruinant eux-mêmes (1).

Nous pourrions en citer des exemples; mais nous renvoyons le lecteur au premier volume du traité des irrigations de *Nadault de Buffon*, où il trouvera l'histoire détaillée des principaux canaux de cette espèce.

Nous ne voudrions pas décourager les personnes qui voudraient se dévouer au bien de leur pays en entreprenant des canaux d'irrigation, mais nous ne devons pas cacher que, dans l'état actuel des choses, leurs projets seront toujours modifiés par l'administration, de manière à rendre ruineuse ou du moins bien peu profitable leur entreprise. Personne ne peut contester le savoir des ingénieurs du gouvernement, mais le désir de voir exécuter des travaux remarquables les rend peu préparés à donner la direction convenable à des travaux destinés à l'agriculture. Un ingénieur distingué auquel on faisait remarquer que tel ouvrage d'art aurait pu se faire avec un dixième de la dépense, répondit: cela est possible, mais ce ne serait plus une œuvre romaine que j'aurais construite.

La partie économique d'un grand canal d'irrigation n'est pas facile à étudier, et elle dépend de tant de circonstances locales et variables, qu'elle ne peut pas donner lieu à des règles généralement applicables

Quelquefois on a un terrain à irriguer, et l'on doit chercher les moyens de se procurer l'eau nécessaire de la meilleure manière possible et à peu de frais. D'autres fois on dispose d'une certaine quantité d'eau, et on doit l'utiliser de la manière la plus profitable pour l'agriculture. Le plus souvent ces deux conditions se trouvent combinées en se limitant l'une l'autre.

En général, une certaine partie d'un canal, à partir de la prise d'eau, ne peut servir à l'irrigation, car la bande de terrains irrigables serait presque nulle, resserrée qu'elle est entre le canal et la rivière. Cette partie ne sert que de canal d'amenée pour porter l'eau sur les terrains disposés favorablement pour en recevoir les bienfaits.

(1) Voyez l'histoire du canal ou ruisseau de Solitar, qui a ruiné son constructeur, dans *Jaubert de Passa*, Mémoire sur les cours d'eau, etc., p. 185.

Il n'est donc pas nécessaire que le tracé de cette partie satisfasse aux exigences d'un canal d'arrosage; on pourra, si la disposition du terrain l'exige, y établir des tunnels et des grands remblais ou des tranchées profondes; on n'aura à tenir compte, en établissant l'utilité de ces travaux, que de la solidité et de l'économie pécuniaire.

Cette partie du canal qui ne sert pas directement à l'irrigation, peut paraître, de prime abord, une charge de l'entreprise que l'ingénieur doit s'efforcer de rendre aussi petite que possible. Il n'en est pas tout à fait ainsi, et *Nadault de Buffon* observe, avec raison, que dans le midi, où par économie on avait raccourci cette partie dans les canaux dérivés de la Durance, on a été forcé de reporter ensuite la prise d'eau beaucoup plus en amont pour que le canal ne chômât pas en partie forcément dans les moments d'étiage de la rivière.

Lorsque les terrains à irriguer sont donnés, le meilleur moyen de déterminer l'emplacement de la prise d'eau consiste à se donner une pente et à chercher, au moyen de nivellements préparatoires, à quel point de la rivière il faut aboutir pour que le sol du canal soit d'une quantité suffisante en contre-bas de l'étiage, pour pouvoir convenablement s'alimenter.

Cette première partie de canal est presque toujours celle qui a les plus faibles pentes, car il y a, généralement, avantage à porter l'eau aussi haut que possible, sur le territoire à irriguer. Or, comme elle doit, en même temps, débiter la plus grande quantité d'eau, il s'ensuit que sa section sera la plus grande. Il ne faut pourtant pas négliger de lui donner le plus de pente possible, particulièrement si le canal doit recevoir des eaux troubles, car c'est dans cette partie que les eaux, ayant une moindre vitesse que dans la rivière, commencent à déposer les matières qu'elles tiennent en suspension, et que l'on doit craindre les atterrissements qui dérangent le régime du canal.

La seconde partie forme ce qu'on peut proprement nommer le canal d'arrosage. Elle est destinée à fournir l'eau aux différents canaux d'amenée secondaires, et aux rigoles de distribution.

Les prises d'eau doivent s'y faire sans barrages, qui modifieraient le régime du canal, aussi il convient d'éviter dans son tracé les grands remblais et les déblais. Ce n'est pas que

pour traverser une vallée profonde ou un contre-fort, on ne puisse, lorsque cela présente de l'économie, établir un remblais ou même un pont aqueduc, une tranchée ou un tunnel, mais il faut donner à ces ouvrages la moindre longueur possible, pour permettre de faire des prises d'eau en terrain naturel, aussi rapprochées que peuvent l'exiger les besoins de l'agriculture.

Il peut arriver qu'après avoir servi à l'irrigation d'un territoire convenablement disposé pour les arrosages, le canal doive se porter sur un autre qui en est séparé par une colline. Il peut alors y avoir avantage à creuser un tunnel et à irriguer les parties du coteau sujadcent, au moyen d'une dérivation secondaire qui les suivrait en les contournant ; on choisira le tracé le plus économique.

Mais on peut dire, en général, que la ligne de moindre déblai, c'est-à-dire celle dans laquelle les déblais compensent les remblais, est préférable, à moins de circonstances particulières dans le tracé de canaux de simple arrosage.

Dans les pays accidentés, cette ligne fait souvent des angles aigus qu'il faut éviter, pour ne pas voir le débit d'eau moindre qu'on ne le supposait d'après les pentes et les sections, et pour ne pas avoir des dégradations et des atterrissements fréquents dans un canal qui transporte des eaux troubles.

On adoucit les angles en les raccordant par des courbes d'un assez grand rayon (1).

Nous pensons que dans le tracé des grands canaux, ces courbes ne devraient jamais avoir moins de 80 mètres de rayon et que généralement on devrait les faire supérieurs à 150 mètres.

Ces canaux perdent, peu à peu, leurs eaux qu'ils versent dans les rigoles secondaires et de distribution ; leur portée diminue, et il est utile de diminuer leur section ou leur pente. Le premier moyen se traduit en une économie dans les dépenses de terrassement.

On doit éviter de faire passer le canal sur des roches fendillées ou sur d'anciennes carrières, qui en absorberaient, par infiltration, la plus grande portion de l'eau, sans aucun profit, et, en général, de lui faire traverser des terrains trop perméables. Il est utile, dans ce cas, d'augmenter son

(1) On emploie des arcs de cercle ou de parabole tangents entre eux ou aux alignements droits.

parcours, quoique, en règle générale, le parcours doit être le plus court possible pour diminuer la dépense.

Les traversées des villes et villages sont toujours coûteuses et difficiles, aussi faut-il les éviter et n'y avoir recours que dans l'impossibilité de faire autrement.

Si la pente du terrain était trop forte, pour ne pas augmenter, outre mesure, celle du canal, on se ménagerait des chutes dans des endroits convenablement situés pour les utiliser pour l'industrie.

3° Les canaux secondaires ou rigoles particulières dérivées des canaux principaux. Ces canaux peuvent servir à l'irrigation dès leur commencement, ou ils peuvent avoir un long développement avant qu'on utilise leurs eaux. Ils peuvent donc, comme les précédents, se diviser en deux parties, celle qui ne sert qu'à la conduite des eaux, et celle qui sert à leur distribution. Ce sont là les véritables canaux d'amenée dont nous avons parlé dans le Livre II.

Les dimensions et l'importance de ces canaux secondaires sont extrêmement variables. Il y en a d'aussi considérables que des canaux principaux, et d'autres très-courts et d'une très-faible portée. Quoique semblables aux canaux précédents, on ne peut donc leur appliquer, qu'avec des réserves dépendantes de leurs dimensions, les remarques supérieures.

Il est évident que les angles sont beaucoup moins à éviter, par exemple, dans un petit canal que dans un canal principal ; aussi il ne faut pas s'astreindre à donner un aussi grand rayon aux courbes de raccordement ; 8 ou 10 mètres de rayon seront bien souvent plus que suffisants dans ces cas.

Si le débit du canal permet d'en utiliser les chutes pour l'industrie, on les établira dans des lieux convenables pour remplir cet objet ; mais, dans le cas contraire, il y aura souvent avantage à augmenter le nombre de chutes en diminuant leur hauteur ; car il y aura économie à avoir plusieurs petites chutes qui ne demanderont qu'un mur de peu d'importance, souvent en pierres sèches, plutôt que d'établir une chute unique, qui nécessiterait des travaux d'art importants.

Dans ces canaux secondaires, il faut éviter, avec plus de soin encore que dans les canaux principaux, les ouvrages d'art toujours dispendieux. Une petite section fait qu'il y a, presque toujours, économie à allonger le développement du canal plutôt que d'établir des aqueducs, des tunnels, etc.

Nous savons que les ingénieurs aiment, par amour-propre, à construire des travaux d'art remarquables, mais il doivent se méfier de cette tendance, qui est presque toujours ruineuse pour l'entreprise, dont, après tout, ils ne sont que les agents. Les chemins de fer français sont un exemple frappant de la fausse voie dans laquelle s'engagent les compagnies qui permettent aux ingénieurs et architectes d'établir des constructions élégantes, si on le veut, mais qui ne sont d'aucune utilité pour l'entreprise. C'est en agriculture, surtout, qu'on ne doit jamais oublier cet ancien adage, que c'est avec les petits liards qu'on fait les gros sous. Quant au choix des endroits où il faut placer les travaux d'art reconnus indispensables, nous en parlons dans le chapitre où nous traitons avec détail de l'établissement de ces constructions.

4° Les petites dérivations particulières qu'on prend dans les rivières et ruisseaux, et les canaux d'amenée pour les eaux des sources et des réservoirs, rentrent parfaitement dans la catégorie précédente, et on peut leur appliquer les mêmes considérations.

Dans ces canaux, dont la section est généralement fort petite, il peut être utile de diminuer leur pente au lieu de diminuer leur section, au fur et à mesure qu'ils dépensent leur eau pour les irrigations. Si la conformation du sol s'y opposait, il serait encore plus avantageux de diminuer la pente, en se ménageant des petites chutes, que de rétrécir outre mesure leur section.

Il est ici à remarquer de nouveau que, plus le terrain traversé est perméable, plus il convient que les pentes soient fortes pour avoir moins de pertes, causées par les infiltrations.

On voit, d'après ce qui précède, que dans les pays de grandes irrigations, les canaux forment un réseau qu'on pourrait assimiler aux artères des animaux, le cœur serait représenté par la rivière qui les alimente, et les canaux, qui sont les artères, se divisent et se subdivisent jusqu'à ce qu'ils aient porté la fertilité, qui est la vie du sol, à tout le territoire arrosé. Mais la comparaison ne s'arrête pas là, car les veines vont être représentées par les canaux colateurs dont nous allons parler.

5° Les grands et petits colateurs. Ces canaux remplissent précisément la mission contraire des canaux d'arrosage, et ils sont tout aussi nécessaires à la prospérité de l'agriculture.

Les canaux d'irrigation fournissent l'eau à la terre, les colateurs la débarrassent de l'eau surabondante. On peut être forcé de faire des colateurs, ou canaux d'assainissement, là où il n'y a pas de terrains irrigués, pour dessécher des marais ou des terrains inondés; mais un canal d'irrigation doit toujours être accompagné de colateurs bien disposés, si l'on ne veut pas voir croupir les eaux dans les parties basses, et les changer en véritables marais, comme cela est arrivé sur plusieurs parties de la Provence, où l'on se débarrasse fort mal des eaux surabondantes aux irrigations.

Les canaux d'arrosage ont le plus d'eau à leur commencement, et leur portée va en diminuant; les colateurs, au contraire, sont destinés à recevoir toujours de nouveaux affluents et à grossir jusqu'à leur embouchure.

Les considérations d'après lesquelles on doit les établir, sont donc toutes différentes. Les premiers doivent se tenir, autant que faire se peut, sur le faîte des coteaux, pour déverser leurs eaux sur les deux versants à la fois; les seconds doivent toujours suivre les thalwegs, pour ne pas laisser de terrains inférieurs qui ne puissent pas écouler leurs eaux. Il y a pourtant des colateurs qui suivent, en les contournant avec pente, les penchants des collines; mais alors ils ne servent qu'à l'assainissement des terrains supérieurs, et ils rendent souvent plus humides les terrains inférieurs.

C'est une disposition défectueuse qu'il faut éviter autant que possible.

Il va sans dire qu'un colateur ne doit être jamais établi en remblai, mais on peut, au contraire, sans inconvénient, le faire en tranchée.

Si, dans les canaux d'arrosage, il peut être utile de diminuer les pentes pour embrasser une plus grande surface de terrains irrigables, dans les colateurs, il convient toujours, lorsqu'on le peut, d'augmenter la pente jusqu'à ses limites fixées par la résistance des terres dans lesquelles ils sont creusés.

Lorsque, par des observations hygrométriques, on aura déterminé la quantité d'eau que le colateur devra écoulér par seconde, on déterminera ses dimensions et sa pente au moyen des formules du chapitre I^er^ de cette partie; mais il est à observer que le plus souvent la pente n'est pas arbitraire, puisqu'on a pour données son embouchure et le niveau de la rivière dans laquelle il verse son eau; par la même raison, on

ne peut augmenter généralement sa profondeur que dans des faibles limites ; c'est donc sur la largeur moyenne qu'il faut opérer.

Dans les canaux de colature à forte pente, les angles aigus sont à éviter autant que possible, mais les courbes de raccordement auront des rayons qui varieront avec l'importance du canal ; les limites que nous avons données pour les canaux d'arrosage, nous paraissent également applicables aux colateurs.

L'embouchure des grands colateurs dans les rivières doit être étudiée avec le plus grand soin, pour éviter les endroits où des atterrissements les boucheraient après chaque crue, et entraîneraient à des curages fréquents et dispendieux.

Il arrive souvent que les colateurs débouchent dans des rivières endiguées, telles que le niveau de leurs crues est supérieur à celui des terrains environnants traversés par le colateur; dans ce cas, il faut que leurs embouchures soient fermées soit par des vannes, soit par des clapets, dont nous parlerons dans le chapitre des ouvrages d'art ; sans cette précaution, l'eau de la rivière refluerait dans le colateur, qui inonderait les campagnes qu'il est destiné à assainir.

Il est vrai que son écoulement cessant pendant les crues, il y aura stagnation d'eau temporaire ; mais le mal serait bien plus grand, si l'eau de la rivière venait s'ajouter à l'eau d'écoulement.

Nous remarquerons, enfin, que le désir de donner aux canaux d'arrosage des directions rectilignes sur une grande étendue, peut entraîner dans des frais inutiles ; mais que pour les colateurs ce désir pourrait être désastreux, en leur empêchant de suivre les thalwegs, qui sont leur position naturelle.

Si on a un ruisseau ou une rivière à sa portée, c'est là le meilleur colateur possible ; et on ne fera que les travaux nécessaires pour faciliter l'écoulement des eaux, travaux qui se réduisent à des curages, à des redressements pour augmenter les pentes, et quelquefois à la suppression de quelques moulins, qui, trop multipliés, partagent la rivière en biefs presque de niveau. On ferait à coup sûr une dépense improductive, si on pensait qu'un canal latéral pût mieux servir de colateur que la rivière elle-même, puisqu'il ne pourrait tout au plus avoir que la même pente, et presque toujours une moindre section.

Dans les pays où les arrosages sont pratiqués en grand et avec intelligence, spécialement en Lombardie, les canaux colateurs deviennent à leur tour, après un certain parcours, des canaux d'arrosage ; ils changent de nature et doivent être tracés suivant les règles qui conviennent à ceux-ci.

Les colateurs destinés à l'assainissement des marais, sont les canaux dont le tracé présente le plus de difficulté ; car alors les pentes sont très-faibles, et les terrains difficiles. La plus grande exactitude dans les nivellements est alors encore plus nécessaire que dans les autres cas.

6° Les canaux de décharge. Ils prennent leur eau des canaux d'irrigation par des ouvrages d'art nommés déchargeoirs, dont nous parlerons dans la suite, et ils ont un double but. Ils servent à décharger une trop grande quantité d'eau, qui, pendant les crues et les averses, pourrait engorger le canal et faire de graves dégradations.

Leur utilité est indubitablement démontrée par l'expérience, et on a dû peu à peu les multiplier sur différents canaux de Lombardie, où l'on n'en avait pas établi d'abord.

Ils servent ensuite à vider rapidement le canal lors de l'époque des curages, et à diminuer ainsi le temps des chômages.

Quant à leur tracé, il est semblable à celui des colateurs, et nous ne nous y arrêterons pas davantage.

§ IV. TRACÉ.

Le tracé d'un canal d'irrigation peut présenter plus de difficulté que celui d'un canal de navigation ; il est digne en tous points d'exercer la capacité d'un ingénieur.

Dans ce genre de travail, chaque ingénieur se fait une manière à lui propre de procéder; aussi, nous ne pouvons donner ici que des généralités, sans entrer dans de longs et fastidieux détails. Du reste, comme nous n'écrivons pas une encyclopédie, nous supposerons que les lecteurs connaissent l'usage des instruments de nivellement et d'arpentage.

La première chose que doit faire un ingénieur avant de commencer le tracé d'un canal, quelle que soit son importance, c'est de parcourir et d'observer les lieux avec la plus grande attention. Son habitude des nivellements lui fera juger, d'une manière assez approximative, les pentes, et reconnaître facilement les principaux points par lesquels il pourra faire passer son canal. Par des considérations économiques, il dé-

terminera d'abord le point de départ et le point d'arrivée, et il constatera ensuite si de graves difficultés ne s'opposent pas à leur adoption, du moins dans un avant-projet.

La nouvelle carte de France, publiée par le dépôt de la guerre, pourra l'aider beaucoup dans ce travail préparatoire, puisqu'on y trouve de nombreuses cotes de nivellement toutes rapportées au niveau de la mer.

L'ingénieur commencera par tracer sur cette carte, en parcourant le terrain, la ligne qui lui paraît la meilleure pour le canal projeté.

Cette inspection préliminaire du terrain est de la plus grande importance, et c'est dans la première détermination d'une ligne, qu'on modifiera dans la suite, que se montre le talent de l'ingénieur, qui sait prévoir les difficultés. Souvent deux lignes, qui paraissent aussi avantageuses l'une que l'autre à la première vue, seront tracées sur la carte, en se réservant de choisir, dès que l'on pourra mieux les juger, par des nivellements en long.

Ce premier travail terminé, on procédera aux nivellements en long préparatoires, qu'on fera généralement avec un niveau à lunette et à grands coups, pour se rendre compte de la possibilité de la ligne projetée, ou pour choisir entre plusieurs lignes pour lesquelles on est dans le doute. Ces nivellements en long doivent être accompagnés de quelques nivellements en travers, spécialement en suivant les lignes des faîtes et les thalwegs qu'on traverse. On peut, avec ces profils, se rendre compte de l'avantage qu'on aurait à remonter ou descendre la ligne du canal.

Il est indubitable que si on avait le plan d'une très-large bande de terre levée par courbes de niveau, comme le font les officiers du génie pour leurs projets de fortifications, le tracé d'un canal deviendrait très-facile et serait une opération qu'on ferait presqu'en entier dans son cabinet avec sa règle et son compas ; mais, comme un tel plan serait extrêmement coûteux et demanderait beaucoup de temps et des géomètres très-habiles, nous pensons que dans la pratique on ne doit pas y avoir recours.

Les profils en travers dont nous venons de parler le remplacent en partie, et, tout ce qu'on peut faire, c'est de les multiplier à mesure que le terrain devient plus accidenté. Dans des terrains ordinaires, il suffira de les espacer de 500 à 800 mètres ; mais, si on croit devoir faire des grands changements à la ligne projetée, il faudra les prolonger en conséquence.

D'après ces premiers nivellements, on se rendra compte : de la possibilité d'ouvrir un canal suivant la ligne projetée, des grands déblais et remblais, des ouvrages d'art, etc.

Avec ces données, on pourra tracer sur un plan général, calqué sur les plans d'assemblage du cadastre, une ligne beaucoup plus rapprochée de la ligne définitive qu'on adoptera, que celle tracée sur la carte après la simple inspection du terrain.

C'est alors qu'on procédera à des nivellements en long et en travers définitifs.

Nous avons l'habitude de faire nos nivellements en long au niveau à lunette, et de les vérifier chaque jour par un nivellement fait en sens inverse. A chaque angle de la ligne, car nous ne raccordons les alignements par des courbes que lorsque nous traçons le canal, nous faisons solidement planter un fort pieux en chêne, dont la tête sciée carrément sert de repaire, et que nous numérotons sur une de ses faces. A chaque point du nivellement en long, nous faisons, avec un niveau d'eau, un nivellement en travers, que nous prolongeons assez des deux côtés de la ligne principale pour permettre de varier le tracé dans d'assez grandes limites.

Lorsque la pente transversale est forte, il n'est pas besoin de prolonger beaucoup ces profils ; mais, lorsqu'elle est faible, il faut souvent leur donner 2 et 300 mètres de longueur

Nous rapportons tous ces nivellements au même plan de niveau. Nous levons en même temps, bien exactement, tous les angles avec un bon graphomètre, ou bien avec un cercle répétiteur ; mais, pour plus de facilité, nous faisons toujours, à moins de circonstances toutes spéciales, les profils en travers, chacun suivant une ligne droite perpendiculaire à la direction du profil en long (1).

Nous dessinons ensuite, sur les plans parcellaires du cadastre, ces profils, en marquant par un point les points nivelés, et en écrivant les cotes à côté entre deux parenthèses. Il est évident qu'il faut niveler un nouveau point à chaque changement de pente du terrain, suivant la ligne nivelée.

(1) Lorsque nous voulons avoir un profil en travers dans un thalweg, au sommet d'un angle de la direction du nivellement en long, nous le traçons suivant la bissectrice de l'angle.

Des sondages faits de distance en distance sur la ligne du profil en long, et dont nous marquons l'emplacement sur les plans, nous indiquent la nature des terrains traversés, et complètent les notions nécessaires pour que nous puissions, dans notre cabinet, procéder au tracé de la ligne à peu près définitive du canal, et au calcul des terrassements.

En effet, nous portons la ligne du canal à droite ou à gauche de celle du profil en long nivelé, de manière à avoir des pentes convenables, et nous raccordons les alignements droits avec des courbes sur les plans. Nous avons alors, au moyen des profils en travers, le nivellement en long et les profils en travers de cette ligne définitive, puisque, dans tous les profils, la pente étant uniforme entre deux points nivelés, une simple règle de trois nous donne la cote du point où ils sont traversés par le tracé définitif.

La *fig.* 287 donne une portion du plan du canal de la Saudre, ainsi étudié, et le tableau F, le cahier de nivellement qui s'y rapporte.

Au moyen des repères, il est facile ensuite de porter ce tracé sur le terrain, en lui faisant toutefois subir les petites modifications qui peuvent être exigées par l'état des lieux.

Dans le tracé des rigoles secondaires ou des petites dérivations, nous ne faisons pas tous ces nivellements préparatoires; mais, après une inspection attentive du terrain, nous procédons tout de suite au tracé définitif en marquant les angles par des piquets, et en les arrondissant ensuite au moyen de courbes de raccordement. Nous n'entrerons pas dans de plus amples détails sur cette partie, qu'on exécutera toujours bien, dès qu'on aura l'habitude du travail sur le terrain.

§ V. EXÉCUTION DES TRAVAUX.

L'exécution des terrassements doit être plus soignée dans les canaux et autres ouvrages hydrauliques que dans toute autre construction; car les causes de destruction sont ici plus puissantes et plus nombreuses que partout ailleurs.

Les remblais doivent être faits par couches assez minces, avec des terres bien émiettées, et ils doivent être bien damés.

Les talus doivent être bien réglés au moyen de cerces, et les régalages bien uniformes. Nous renvoyons, pour de plus amples détails, aux ouvrages spéciaux qui traitent des travaux de terrassement.

Mais, nous devons avertir qu'on doit redoubler de surveillance dans les temps très-secs, car alors il est difficile d'émietter la terre, et que les mottes employées en remblais laissent des vides qui peuvent ensuite être la cause d'infiltrations dangereuses.

Quant aux travaux de revêtement en pierres et en gazons, aux corrois, etc., nous les envisageons comme des travaux d'art, et nous en traitons dans le Chapitre V de cette partie.

Quant au mode d'exécution de ces travaux, nous dirons seulement que pour les terrassements considérables des grands canaux, il nous paraît difficile de se passer, du moins en France, des entrepreneurs; mais, que pour l'ouverture des canaux secondaires et des rigoles qui se tiennent à peu près toujours en terrain naturel, nous préférons de les faire exécuter par des bricoles d'ouvriers à la tâche, et de les payer à tant le mètre courant. On simplifie ainsi énormément la comptabilité, et on a généralement des travaux bien exécutés et de moindres frais.

Les deux manières peuvent du reste être associées, en faisant exécuter à l'entreprise les terrassements considérables, et en donnant à la tâche les parties du canal ouvertes en terrain naturel.

§ VI. ENTRETIEN ET CURAGE.

Les canaux d'irrigation étant à eau courante et généralement à fortes pentes, ont besoin de beaucoup d'entretien, particulièrement pendant les premières années qui suivent leur ouverture.

Une petite dégradation, qu'on ne s'empresse pas de réparer, peut bientôt devenir considérable, et exiger un chômage incommode pour remettre le canal en bon état.

Ces canaux devront donc être l'objet d'une surveillance continue, et nous pourrions rapporter ici les usages du Piémont et de la Lombardie, qui devraient être imités, si en parlant d'administration nous ne sortions pas du cadre dans lequel nous nous sommes renfermé. Le lecteur, curieux de connaître les bonnes pratiques sur ce sujet, pourra s'instruire dans le Traité des Irrigations de *Nadault de Buffon*, et dans le Voyage en Espagne de *Jaubert de Passa*, deux ouvrages extrêmement remarquables, et qui traitent à fond la question administrative des irrigations.

Nous ferons remarquer seulement qu'il nous paraît fort difficile de bien entretenir un canal de quelque importance sans

y établir des cantonniers ayant chacun sa section, comme on le fait sur les routes, et comme on commence à le faire sur les chemins vicinaux, dans les départements qui jouissent d'une bonne viabilité.

Le besoin de fréquents curages se fait bien plus sentir dans les canaux d'irrigation que dans les canaux simplement de navigation.

En effet, dans ces derniers, un atterrissement n'est nuisible qu'autant qu'il obstrue assez la section pour gêner la navigation, et les herbes aquatiques sont même quelquefois utiles pour diminuer la vitesse dans un bief ayant une pente un peu forte.

Mais, dans les canaux d'arrosage, les atterrissements et les herbes aquatiques, en diminuant la vitesse et la section, diminuent en même temps le débit, et l'eau ne suffit plus aux irrigations auxquelles elle est destinée.

Aussi, on ne cure généralement qu'une fois par an les canaux de navigation, tandis qu'en Italie on est dans l'usage de faucher les herbes aquatiques, et souvent de curer deux fois par an les canaux d'arrosage.

On croirait, de prime-abord, que pour ne pas faire chômer les irrigations, il conviendrait de faire les curages à la drague. On a essayé de ce moyen en Italie, mais on y a renoncé; nous constatons le fait sans connaître les inconvénients de ce mode de curage, et nous ne sommes pas tout-à-fait convaincu qu'avec quelques modifications et perfectionnements on ne puisse un jour l'adopter de préférence à celui suivi, qui consiste à mettre à sec le canal, en le vidant par les déchargeoirs, et à curer le canal à la pelle.

Pour les canaux qui reçoivent des eaux troubles et qui charrient des sables et des graviers, il existe un moyen de curage économique et préférable sous tous les points de vue.

Il consiste à élever l'eau par un barrage en amont de l'atterrissement, et à faire une chasse qui emporte les dépôts par un déchargeoir avec vanne de fond.

On ne peut pas théoriquement, *a priori*, déterminer les points où se formeront ces dépôts ; mais, une fois qu'on les connaît par expérience, on peut être sûr qu'ils se formeront toujours à peu près aux mêmes endroits ; on établit alors dans le canal deux bajoyers avec rainures destinées à recevoir des poutrelles formant barrage en amont du dépôt, et un déversoir, avec vanne de fond, en aval de ce même

dépôt, pour pouvoir le faire disparaître au moyen d'une chasse.

Pour mettre à sec le canal, on ferme les martélières de la prise d'eau ; mais, comme souvent on n'a besoin d'en mettre à sec qu'une partie, on établit alors un bâtardeau avec des chevalets, des fascines et de la terre.

Observons pourtant que, si dans un canal à eaux dormantes, on peut mettre à sec un bief sans vider les autres ; dans un canal à eaux courantes, toute la partie en aval du bâtardeau se trouvera à sec, à moins qu'elle ne soit alimentée par des nouvelles prises d'eau ou des sources abondantes. Il est évident que les canaux d'arrosage gagneraient beaucoup, si on pouvait facilement les curer sans arrêter l'eau et interrompre les irrigations, souvent dans le moment où la terre réclame le plus les bienfaits de l'irrigation.

Nous terminons ici ce chapitre sur les canaux d'arrosage, dans lequel nous n'avons donné que des simples notions sur une matière qui pourrait à elle seule être le sujet d'un traité complet. Nous pensons pourtant que ces notions seront suffisantes pour faire comprendre l'importance des études de ce genre, et les soins que doit apporter l'ingénieur dans la rédaction d'un projet de canal d'irrigation.

CHAPITRE IV.

CANAUX D'IRRIGATION ET DE NAVIGATION.

Les canaux d'irrigation et de navigation qui servent à la fois : à l'agriculture par les arrosages ; au commerce par les transports par eau, et à l'industrie par l'utilisation des chutes qui mettent en mouvement des usines, peuvent, sans contredit, être placés parmi les constructions les plus utiles créées par le génie des hommes.

Nous donnons sur ces canaux, des notions encore plus succinctes que sur les canaux d'arrosage, et nous renvoyons pour tout ce qui a rapport spécialement à la navigation, aux ouvrages spéciaux, et spécialement au cours de construction de l'inspecteur *Minard* (1).

Le triple but auquel ces canaux sont destinés, modifie les conditions de leur établissement.

D'abord les pentes de ces canaux doivent être plus faibles que celles des canaux simplement d'arrosage (2) ; en les fixant on tiendra compte de l'importance de la navigation, et, si elle se faisait en partie à vide à la descente, on pourra donner des pentes plus fortes que dans le cas contraire. Généralement ces canaux seront pourvus d'écluses, mais elles ne seront pas tout-à-fait semblables à celles des canaux simplement de navigation. La condition de ces canaux, d'être à eau courante, fait que l'on doit établir, à côté de chaque écluse, une communication entre le bief supérieur et le bief inférieur, pour que l'écoulement de l'eau ne soit pas interrompu. Cette communication s'établit ordinairement au moyen d'un coursier dont on utilise la chute en y établissant une usine. La forme et la disposition de ce coursier peuvent varier beaucoup, suivant les dispositions du terrain et les exigences de l'industrie ; mais on doit toujours le commencer par un réservoir, pour ne pas devoir interrompre le travail de l'usine à chaque fois que l'on fait une éclusée pour les besoins de la navigation. En Italie, où on les utilise avec intelligence, ces chutes accolées aux écluses sont d'un grand produit.

(1) On peut aussi consulter le programme d'un Cours de Construction de *Sganzin*, les Mémoires sur le canal de l'Ourcq de *Girard*, *Dessessart*, *Andréossy*, etc.

(2) *Sganzin* (Cours de Construction, T. II, p. 89) fixe à 0 m. 35 par seconde la vitesse maximum que peut avoir l'eau dans une rigole navigable.

Nous ne connaissons pas de canaux d'irrigation à point de partage, et si on voulait en construire, il faudrait toujours alimenter leur partie basse, destinée aux arrosages, avec les eaux dérivées de quelque cours d'eau, car, en connaissant les difficultés qu'on éprouve pour se procurer, au bief de partage, des eaux suffisantes pour la navigation, il paraît difficile qu'on puisse, en aucun endroit, en avoir de surabondantes pour en céder une partie à l'irrigation. Le canal se formerait alors de trois parties bien distinctes : la première placée au point de partage serait simplement de navigation, et les deux autres, alimentées par des rivières, seraient de navigation et d'irrigation en même temps.

Beaucoup de canaux de navigation manquent d'eau, précisément à l'époque où les arrosages en réclameraient le plus ; aussi il ne faudra penser à les utiliser pour l'agriculture qu'autant qu'on pourra prendre plus d'eau pendant l'étiage, aux rivières qui les alimentent. La robine de Narbonne, qui ne remplit qu'imparfaitement le double but auquel elle est destinée, prouve qu'on peut bien difficilement associer ensemble la navigation et le colmatage pour un même canal, car les pentes qui seraient trop fortes pour le premier usage étant trop faibles pour le second, l'un des deux sera donc inévitablement sacrifié à l'autre. L'ingénieur en chef des ponts-et-chaussées, *Machart*, pense qu'on pourrait, dans les vallées de Sologne, creuser à mi-côte des petits canaux qui, en recueillant les eaux d'infiltrations et de sources, serviraient à l'irrigation et à une toute petite navigation destinée à transporter la marne dans l'intérieur du pays. Son projet n'étant pas encore exécuté, nous ne pouvons pas rendre compte des résultats.

Lorsqu'un canal d'irrigation doit, en même temps, servir à la navigation, il faut que les profils en long et en travers satisfassent aux exigences de ce second usage auquel on le destine. Nous avons, dans le chapitre précédent, traité des pentes, et fixé les limites dans lesquelles il faudrait se maintenir en projetant des canaux de ce genre ; il nous reste à nous occuper des alignements et de la section.

Dans ces canaux, plus que dans ceux simplement d'arrosage, il est utile de se ménager de longs alignements droits, qui sont plus facilement parcourus par les bateaux.

L'inclinaison des talus dépend toujours exclusivement de la nature du sol, mais le rayon des courbes de raccordement, la largeur moyenne et la hauteur d'eau dépendent des dimen-

sions des bateaux destinés à naviguer sur le canal. Il peut se présenter ici deux cas : ou le canal prend son eau ou débouche dans une rivière navigable, et alors il y a intérêt à adopter les dimensions des bateaux qui parcourent ordinairement cette rivière, pour éviter des transbordements des marchandises de bateau à bateau ; ou bien le canal est isolé, et alors on est beaucoup plus libre dans les dimensions à donner aux bateaux et conséquemment au canal, en réfléchissant pourtant toujours à ce que les grands bateaux exigent pour le même poids de marchandises, des frais de transport moindres que les petits.

« Les dimensions, le tirant d'eau et le tonnage des bateaux varient beaucoup en France : réglés primitivement sur l'état défectueux de la navigation naturelle des rivières, sur l'absence de bons chemins de halage, ils tendent à augmenter, 1° avec les améliorations faites à cette navigation, 2° aussi par une activité plus grande dans le commerce, car les bateaux d'un grand tonnage étant à *chargement complet* sous le rapport des frais de construction et de la manœuvre de halage, plus avantageux au commerce que les petits, sont substitués à ces derniers partout où le mouvement commercial est assez actif pour garantir charge pleine aux grands bateaux à chaque voyage.

» C'est ainsi que les bateaux qui remontent le Rhône, ont en quinze ans presque doublé de tonnage, et prennent maintenant 75 tonnes. Les bâtiments de la basse Seine, entre Rouen et Paris, portent jusqu'à 500 et 600 tonnes, ont de 6 à 7 mètres de largeur, 50 à 70 mètres de longueur et 2 mètres de tirant d'eau. Sur la Meuse, les bateaux de 1,m12 de tirant d'eau portent 250 tonnes (1). »

Voici maintenant les dimensions des bateaux de quelques rivières et de quelques canaux.

Bateaux à vapeur américains du Tennessée.

Longueur.	30m,45
Largeur y compris les roues. . .	9 14
Tirant d'eau avec charge. . . .	1 52
Tonnage.	120 tonnes.

(1) *Sganzin*, Programme d'un cours de construction, T. II, p. 74.

Bateaux à vapeur des parties inférieures du Mississipi aux Etats-Unis.

Longueur.	36m,50
Largeur.	11 00
Tirant d'eau.	2 30

Bateaux ordinaires du canal de la Chesapeake à l'Ohio, aux Etats-Unis.

Longueur	27m,43
Largeur.	4 11
Tirant d'eau.	0 91

Les plus grands bateaux ordinaires du canal de Middlesex aux Etats-Unis.

Longueur	22m,87
Largeur.	2 90 (1)

Bateaux du canal du Berry, en France.

Longueur	27m,00
Largeur.	2 50
Tirant d'eau.	1 00
Tonnage.	45 tonnes.

Bateaux qu'on suppose en France devoir naviguer sur les grands canaux.

Longueur	32m,00
Largeur.	5 00
Tirant d'eau.	1 30 (2)

Bateau du Naviglio grande, canal d'irrigation et de navigation en Lombardie.

Longueur	28m,00
Largeur.	4 75
Tirant d'eau	0 75

Bateaux du canal de Pavie (irrigation et navigation) en Lombardie.

Longueur.	32m,00
Largeur	4 00
Tirant d'eau	0 75

Les bateaux qui naviguent sur le Tessin ont de plus grandes dimensions.

(1) *Guillaume-Tell Poussin*, Travaux d'amélioration intérieure des Etats-Unis d'Amérique.
(2) *Sganzin*, Programme d'un cours de construction.

Dès qu'on connaît la longueur et la largeur des bateaux, il est facile de déterminer la longueur minimum du rayon des courbes de raccordement. Il faut pour cela envisager un bateau comme un rectangle dont on a les dimensions. Il est utile de faire les courbes telles que les bateaux puissent s'y croiser, et on fait alors ce rectangle double de largeur du bateau. Dans quelques cas difficiles, pourtant, on peut diminuer le rayon des courbes de telle façon qu'elles ne donnent passage qu'à un seul bateau. Dans les canaux à eaux stagnantes on diminue quelquefois le rayon des courbes de raccordement, en augmentant la section, mais cela devient très-difficile dans les canaux à eau courante, car tout leur régime se trouverait modifié. En effet, à un élargissement de la section correspond toujours une diminution dans la hauteur d'eau, à moins que pour faire compensation on ne diminuât la pente en même temps; mais comme l'eau arrive à la partie courbe avec une vitesse acquise, on ne saurait pas déterminer toutes ces quantités, de manière à ce qu'il n'y eût pas de dérangement dans le régime.

Voyons de quelle manière on peut déterminer la limite des rayons des courbes : soit R le rayon de la grande circonférence du canal, et r le rayon de la petite circonférence, A la demi-longueur du rectangle qui représente le bateau, et B sa largeur, on aura l'équation :

$B^2 + 2Br = R^2 - A^2 - r^2$, pour connaître la largeur B du bateau lorsqu'on connaît les rayons, et l'équation. $r = \frac{A^2 + B^2 - \delta^2}{2(\delta - B)}$ en nommant δ, la différence entre les rayons ou la largeur du canal. Du reste, la valeur de r ainsi obtenue, sera presque toujours plus petite qu'on ne la fait ordinairement, en vue de la solidité et de la vitesse qui serait diminuée par un coude trop brusque.

Dans les canaux d'arrosage et de navigation il est de toute nécessité de diminuer la section ou la pente au fur et à mesure que la portée du canal diminue de toute l'eau qu'il livre à l'agriculture pour les irrigations. Sans cette précaution, la hauteur d'eau y diminuerait rapidement, et les bateaux ne pourraient naviguer dans les parties inférieures du canal. La largeur des bateaux donnant un minimum pour la largeur du canal, ce n'est pas à l'extrémité inférieure qu'on pourra changer la largeur de la section qui s'y trouve généralement être à son minimum. On ne peut donc faire varier utilement la largeur de la section et la hauteur d'eau, qu'en les augmentant à partir de la partie inférieure du canal, à mesure que sa portée augmente de toute l'eau non encore dépensée en irrigations.

Beaucoup de ces canaux reçoivent de l'eau par des sources ou des rigoles dérivées des rivières, plusieurs fois sur leur parcours. Il y a alors une augmentation et une diminution alternatives dans leurs portées, ce qui rend l'une et l'autre bien moins sensibles.

Quant aux pentes, les choses marchent différemment, car on peut les diminuer à partir de la prise d'eau, en suivant le pourcours du canal. Cette disposition, de faire diminuer les pentes, nous paraît en général préférable à celle de faire diminuer les sections; mais la forme topographique du sol force presque toujours à les associer.

Sur un canal de navigation il faut avoir des chemins de halage. En France on en établit généralement deux, un de chaque côté de la voie d'eau. Cela présente quelques avantages pour faciliter le croisement des bateaux ascendants et descendants, qui peuvent être halés sur des rives différentes, et lors des grands vents on peut trouver de l'avantage à haler sur une rive plutôt que sur l'autre. Mais cela ne nous paraît pas compenser le surcroît de dépense qu'entraîne l'établissement de deux chemins de halage; aussi nous pensons que c'est avec raison qu'en Angleterre on n'en établit généralement qu'un seul. Il faut avouer qu'en France, le sentiment si développé du beau nous fait souvent oublier les calculs économiques qu'on devrait faire avant d'entreprendre de grands travaux. Les deux chemins de halage des canaux ont leur pendant dans les deux accotements des routes nationales et départementales, accotements qui en augmentent outre mesure la largeur, et qui ne sont, en résumé, que de véritables magasins de boue pour salir la chaussée lors de la saison des pluies.

La largeur des chemins de halages est très-variable. En France, où le halage se fait ordinairement avec deux chevaux accouplés, on a des chemins de 5, 6 et 7 mètres de largeur; mais c'est là une exagération coûteuse et de nulle utilité. En Angleterre, où l'on hale avec un seul cheval, la largeur des chemins de halage est comprise entre deux et trois mètres. L'inspecteur *Minard* (1) pense que leur largeur doit varier suivant le mode de halage. Si le halage se fait, dit-il,

(1) Cours de Construction, p. 237.

par des hommes, 1,m50 à 2,m00 suffisent; s'il est fait par des chevaux, il faut de 3,m00 à 4,m00. Lorsqu'on n'établit qu'un seul chemin de halage, on fait, du côté opposé, une petite banquette appelée marchepied, qui sert beaucoup lors des curages. Dans quelques cas, assez rares, de remblais faits avec des terrains peu consistants, il pourrait se faire que 1,m 50 fût une largeur insuffisante pour le marchepied. Nous ne nous arrêterons pas sur les grands remblais et les grandes tranchées, mais nous observerons que les remblais des canaux doivent être faits avec des soins tout particuliers, et qu'il peut être utile d'augmenter alors la largeur du chemin de halage, et d'y établir une balustrade en bois pour éviter les accidents. La prise d'eau de ces canaux ne peut plus être faite au moyen de martelières, à moins que la rivière qui fournit l'eau ne soit pas navigable. Il faut généralement avoir recours à une écluse qui fournit habituellement l'eau par des vannes, et qui permet aux bateaux de passer de la rivière dans le canal, *et vice versâ*. Dans quelques canaux d'Italie on n'a pas établi d'écluse pour séparer la rivière du canal, qui communiquent librement; mais il en résulte de graves inconvénients lors des crues qui se précipitent dans le canal et le détériorent rapidement. Cette écluse de séparation nous paraît une construction indispensable. Dans l'établissement des canaux de simple navigation, on calcule la dépense d'eau par les écluses d'après la navigation qu'on suppose devoir s'établir sur le canal, mais dans les canaux à eau courante ce calcul devient inutile, puisque la même eau qui passe par les coursiers latéraux, peut servir à l'éclusée, et être utilisée par l'agriculture dans les biefs inférieurs.

Nous terminerons ce court aperçu sur les canaux, par une citation extraite de l'excellent ouvrage de l'inspecteur-général *Minard* (1).

« Au-delà des berges on fait des contre-fossés. Lorsque la banquette est en déblai, ce contre-fossé est indispensable, si le terrain peut se raviner facilement, afin d'arrêter les eaux pluviales et de leur donner un écoulement hors du canal, où elles apporteraient des sables et des terres. Si la berge est en remblai, le contre-fossé sert à recueillir les eaux de filtration qui s'échappent du canal, soit pour les conduire jusqu'au bief inférieur, où elles peuvent rentrer, soit pour les empêcher d'inonder les propriétés riveraines et les diriger vers les points

(1) Cours de Construction, p. 238 et suiv.

d'écoulement naturel. Enfin, les contre-fossés servent à la délimitation du canal; mais ce mode de bornage est dispendieux: il faut acheter le terrain, et on ne lui donne aucun rapport. Il n'y a que très rarement des contre-fossés dans les canaux anglais, qui ne sont séparés des terres riveraines que par les clôtures ordinaires des diverses propriétés.

» Lorsque les banquettes sont assises sur des terrains mobiles et tourbeux, dans un marais, il faut s'attendre à les voir s'enfoncer graduellement, tandis que le fond du canal se relève. Le moyen le plus simple d'atténuer ce mouvement, qui est une position d'équilibre à laquelle on ne peut s'opposer, est de donner une largeur plus grande à la voie d'eau et des talus très-doux aux banquettes. L'exhaussement du fond du canal est alors trop faible pour nuire à la navigation. C'est ce qui a été exécuté avec succès au canal de la Haute-Dheule.

» Cette augmentation de largeur est un petit inconvénient, parce qu'ordinairement les terrains marécageux ont peu de valeur. (Nous avons vu qu'il n'en est pas de même pour les canaux à eau courante.)

» Lorsqu'on établit les remblais sur des terrains couverts de gazons, de joncs ou autres plantes, il faut avoir grand soin de les enlever, ainsi que la couche de terre où se trouvent leurs racines. Les tiges de ces plantes, recouvertes par les remblais, se pourrissent à la longue et laissent des vides que les terres ne remplissent point, parce que la plus grande partie du tassement a eu lieu auparavant; de là naissent des filtrations. La grande retenue de Fonserannes (canal du Midi) perd beaucoup par cette cause; afin d'étouffer les voies d'eau, on a été obligé dernièrement de faire une grande tranchée pour arracher les joncs et détruire cette solution de continuité qui existait depuis un siècle et demi. J'ai vu un accident du même genre au remblai d'une rigole conduisant la Somme au canal Crozat.

» On doit aussi éviter de placer la berge en remblai sur un coteau trop incliné, surtout si le terrain contient des sources à mi-côte. Dans ce cas, l'eau des sources ou du canal s'insinue entre les terres rapportées et le terrain naturel, fait l'effet d'un enduit, diminue le frottement et facilite le glissement de toute la berge en remblai vers le bas du vallon. Des mouvements de ce genre s'étant manifestés sur un point du canal du Berry, établi sur un coteau très-incliné du Cher, ils n'ont pu être arrêtés que par des aqueducs transversaux, sou-

tirant l'eau des sources recueillie dans un long aqueduc pratiqué à quelques mètres sous la cuvette du canal, laquelle était établie sur un corroi et garnie de béton.

» La position d'un canal sur un coteau rapide, au pied duquel coule une rivière, offre des chances d'accidents.

» Si le terrain recèle des sources et des couches d'argile, il est rare qu'il n'y ait pas quelques mouvements.

» Lorsque les couches sont inclinées, les parties que supportent les argiles, privées par les déblais de l'appui latéral qu'elles avaient, glissent dans la cuvette. Ce mouvement n'a pas lieu en masse sur toute l'étendue du coteau, mais par arrachements successifs.

» Quelquefois les argiles molles, comprimées par les terrains supérieurs, soulèvent le fond du canal sur lequel pesaient les terres qu'on a enlevées, et qui maintenaient l'équilibre. Dans ce cas, les talus s'enfoncent; des abaissements pareils se succèdent sur le coteau et présentent une suite de gradins. Ces mouvements ne se manifestent pas toujours au moment du déblai, le temps paraît être un élément très-influent de leur accomplissement.

» Les accidents arrivés sur le coteau de la Garonne, à Récate, lors de l'ouverture d'une route royale; ceux du coteau de la Loire, à Avrilly, pour l'ouverture du canal de Roanne; ceux du coteau de la Seine, à Ablon, pour le railway d'Orléans, témoignent des dangers de cette position critique des travaux de terrassement.

» Des mouvements semblables ont lieu également au milieu de terrains formés de couches presque horizontales; nous les retrouverons dans de grandes tranchées ouvertes dans le fond des vallées et près des forêts. »

On trouvera sur les canaux navigables, des notions très-étendues dans tous les traités spéciaux; on consultera avec avantage *Perronnet*, *Gauthey*, *Girard*, *Dutens* et *Huerne de Pommeuse*.

CHAPITRE V.

OUVRAGES D'ART.

Les ouvrages d'art s'expliquent beaucoup mieux par le dessin que par la parole; aussi, dans ce chapitre, nous resterons dans les généralités, en renvoyant, pour les détails, le lecteur aux planches et à leurs explications, où nous avons cherché à réunir ce qu'il y avait de plus utile dans cette partie.

§ Ier. BARRAGES DES COURS D'EAU.

Les barrages des rivières, pour faciliter la dérivation d'une certaine quantité de leur eau, présentent une importance très-variable en rapport avec la nature et la largeur de la rivière à barrer. Depuis le simple ruisseau de deux ou trois mètres de largeur jusqu'aux grandes rivières qui en ont plusieurs centaines, il y a, certes, une bien grande différence. Dans les pays de montagne, on barre très-souvent des ruisseaux et des petits torrents, pour en utiliser les eaux pour les irrigations, et les habitants ont un talent tout particulier pour savoir choisir l'emplacement d'un barrage et le faire aussi économiquement que possible. Ces petits barrages ne sont pas d'une très-grande durée, mais ils coûtent si peu, qu'on recommence sans grand dommage.

Avec des cours d'eau à très-fortes pentes, on fait des barrages fixes, sans craindre d'inonder les terrains supérieurs, lors des crues, et un rocher, un arbre déraciné, de grosses pierres roulées, des sables et quelques piquets sont les matériaux employés. Nous donnons aux *fig.* 179, 180, 181 et 182, les dessins de quelques-uns de ces barrages rustiques, qui rendent de très-grands services aux habitants des Pyrénées et des Alpes; car, avec des torrents dont le lit est si variable, ils ne pourraient pas y établir des barrages coûteux, qu'il faudrait changer de place peut-être plusieurs fois dans la même année (1). Lorsqu'on approche des plaines, les cours

(1) « Le système d'une digue, quelque important qu'il soit, ne doit jamais prévaloir sur la conservation des propriétés riveraines. Celles-ci seraient évidemment compromises, si l'on adoptait indiscrètement les digues fixes ou permanentes pour tous les canaux. En effet, dans les rivières ou plutôt les torrents de ce département (Pyrénées-Orientales), rarement les eaux ont-elles un courant fixe. La mobilité des atterrissements dénature sans cesse le lit. Un trou d'arbre les occasionne, quelque chose de moins encore les fera disparaître. » (*Jaubert de Passa*, Mémoire sur les cours d'eau et les canaux d'arrosage des Pyrénées-Orientales, p. 60.)

d'eau prennent un régime plus régulier, les terres qui les avoisinent ont une plus grande valeur, et les barrages demandent plus d'attention pour être établis d'une manière convenable. Les règles que nous allons établir peuvent s'appliquer aux petits comme aux grands cours d'eau, en tenant compte pourtant de toutes les circonstances accessoires que nous indiquerons dans la suite.

On peut étudier un barrage : 1° par rapport à son emplacement; 2° à sa direction; 3° à sa hauteur; 4° à sa forme ou, pour mieux dire, à son profil; 5° à sa connexion avec les berges; 6° à sa construction et aux matériaux employés; 7° aux ouvrages accessoires pour faciliter la navigation; et 8° enfin, aux effets qu'il produit. Nous allons étudier successivement les barrages sous tous ces points de vue.

1° Lorsqu'on doit établir un barrage, il semblerait d'abord qu'il y aurait de l'économie à le faire là où se trouve un rétrécissement du lit de la rivière, car la longueur en serait moindre qu'ailleurs; mais on doit observer que la hauteur et, par conséquent, l'épaisseur en seraient augmentées, car c'est dans les parties rétrécies que le courant a plus de hauteur, et que, d'ailleurs, on aurait de graves inconvénients, qu'il convient d'éviter en général. En effet, un débouché déjà rétréci deviendrait bien souvent insuffisant pour écouler les crues, après l'établissement d'un barrage, et alors les eaux pourraient, si les berges ne sont pas très-solides, se creuser un nouveau lit en tournant le barrage, et, à coup sûr, les terrains environnants en seraient inondés. Ces inconvénients n'auraient pas lieu si le barrage était mobile, c'est-à-dire si on pouvait le supprimer en entier lors des crues; hors ce cas, il faudra établir le barrage plutôt dans un élargissement en aval d'une maigre, que dans un rétrécissement de la rivière.

En choisissant cet emplacement, on portera beaucoup d'attention à ce que les terrains supérieurs et voisins ne soient pas inondés par son fait, lors des eaux moyennes et lors des grandes crues, s'ils ne l'étaient pas déjà, avant, naturellement. Si on ne pouvait pas éviter cette difficulté, il faudrait garantir les terrains qui bordent la rivière, par des digues suffisamment prolongées en amont du barrage.

Nous avons déjà vu qu'un barrage destiné à faciliter la prise d'eau d'un canal ne doit pas, autant que possible, être placé dans un angle prononcé du cours d'eau. On doit également éviter de le placer sur un fond affouillable; mais, comme

cette condition ne peut pas être toujours remplie, nous verrons dans la suite les moyens d'y remédier.

La solidité des rives dans lesquelles on doit enraciner les extrémités du barrage est encore plus importante que la solidité du fond, car la durée des ouvrages de ce genre en dépend en grande partie. Les rives peu solides présentent aussi l'inconvénient de se dégrader dès qu'elles doivent supporter habituellement une plus grande hauteur d'eau, et de là des éboulis et des atterrissements fâcheux.

2° Les ingénieurs ne sont pas d'accord sur la direction qu'il convient de donner aux barrages. Anciennement, on pensait qu'il convenait de les faire très-obliques, au courant ou au fil de l'eau. On pensait ainsi diminuer l'action de la chute en aval, en forçant l'eau à se déverser sur une plus grande largeur, puisqu'on croyait que les filets d'eau se dirigeaient, en quittant le déversoir, perpendiculairement à sa direction; mais l'inspecteur *Minard* n'admet pas ce dernier fait, et, d'ailleurs, un barrage incliné porte le courant contre une rive en aval, produit des éboulis et des atterrissements, et rend la navigation très-difficile à ses abords.

Il va sans dire que toutes ces difficultés n'existent pas, si le barrage doit être complet, c'est-à-dire s'il doit entièrement fermer un bras de rivière pour faire couler toute l'eau dans les autres bras.

On a fait ensuite des barrages perpendiculaires au fil de l'eau, et cette disposition est la plus économique, puisque c'est celle qui leur donne le moindre développement; mais la chute donne une très-grande vitesse à l'eau, en aval du barrage, et produit ainsi des affouillements bien plus considérables au pied du barrage que dans la disposition précédente.

On a fait encore des barrages sous forme de chevron brisé, et, de cette manière, l'eau qui se déverse d'un côté vient amortir la vitesse de celle qui se déverse de l'autre. Suivant la forme de la rivière, on donne plus de longueur à l'une des branches du chevron qu'à l'autre pour que la vitesse de l'eau qu'elles déversent se trouve à peu près détruite. Cette disposition, qui paraît préférable à toutes les autres, présente pourtant le défaut de donner lieu à un atterrissement dans le milieu de la rivière, en aval et assez près du barrage.

On a enfin fait des barrages en arc de cercle avec la partie convexe tournée en amont et formant des angles d'à peu près 60 degrés. Cette disposition, qui présenterait des avantages

aussi réels que la précédente, est trop coûteuse à cause de la difficulté d'appareiller les pierres suivant des lignes courbes.

3° La hauteur d'un barrage est donnée par la quantité dont on doit élever les eaux à l'étiage, pour qu'elles puissent alimenter le canal en construction. Comme le barrage peut faire déversoir sur toute sa longueur, ou seulement avoir un pertuis par où passent les eaux pendant l'étiage, et ne former déversoir que pendant les grandes eaux, il faudra, suivant les cas, pour déterminer sa hauteur, employer les formules ayant rapport aux déversoirs, formules que nous avons données plus haut. Il ne faut pourtant pas croire que la hauteur qu'on peut donner à un barrage-déversoir fixe soit illimitée. La solidité de construction ne permet pas, au contraire, de lui donner guère plus de 2 mètres à $2^{m},50$ d'élévation, et, malgré qu'on en ait fait de 3 et de 4 mètres, nous pensons que, hormis dans des cas exceptionnels, il faut s'en tenir à la première limite.

De la hauteur du barrage peut dépendre la submersion des terrains en amont, à moins que la rivière ne soit très-encaissée; mais, si le barrage est mobile, cet inconvénient n'a plus lieu que sur une moindre échelle, puisqu'on peut le faire disparaître lors des grandes eaux. Pour les prises d'eau des canaux, il est rare qu'on ait besoin d'élever l'eau de la rivière de plus de $0^{m},50$ à 1 mètre au-dessus de son étiage, et, à moins d'obstacles insurmontables, il convient toujours de remonter en amont la prise d'eau, plutôt que d'établir un barrage qui relève trop le niveau des eaux.

Les barrages-déversoirs d'une faible élévation ne produisent plus aucun effet lors des crues, tandis que, si on augmentait de beaucoup cette dimension, il y aurait chute, et, conséquemment, des dégradations, même pendant les crues ordinaires.

Enfin, si la rivière est navigable et que le barrage doive être traversé par un pertuis, on aura une chute dangereuse pour les bateaux, si la différence de niveau entre l'aval et l'amont est trop grande. Cet inconvénient est moins sensible lorsque les deux biefs de la rivière communiquent par une écluse.

Enfin, les dégradations qu'on doit craindre, soit en aval dans le lit, soit en amont sur les berges de la rivière, sont généralement en proportion de la hauteur de la retenue; d'où il faut conclure que, dans l'établissement d'un barrage-déver-

soir, il faut chercher à rendre la hauteur de la retenue le moins grande possible.

4° La forme ou profil d'un barrage-déversoir varie beaucoup dans les constructions établies avec succès.

On a des barrages avec parois verticales en aval et en amont, et avec le couronnement légèrement en pente vers l'amont.

Le massif de construction est généralement moindre dans ces barrages que dans les autres, mais un fort affouillement a nécessairement lieu en aval, près du pied du barrage, et, si ses fondations ne sont pas extrêmement profondes, l'affouillement finit par produire le renversement du barrage.

L'eau ensuite, qui, par sa chute presque verticale, perd presque toute sa vitesse dans son choc contre le sol, produit, à peu de distance au-delà de l'affouillement, des atterrissements gênants pour la navigation. Ces deux effets n'ont pas toujours lieu avec la même intensité, puisqu'ils dépendent aussi de la hauteur du barrage, de la direction du cours d'eau et de son régime; mais ils sont constants et ne diffèrent que du plus au moins.

On a essayé de faire des barrages avec talus, en amont, dans le but de prévenir le choc des arbres, glaçons ou cailloux roulés contre une paroi verticale qui pourrait en être endommagée. On ne peut rien dire de bien assuré sur leur utilité.

Des talus ainsi établis par enrochement de moellons ont été emportés par des eaux ordinaires, tandis que d'autres, en simple terre végétale, se sont très-bien conservés, et qu'il s'en est même formé de naturels, par des dépôts de la rivière, là où l'on n'en avait pas établi de prime-abord.

Ce qu'il y a de certain, c'est que des cailloux assez gros sont charriés par-dessus le barrage, malgré la vitesse à peu près nulle de l'eau au pied du barrage en amont, et il est évident que le dit talus peut faciliter leur mouvement de translation, mais il est encore douteux de savoir si cet avantage peut compenser le surcroît de dépense.

On a également fait des barrages avec la paroi en aval, en talus formant un glacis d'une inclinaison douce pour conduire l'eau. Cette forme paraît en tout préférable, si ce n'est qu'elle augmente de beaucoup les massifs de construction; mais comme ordinairement on peut y employer des matériaux moins coûteux, on la préfère généralement.

Ces barrages avec longs glacis en aval, ayant au moins de 3 à 6 de base pour 1 de hauteur, dirigent les eaux, dans leur chute, obliquement sur le fond de la rivière, et éloignent du pied du barrage l'affouillement qu'elles produisent; cet affouillement se trouve en même temps diminué, car l'intensité du choc se trouve amoindrie.

On a essayé de faire ces glacis concaves ou convexes; suivant leur coupe verticale, mais on n'en a pas tiré de bons résultats; aussi on y a renoncé. Ils étaient, du reste, fort difficiles à construire.

Souvent les différents profils dont nous venons de parler se trouvent associés; ainsi, un barrage peut avoir une partie verticale et l'autre en glacis, et plus souvent encore les glacis se trouvent formés par une suite de gradins.

On fait généralement l'épaisseur du couronnement d'un barrage égal à sa hauteur verticale. Nous ne connaissons pas l'origine de cette règle empirique, qui nous paraît en bien des cas susceptible de modifications.

Le couronnement d'un barrage-déversoir doit être parfaitement de niveau pour que l'eau s'écoule par une tranche d'épaisseur uniforme. Quelquefois on ne fait en déversoir qu'une partie du barrage, tandis que l'autre partie est assez élevée pour barrer complètement la rivière. Nous ne voyons pas de grands avantages à adopter cette disposition, non plus que celle qui consisterait à partager le barrage en plusieurs parties qui serviraient de déversoirs, au fur et à mesure de l'élévation des eaux, de manière qu'à l'étiage une seule partie servirait de déversoir, deux parties serviraient au même office dans les eaux moyennes, et tout le barrage deviendrait un déversoir dans les crues.

On a fait des barrages mobiles qui ont l'énorme avantage de pouvoir être supprimés en entier lors des crues et même des eaux moyennes.

L'inspecteur *Poirée* a attaché son nom à ces barrages, qu'il a portés à une grande perfection. Ils en a établi sur l'Yonne et sur la Seine qui fonctionnent parfaitement. Nous en donnons le dessin et la description f. 261. D'autres barrages ne sont mobiles qu'à leur partie supérieure, tandis que la partie inférieure est fixe; ils ont l'avantage de se manœuvrer en partie par eux-mêmes, mais nous nous méfions toujours des machines de ce genre, qui peuvent se passer de l'attention intelligente des hommes. Nous donnons, à la f. 215, celui qui a été

projeté pour l'amélioration de la navigation de la Petite-Saône.

Généralement, on fait des longs radiers en aval des barrages, qu'on appelle risbermes, et qui sont destinés à recevoir le choc de la chute. *Sganzin* en conseille la construction dans tous les cas, excepté dans celui où la rivière aurait un fond de rocher solide; mais l'inspecteur *Minard* met en doute leur efficacité, et rapporte des exemples dans lesquels les risbermes ont été bientôt emportés, n'ayant servi qu'à augmenter les frais d'établissement du barrage. Il paraîtrait, d'après cela, qu'il faut se résigner à avoir un affouillement à l'aval, et que l'ingénieur ne doit pas penser à le prévenir, mais à établir le barrage de manière à ce qu'il n'en soit pas endommagé. Lorsqu'on établit des risbermes, on leur donne une certaine pente pour faciliter l'écoulement de l'eau, particulièrement lorsque la paroi d'aval du barrage est verticale et non en glacis. Quelquefois les risbermes sont remplacés par des enrochements, qui sont encore plus facilement emportés lors des crues.

3° Il importe beaucoup que les barrages soient bien enracinés dans les deux rives pour qu'ils ne puissent pas être facilement tournés par la rivière. C'est dans ce but qu'on prolonge la construction dans une partie des rives, et que, quelquefois, on fortifie ces dernières en aval et amont du barrage, par des revêtements soit en fascines, soit en perrés, soit même par des murs de revêtement, constructions semblables à celles qu'on établit aux abords des ponts, qui sont, en résumé, de véritables barrages incomplets.

Le régime de la rivière, la direction des courants et la solidité du fond et des berges, sont les données qui doivent guider l'ingénieur dans le choix des ouvrages destinés à défendre les rives. Nous traitons ce sujet avec plus de détails dans un des chapitres suivants, en nous occupant des moyens de défendre les terres des dégradations produites par les rivières qui les bordent.

6° Les matériaux qui servent à établir des barrages sont ceux qu'on emploie dans toutes les constructions : la terre, le bois, les pierres naturelles et artificielles, enfin, les mortiers. Nous sortirions de notre cadre si nous voulions donner ici même un simple aperçu sur la nature et la résistance des différents matériaux qu'on emploie; le lecteur pourra trouver les détails et les connaissances nécessaires sur ce sujet

dans les traités spéciaux, et spécialement dans l'Art de Bâtir, de *Rondelet*, t. I ; dans les Leçons à l'Ecole des ponts et chaussées, de *Navier*, et dans les Mémoires sur la Chaux hydraulique, de *Vicat* (1).

Les barrages les plus simples et les moins coûteux sont ceux qu'on établit en gravier et en fascines contenues entre pieux et palplanches. On en a des exemples en Lombardie; mais lorsque les rivières deviennent torrentielles, ces barrages ne présentent plus assez de solidité; on pourrait alors remplacer les graviers par des paniers de graviers, et cette construction serait très-utile là où la pierre est rare et chère.

On a exécuté sur le Blavet des déversoirs en plans inclinés avec un noyau intérieur en terre, et avec parements en pierre à l'extérieur. Ces barrages, fondés sur un fond de rocher, ont été emportés par les crues, et on a dû les remplacer par des barrages en maçonnerie.

Dans des endroits où le bois est à bon marché, on a fait des barrages de petites dimensions, entièrement en charpente de bois, et, aux Etats-Unis et en Angleterre, sur la Tamise, on en a fait ainsi qui ont jusqu'à $4^m,70$ d'élévation. Ces barrages sont suivis en aval d'un risberme incliné en madriers cloués sur un grillage de traversines et longrines, arrêté lui-même sur des pieux. Une rangée de pieux jointifs ou de palplanches termine ordinairement le risberme en aval. Elle est quelquefois suivie d'un arrière-radier en fascinage ou en enrochement formé avec des paniers de gravier.

Les barrages à parois verticales sont souvent construits en maçonnerie pleine de pierres ou de briques, et couronnés par un dallage cramponné. Quelquefois on les construit avec coffrages en bois, formés de pieux et palplanches remplis en moellons, bordés sur leur couronnement. On a également fait des barrages avec des longs glacis, à l'aval, en maçonnerie pleine, mais ils sont revenus fort cher. Le plus souvent, on fait ces barrages au moyen d'un massif en pierres perdues, jusqu'à l'étiage, et en maçonnerie sans mortier au-dessus. Deux files de pieux en travers de la rivière le maintiennent, l'une du côté d'aval et l'autre du côté d'amont. Si le barrage est important, d'autres files de pieux, perpendiculaires aux premières, le partagent en plusieurs compartiments. Ces pieux sont liernés et moisés dans les deux sens et coiffés de chapeaux

(1) L'Aide-Mémoire de *Morin* et le cours de *Marie*, à l'Ecole centrale des arts et manufactures, peuvent aussi être consultés avec avantage.

qui affleurent le glacis. La surface de celui-ci est en gros moellons smillés, bien serrés entre les chapeaux, soutenus à la crête et au pied par des liernes. On a ainsi l'avantage de séparer le glacis en plusieurs cases, de diminuer les chances de dégradation et de faciliter les réparations. Souvent les moellons sont remplacés par des gros libages, lorsqu'on peut facilement s'en procurer.

Ces massifs sont terminés en amont par des talus en enrochement, et en aval par des pieux en quinconce, entre lesquels on jette de gros blocs de pierre pour continuer jusqu'au fond le talus du glacis.

Les chapeaux et la tête des pieux ne sont pas d'une longue durée, parce que, souvent à sec, les insectes et les plantes les font pourrir rapidement, et il est difficile de les remplacer sans défaire en entier le glacis. Pour remédier à cet inconvénient, on a pensé à les noyer dans l'épaisseur du massif, mais il faut alors faire le glacis en très-gros libages, ayant au moins $0^m,60$ de queue.

On peut aussi, dans ce système, faire le massif en maçonnerie ordinaire et couvrir le glacis avec des dalles cramponnées, ou bien remplir les encoffrements en charpente avec du béton ou de la maçonnerie de briques, et recouvrir le glacis avec un plancher.

Dans les barrages en pierres sèches, on a de nombreuses infiltrations, qui peuvent soulever les moellons des glacis. On y remédie, en partie, en établissant une ou deux rangées de palplanches en amont du barrage.

Les fondations des barrages doivent être solides; aussi, lorsqu'on emploie les encoffrements en charpente, il importe de donner aux pieux des dimensions suffisantes pour qu'ils atteignent le terrain solide, et, quant aux barrages en maçonnerie, des pieux et palplanches doivent y être employés toutes les fois qu'ils sont fondés sur le gravier, le sable, la glaise ou autre terrain peu solide.

On trouvera des notions importantes sur les fondations dans l'Art de bâtir, de *Rondelet*; dans le Traité de la construction des ponts, de *Gauthey*, et dans le Cours de construction, de *Séganzin*.

Sur les petites rivières ou ruisseaux, on fait des barrages en charpente fermés par des vannes avec radier en aval et en amont. Nous en avons établi un de ce genre à la Celle-Gué-

nand, mais ce genre de barrage est en tout semblable à la fermeture des pertuis, dont nous allons parler bientôt.

Enfin, les barrages temporaires peuvent être faits avec économie, au moyen de chevalets, de fascines et de graviers; mais ils ne servent pas alors de déversoirs, et si toute l'eau du ruisseau ne doit pas être dérivée, il faudra en faire une partie en déversoir dans un autre système.

L'établissement des barrages est une opération qui présente de graves difficultés, surtout lorsqu'on ne peut pas dévier la rivière. Les travaux devront être conduits avec la plus grande activité, pour éviter, autant que faire se peut, la saison des crues. Quoi que l'on fasse, il est bien difficile qu'on n'ait pas quelques avaries à réparer en cours d'exécution. On ne peut pas formuler de règles générales sur ce sujet; c'est à l'ingénieur à bien étudier le régime de la rivière et les ressources dont il dispose avant de commencer les travaux; mais, ce qu'il ne négligera jamais, c'est d'avoir tous ses matériaux préparés d'avance et n'ayant plus qu'à être mis en œuvre.

7° Souvent un barrage ne devient déversoir que lors des eaux moyennes ou des crues, et laisse passer par un pertuis les eaux surabondantes pendant l'étiage. Souvent il y a plusieurs pertuis, qui peuvent s'ouvrir et se fermer à volonté, et, quelquefois, sont-ils assez nombreux pour donner de l'écoulement à toute l'eau, même pendant les crues, sans qu'aucune partie du barrage devienne un déversoir. C'est ce qui arrive lorsqu'on barre une rivière à son passage sous un pont; car chaque arche forme un pertuis qu'on peut ouvrir ou fermer à volonté. Si le pont n'existe pas, il faut toujours établir un pont de service pour l'ouverture des pertuis, ce qui rend ce genre de barrages coûteux.

Ces pertuis peuvent simplement servir à l'écoulement de l'eau, ou bien encore au passage des bateaux, lorsque la rivière est navigable. Dans ce cas, on préfère à présent faire passer les bateaux par une écluse à sas établie dans le lit de la rivière ou sur une courte dérivation, car le passage par les pertuis est toujours dangereux et fatigue beaucoup les bateaux. Ces écluses sont à-peu-près semblables à celles qu'on établit sur les canaux de navigation. Les barrages à pertuis, dont *de Régemorte* paraît être un des inventeurs, ont sur les barrages fixes l'avantage de ne fonctionner que pendant l'étiage et de laisser un large débouché aux eaux moyennes et de crue. Les dimensions des pertuis dépendent de l'eau

qu'ils doivent laisser écouler, des dimensions des bateaux qui doivent les traverser, et du genre de fermeture adopté. Mais, dans tous cas, chaque pertuis nécessite l'établissement de deux culées ou bajoyers et d'un radier se prolongeant en amont et en aval de la fermeture. Si le pertuis ne doit pas servir à la navigation, la fermeture par vannes, semblables à celles des martelières, dont nous parlerons bientôt, nous paraît préférable à toutes les autres, surtout lorsqu'un pont de service assez élevé permet de monter, lors des crues, les vannes assez haut pour que leur partie inférieure ne plonge pas dans l'eau.

Lorsque le pertuis, quel que soit l'usage auquel on le destine, n'a que 6 à 7 mètres d'ouverture, un bon moyen de fermeture est celui de la figure 260, qui consiste en une poutre tournante, contre laquelle s'appuient des aiguilles en bois, qu'on place à la main et qui sont retenues en bas par un seuil. Quelquefois on emploie des planchettes placées, les unes au-dessus des autres, dans des rainures; mais cette disposition a le désavantage de ne pouvoir pas permettre, comme la précédente, d'ouvrir une partie du pertuis, en laissant l'autre fermée. Des poutrelles, qu'on introduit dans des rainures, servent également de fermeture; mais, comme les rainures sont incommodes, on leur a substitué des simples feuillures placées en aval des poutrelles, qui s'y trouvent maintenues par un poteau tournant de chaque côté (1).

On a essayé des portes busquées comme celles des écluses, mais la pression qu'elles supportent en rendait la manœuvre fort difficile, puisqu'elles exigeaient pour ouvrir chacun des deux ventaux, de 15 à 20 chevaux.

8° Si un barrage à pertuis pouvait être établi de façon à ne pas diminuer la largeur du lit de la rivière par ses piles et culées, lorsque tous ses pertuis seraient ouverts, l'écoulement de l'eau se ferait comme s'il n'existait pas; mais, en général, il y a toujours, comme au débouché d'un pont, gonflement en amont et chute en aval.

Un barrage produit un gonflement en amont, dont on ne sait pas encore calculer l'amplitude, mais qui, dans la plupart des cas, s'étend au-delà du point où le niveau de la retenue rencontrerait la pente naturelle de l'eau.

La pente se trouve accumulée au barrage, elle est à peu près nulle en amont du barrage, et même, en certaines cir-

(1) Notice sur le barrage de la Truchère, Annales des ponts-et-chaussées, 1836.

constances, il y a contre-pente. L'eau s'incline ensuite avant d'arriver à la crête du barrage, de manière que la lame d'eau a une épaisseur moindre de la différence de niveau qui existe entre cette crête et la surface supérieure de la retenue.

En aval d'un barrage-déversoir, la hauteur d'eau primitive diminue un tant soit peu plus pourtant lorsque le barrage est à glacis avec une inclinaison très-allongée, que lorsqu'il est à parois verticales.

Le fond de la rivière ne tend généralement pas à s'élever en amont d'un déversoir, il se forme tout au plus un dépôt formant talus lorsque la paroi est verticale.

En aval d'un déversoir, il est bien rare que le lit puisse résister à la chute continue de l'eau; même les fonds de rocher sont attaqués à la longue et prouvent la justesse de cet ancien adage : *Gutta cavat lapidem;* dans les terrains tendres, des affouillements considérables ont lieu. Les matières qui en proviennent sont déposées à une petite distance de là où elles forment un atterrissement. Enfin, un barrage peut changer la direction du courant et produire des corrosions sur certaines rives et des atterrissements sur d'autres; les eaux plus élevées qu'avant, en amont du barrage, peuvent produire des éboulements dans les berges.

Tous ces effets seront modifiés par plusieurs causes, comme la direction des courants, le produit des crues, la nature et la forme du lit, la hauteur de la chute, sa direction, etc.

Les barrages des ruisseaux ne présentent que peu de difficultés, puisqu'on peut presque toujours les établir de façon à être complètement ouverts lors des crues, mais on voit que les barrages des rivières un peu considérables sont des constructions difficiles et dignes de toute l'attention des ingénieurs.

§ II. ÉCLUSES DE PRISE D'EAU ET MARTELIÈRES.

Les écluses de prise d'eau ont les mêmes dispositions que celles employées dans les canaux. Lorsque le canal est à eau courante, il faut qu'il reçoive de l'eau d'une manière continue; on peut la fournir au moyen des ventelles ou, mieux encore, par un canal latéral à l'écluse et fermé par des vannes régulatrices de la dépense.

Les constructions qu'on établit en tête des canaux, devraient toujours être insubmersibles, et les vannes et portes d'écluses devraient être telles qu'on pût empêcher les crues de s'introduire dans le canal.

Les vannes peuvent être en bois ou en fonte : on en fait jusque de 5 mètres de largeur, mais il convient mieux qu'elles ne dépassent guère 3 mètres.

Les moyens pour les lever sont variables, on emploie ordinairement des treuils ou des vis. Dans le premier cas, elles sont suspendues par des chaînes, et il faut qu'elles puissent descendre par leur propre poids, condition difficile à remplir. aussi préfère-t-on habituellement de les manœuvrer par des vis; il faut alors que la vanne porte la vis pour que celle-ci ne reste pas plongée dans le courant et exposée au choc des glaces. Dans les martelières, f. 267, que nous avons projetées pour la prise d'eau du canal de la Saudre, la manœuvre se fait par des crics et des crémaillères fixées aux vannes. Dans tous les cas il faut que le mouvement de la vanne ait lieu bien verticalement, afin qu'un côté ne s'élève pas plus haut que l'autre et n'occasionne pas un frottement en diagonale dans les coulisses.

On tient les coulisses un peu larges pour que le travail du bois mouillé ne rende pas difficile le jeu des vannes; cela n'a pas d'inconvénient, puisqu'il n'est pas nécessaire qu'elles tiennent l'eau parfaitement. On a cependant cherché à obvier à ce défaut en faisant en fonte le seuil, les coulisseaux et le chapeau.

On a également cherché à inventer des vannes qui se manœuvrent d'elles-mêmes par l'effet des crues, mais on y a renoncé, n'en pouvant pas tirer un bon parti à cause des dérangements trop fréquents auxquels elles sont sujettes. Ces vannes sont portées sur un axe horizontal qui tourne dans des tourillons, et sont disposées de manière à se fermer d'elles-mêmes, lorsque la rivière atteint une certaine hauteur, et à se rouvrir lorsqu'elle baisse.

On peut aussi fermer l'entrée des canaux soit avec des poutrelles, soit avec des aiguilles, comme on le fait pour les pertuis; il devient alors difficile de bien régler la quantité d'eau introduite. Pour que cette quantité d'eau, soit constante, il est utile d'avoir à une certaine distance un *hydromètre* (1), pour ouvrir ou fermer, les vannes suivant que l'eau s'abaisse ou s'élève dans le canal.

L'entrée d'un canal doit être construite d'une manière solide; généralement en maçonnerie, elle se compose de deux

(1) Nous appelons ainsi une règle ou échelle verticale servant à mesurer la hauteur de l'eau dans le canal.

bajoyers, d'un radier, et d'une écluse lorsque le canal est navigable. Dans les canaux de simple irrigation, il peut être utile de faire à couvert la première partie de leur entrée. On n'interrompt pas alors la digue, qui préserve le canal des crues, et il est plus facile de fermer le canal sans avoir à manœuvrer des vannes trop hautes. Lorsque la hauteur des vannes est trop grande pour pouvoir les manœuvrer facilement, on les partage verticalement en deux ou plusieurs parties.

L'entrée d'un canal doit être un peu évasée, cela facilite l'introduction de l'eau, et plus encore, celle des bateaux. Si la berge de la rivière n'est pas solide, il faudra la consolider par des revêtements, ou des perrés ou même des murs de soutènement.

§ III. TRAVAUX DE CONSOLIDATION ET D'ÉTANCHEMENTS DES CANAUX.

Dans quelques endroits les canaux sont facilement dégradés, et il faut les consolider. Ce sont d'abord les parties des canaux d'arrosage dont la pente est trop forte pour que les terres puissent résister à la vitesse de l'eau. Les revêtements deviennent alors nécessaires pour consolider ces parties. Suivant la rapidité de la pente, on peut se contenter de revêtir le fond et les talus des berges avec des gazons retenus par des piquets garnis de crochets. Ces gazons ne seront pas d'une très-longue durée, toujours exposés qu'ils sont à l'action corrodante de l'eau, mais ils permettent, en commençant, aux plantes aquatiques de croître et de s'enraciner dans le canal, et ces plantes aquatiques se chargent ensuite elles-même de le consolider. Il est même digne de remarque qu'en augmentant un peu la section, on peut laisser croître librement ces plantes qui, dans les endroits trop rapides, ont l'avantage de diminuer la vitesse de l'eau en augmentant le périmètre mouillé. Une portion de la Lys, rivière de France et de Belgique ayant une très-forte pente, n'est navigable que par le ralentissement des courants produits par les plantes aquatiques qui y croissent en grand nombre et qu'il est défendu de faucher.

Si la pente, encore plus rapide, ne permettait pas d'employer ce moyen de consolidation, on aurait recours aux radiers et aux revêtements des berges en matériaux plus solides. Les radiers se font en pavés ou en cailloutage, maintenus au besoin par des dalles, des pieux ou des piquets. Dans les pays où l'on a le bois à très-bon marché, on peut maintenir

les pavés dans des cases formées de longrines et de traversines comme dans les glacis des déversoirs, ou bien même former un plancher avec des madriers cloués sur des longrines; cette dernière construction serait presque toujours très-coûteuse.

Pour soutenir les berges, on emploie souvent des perrés, soit en pierre, soit en briques; des chaînes en pierres de grandes dimensions sont un bon moyen de donner de la solidité aux perrés; souvent aussi on fait des véritables murs de soutènement, mais alors la forme de la section se trouve nécessairement changée. Ces murs sont en pierre ou en brique, et souvent ils ne forment que le revêtement d'un massif en béton. Ils doivent être fondés solidement sur empâtement en béton et sur pilotis, spécialement si le canal est en remblai, pour rejoindre le terrain solide. On peut diminuer l'épaisseur de ces murs de revêtement en les appuyant en arrière sur des éperons ou contre-forts; si le canal est navigable, le parement de ces murs doit être garanti contre le choc des bateaux par des pieux de rive couronnés de moises horizontales espacées moyennement de $1^m,50$. L'épaisseur moyenne de ces murs est ordinairement de la longueur de deux briques, soit de $0^m,50$; ils sont établis avec un fruit assez prononcé.

Ces constructions sont toujours fort coûteuses, et doivent engager les ingénieurs à projeter leurs canaux avec des pentes modérées, et à racheter les pentes trop fortes, mais nécessaires, par des chutes utilisables pour l'industrie.

Plusieurs canaux de Lombardie sont consolidés de cette façon sur une grande partie de leur longueur, et sur d'autres parties réclament des constructions du même genre. Ainsi, le seul canal de Pavie a des revêtements en maçonnerie sur une longueur d'à peu près 50 kilomètres.

Dans la traversée des villes, aux approches des ponts et écluses, ou dans les endroits où affluent les bateaux, les revêtements deviennent aussi obligatoires. Et là où la disposition du terrain force à diminuer la section, comme sur les coteaux trop escarpés, il faut changer le canal en un véritable aqueduc en faisant toute sa cuvette en maçonnerie. Nous en donnons des exemples à la fig. 268.

Enfin, ces moyens de consolidation seraient aussi réclamés là où l'on aurait établi le canal dans des terrains qui ne présenteraient aucune solidité, comme des sables grossiers dépourvus de toute liaison.

Nous ne parlons pas des gares de chargement et de déchar-

gement, et des bassins de stationnement des bateaux, puisque ces constructions regardent plutôt le commerce que l'agriculture.

Une des plus graves perturbations qu'éprouvent les canaux, soit dans leur service pour la navigation, soit dans celui des irrigations, est la perte d'eau due aux infiltrations. La nature du sol, la hauteur d'eau dans le canal, et le niveau des eaux inférieures ou adjacentes, sont les causes desquelles dépend l'intensité des infiltrations.

Les sols les plus perméables sont les roches fendillées, spécialement celles qui appartiennent aux formations calcaires, les schistes, les craies, les cailloux roulés et les graviers purs, le gros sable (le sable fin devient imperméable une fois mouillé) et les terres mêlées de pierres. Les anciennes carrières ou les cavernes naturelles, peuvent donner lieu à des bois-tout qu'on étanche fort difficilement.

Dans tous les terrains possibles on a toujours des infiltrations, et lorsqu'un canal ne perd qu'une tranche de 3 à 4 centimètres d'épaisseur par 24 heures, on peut dire qu'il est étanche.

Il est assez difficile de reconnaître les infiltrations, particulièrement dans un canal à eaux courantes, où l'on ne peut pas facilement isoler un bief par des bâtardeaux. Il faut pourtant en venir à ce moyen lorsqu'on présuppose qu'on a des pertes considérables, et qu'on veut déterminer leur emplacement.

Si le canal est en remblai ou à mi-côte, on reconnaît les pertes assez aisément, puisqu'elles se font jour sous forme de petites sources dans les contre-fossés au pied des levées; quelquefois elles sourdent assez loin, mais toujours est-il qu'on aperçoit de nouvelles sources qui indiquent le défaut du canal. Lorsque le canal est en plaine ou en tranchée, les eaux se perdent ou vont sourdre à de grandes distances, où on ne peut plus les reconnaître.

Lorsque les infiltrations sont considérables, on peut quelquefois reconnaître leur emplacement par l'inspection de la cuvette du canal, car il s'y forme au-dessus de petits entonnoirs ou des tourbillons verticaux, qu'on rend apparents en troublant les eaux; mais le plus souvent ces pertes se font par de si petits trous, que rien ne peut les faire reconnaître.

Un fait curieux, consigné par l'inspecteur général *Minard* dans son Cours de Construction, est que les pertes d'un canal varient journellement, et que les différences dépassent de beaucoup celles qui proviendraient directement de l'évaporation des surfaces des biefs ou de la pluie reçue par ces mêmes surfaces. Cette conséquence résulte d'observations faites sur le canal du Centre, en 1823.

Les canaux creusés sur un fond d'argile pure ou de glaise, ne sont pas, à beaucoup près, les mieux étanches, et l'on est même quelquefois forcé de couvrir leur fond par une couche de terre grasse et sableuse. Voici ce qui arrive :

Lorsque le canal est à sec, pour les curages ou autres réparations, l'argile se fendille en tous sens en se desséchant, et lorsque l'on remet l'eau, ces fentes ne se referment pas assez exactement pour tenir l'eau. Le sable très-fin, au contraire, tient parfaitement l'eau, et, comme il foisonne fort peu, il est très-bon pour être employé dans les remblais considérables, puisqu'on craint moins les dislocations produites par un tassement non uniforme.

Pour étancher les canaux, on emploie divers moyens plus ou moins simples, plus ou moins dispendieux, mais aussi plus ou moins efficaces.

Tous les canaux perdent beaucoup d'eau immédiatement après leur ouverture, mais ces pertes diminuent graduellement et finissent par disparaître dans les biefs établis dans un bon terrain. C'est la nature qui, dans ce cas, se charge de l'étanchement. Cet effet est beaucoup plus sensible dans les canaux qui charrient habituellement des eaux troubles, aussi on a cherché utilement à le produire d'une manière artificielle, soit en introduisant des eaux troubles dans le canal, soit en isolant, par des bâtardeaux, les biefs qui perdaient, et en y jetant des sables fins et des terres qu'on remuait avec des perches, des râteaux, etc., pour produire des troubles qu'on laissait ensuite se déposer tranquillement.

On est ainsi parvenu, au canal de Bourgogne, à étancher des biefs qui perdaient $1^{m}20$ d'épaisseur par 24 heures, en y répandant à la pelle du sable très-fin dont on avait chargé des bateaux (1). Du sable argileux a produit le même effet au canal Calédonien.

Mais si les pertes ont lieu par des fissures assez larges, comme celles des roches fendillées, ce moyen devient insuffisant, et il faut recourir aux corrois.

(1) Voyez une note de l'inspecteur divisionnaire *Fèvre*, Ann. des ponts-et-chaussées, 1832. Au canal Calédonien, une couche de 6 centimètres de sable a suffi pour étancher le fond, qui supporte une charge de 5m,40 d'eau.

Les corrois se font en terre grasse qui ne soit pas trop compacte. La glaise pure y serait impropre, mais l'argile sableuse leur convient. On doit les établir sur une épaisseur qui varie de 0^m60 à 1^m et 1^m50, tant sur le fond que sur les berges; et par couches de 0^m10, au plus, bien pilonées et damées. On donne de 200 à 300 coups par mètre carré, avec un pilon à rainures de 3 kilogrammes de poids.

La terre doit être humide, mais non pas délayée; souvent, pour lui conserver l'humidité convenable, on l'arrose de temps à autre, particulièrement en été (1).

Il est extrêmement utile que les corrois soient noyés dans la terre, pour qu'ils se fendillent moins lorsque le canal est à sec, aussi fait-on souvent les corrois des berges verticaux, et on rétablit le profil du canal avec des terres rapportées; une couche de ces terres doit aussi être répandue sur le fond.

Ces diverses façons rendent les corrois fort chers, et la difficulté de se procurer des terres grasses convenables fait quelquefois renoncer à leur emploi.

Quelquefois on met de l'eau dans le canal, dans laquelle on délaie la terre à l'état de boue, qu'on laisse déposer ensuite pour la bien piétiner. On recommence dès qu'elle s'est ressuiée, et par des dépôts successifs on obtient l'épaisseur voulue. Cette méthode n'est pas applicable aux corrois des berges.

Dans le canal du Rhône au Rhin on a fait des corrois avec de la terre sableuse arrosée de lait de chaux, sur la surface desquels on incrustait des cailloux de 0^m05 à 0^m08 de diamètre, formant mosaïque, qui étaient chassés à la dame dans l'épaisseur du corroi. Ce travail n'a que médiocrement réussi.

Nous arrivons, enfin, au moyen le plus sûr, mais le plus coûteux, d'étanchement. Il consiste à établir la cuvette en béton fait avec de la pierraille ou des briques cassées et du mortier de chaux hydraulique. Cette cuvette peut avoir le profil du canal, mais il convient, souvent mieux, de lui donner la forme rectangulaire et de terminer le profil avec des terres rapportées, puisque la solidité du béton profite de ce qu'il est noyé dans la terre. Une épaisseur de 0^m30 est suffisante, lorsque la pierre a été convenablement concassée.

(1) « L'ingénieur *Brière de Mondétour*, auteur des projets de canalisation de la Marne et du canal de l'Aisne à la Marne, a proposé, d'après des faits nouveaux observés par lui, de prévenir les filtrations des biefs dans des terrains crayeux, par des corrois de fond et de rive en craie massive, c'est-à-dire broyée et réduite en pâte. » (*Symain*, Cours de Construction, T. II, p. 105.)

Les constructions en maçonnerie de pierres ou de briques donnent aussi un moyen d'étancher un canal; mais comme elles sont bien plus coûteuses, on n'y a recours qu'en désespoir de cause, ou lorsque d'autres considérations décident à changer la forme de la cuvette.

Si le fond du canal, établi sur un terrain peu stable pouvait faire craindre des mouvements, il faudrait fonder les bétons sur pilotis et augmenter convenablement l'épaisseur de la couche horizontale.

Lorsque ces chappes en béton, ou même les corrois, doivent être employés dans des remblais, il faut donner à ces derniers le temps de se tasser complètement, car autrement ils seraient sujets à se fendre et à se lézarder. C'est ce qui est arrivé à des travaux de ce genre sur des remblais, au canal de Charleroi.

§ IV. DÉCHARGEOIRS, DÉVERSOIRS, BARRAGES INTÉRIEURS DES CANAUX.

Les déchargeoirs sont de véritables prises d'eau dans les canaux. Il faut donc les établir avec une construction en charpente, ou mieux en maçonnerie, formant deux culées ou bajoyers, entre lesquels s'étendent le radier et le seuil, placés au niveau du fond du canal. On les ferme par les mêmes moyens que les prises d'eau des canaux dont nous avons parlé plus haut; mais ici, plus encore qu'ailleurs, les vannes de fond, en une ou deux parties suivant leur hauteur, sont préférables à tout autre mode de fermeture.

Si la pierre n'est pas trop chère, comme en certaines parties de l'Italie, il convient d'établir le seuil, les jouées, les potilles et le chapeau en cette matière; après la pierre on doit préférer la fonte, car le bois est sujet à se déformer et à pourrir.

Les vannes peuvent être en bois, en fonte ou en tôle, mais leur jeu doit être facile pour qu'on puisse aisément les ouvrir dans un moment de crue, dans lequel les déversoirs deviendraient insuffisants pour garantir le canal.

L'office principal des déchargeoirs est de vider le canal pour le mettre à sec, lors des curages ou lorsque des réparations sont nécessaires. Il faut donc choisir leur emplacement de manière qu'ils satisfassent à ce but (1).

(1) L'ingénieur *Garipuy* a imaginé et exécuté, au canal du Midi, un déversoir à syphon, qui est à la fois déversoir et épanchoir de fond, mais qui est d'une construction

Nous parlerons des vannes de prise d'eau pour les dérivations, en même temps que nous traiterons des modules dans le paragraphe suivant.

On établit également dans les canaux, des déversoirs pour obvier aux inconvénients des crues qui, par des débordements et autres accidents, pourraient envahir le canal.

Ces déversoirs sont semblables à ceux qu'on établit sur les rivières, ils sont placés sur les berges avec leur crête à la hauteur qu'on ne veut pas voir dépasser de beaucoup, par le niveau de l'eau.

Leur nombre et leur largeur dépendent de la quantité d'eau qu'on suppose qu'ils devront débiter dans un moment de crue, et il vaut mieux faire une erreur en plus qu'en moins (1).

Lorsque le canal est navigable, les déversoirs coupent les chemins de halage, et il faut alors y établir un pont de service. Pour obvier à cet inconvénient, l'ingénieur *Garipuy* a établi, au canal du Midi, des déversoirs syphons faisant le service de déversoirs et d'épanchoirs de fond à volonté, mais ils sont d'une construction difficile et ne remplissent pas toujours bien parfaitement leur but; les réparations, du reste, en sont aussi difficiles que coûteuses.

L'inspecteur divisionnaire *Mallet* a donné la description de plusieurs appareils à mouvement spontané, pour l'introduction et l'évacuation des eaux (2), employés en Angleterre, mais ces appareils nous paraissent plus ingénieux qu'utiles, spécialement dans des canaux d'irrigation qui doivent, pardessus tout, être solides et rustiques.

Il arrive quelquefois, particulièrement dans les pays de montagne, qu'une pente trop forte dans un canal doit être rachetée par des petites chutes qu'il n'y aurait pas moyen d'utiliser pour l'industrie; dans ce cas on partage le canal en biefs par des barrages formant déversoirs, qu'on construira, en petit, comme ceux des rivières, et plus ou moins solides, suivant la portée du canal.

Il est utile de pouvoir barrer rapidement un canal, soit, lorsqu'une brèche s'est ouverte, pour isoler la partie endommagée, soit pour faire des réparations sans mettre tout le canal à sec. Ce qu'il y a de mieux à faire pour atteindre ce but, c'est d'établir, de distance en distance, des jouées en maçonnerie avec des rainures dans lesquelles on puisse faire glisser des poutrelles. Des portes busquées seraient énormément plus coûteuses et bien moins faciles à manœuvrer.

En Angleterre on a établi, dans le canal du duc de Bridgewater, des portes tournantes, qu'on nomme portes de sûreté. Elles sont établies par paires, afin d'arrêter l'eau en sens opposé. Elles sont couchées, en sens opposé, sur le fond, et peuvent tourner sur un axe horizontal fixé à leur partie inférieure, et reposent sur un radier en maçonnerie.

Si une voie d'eau se manifeste, la plus grande vitesse de l'eau fait relever la porte, qui vient s'appuyer contre des battants et fermer le canal.

§ V. ÉCLUSES.

Les écluses des canaux d'irrigation seraient en tout semblables à celles des canaux de simple navigation, si ce n'était qu'elles sont accompagnées d'un canal latéral servant à l'écoulement des eaux et, le plus souvent, à mettre en mouvement les roues d'une usine.

Une écluse se compose donc: 1° de la chambre d'amont, avec murs en aile ou en retour, ou bien cônes de raccordement; 2° de l'enclave des portes; 3° de la fermeture qui consiste en portes busquées, chardonnerets et busc, formant le seuil; 4° du mur de chute; 5° du sas; 6° de la fermeture d'aval; 7° de la chambre d'écluse d'aval.

Nous n'entrerons dans aucun détail sur toutes ces parties d'une écluse; on trouvera ce sujet parfaitement traité par *Sganzin* et par *Minard*, dans les ouvrages que nous avons déjà cités plusieurs fois; et nous nous contenterons de donner les dessins de deux écluses: l'une construite en Italie sur un canal de navigation et d'irrigation, et l'autre projetée par nous pour le canal de la Saudre.

Les écluses peuvent être simples ou accolées, mais, dans tous les cas, il faut les placer de manière à obtenir facilement, sans grands remblais et déblais, la chute qu'elles doi-

compliquée, d'une réparation difficile, et ne débite que peu d'eau. On peut en voir la figure dans l'Atlas de l'Histoire du canal du Midi par *Andréossy*.

(1) L'utilité des déversoirs est contestée, peut-être avec raison, par *Andréossy* (Histoire du canal du Midi). Voici ses paroles.

« Mais on ne doit pas se dissimuler que l'effet des déversoirs de superficie ne soit bien médiocre, surtout lorsque les eaux surviennent abondamment, parce que les eaux, animées de cette vitesse d'impulsion que détermine leur tendance vers la retenue inférieure, glissent le long de l'ouverture de ces déversoirs, plutôt qu'elles ne s'échappent par cette ouverture. Les épanchoirs (déchargeoirs) de fond produisent un plus grand effet, à raison de la pression de la colonne d'eau supérieure; mais leur emploi exige qu'on lève des empellements. »

(2) Voyez une notice sur l'approvisionnement des eaux de la ville de Greenock Annales des ponts-et-chaussées, 1831.

vent racheter, et choisir principalement un terrain solide car ce sont des constructions très-travaillées, et qui ont besoin de la plus grande stabilité. Leur construction présente beaucoup de difficulté.

Dans les canaux d'arrosage et de petite navigation les écluses pourraient être remplacées par les barrages à aiguilles dont nous avons parlé plus haut, en leur faisant racheter une chute de $0^{m}50$ par barrage. Telle a été l'opinion du conseil des ponts-et-chaussées, qui nous avait ordonné, d'après un rapport de l'inspecteur *Poirée*, d'appliquer ce système au nouveau projet du canal de la Saudre que nous avons rédigé en 1848; mais une nouvelle décision du même conseil, prise en 1849, ordonne d'abandonner les barrages et de revenir aux écluses.

Nous pensons que ces barrage seraient utilement employés toutes les fois qu'on n'aurait pas de trop fortes pentes à racheter, et qu'ils présenteraient l'avantage de permettre de bien régler, par tâtonnement, le débit du canal, malgré des pentes diverses qui se trouveraient sur sa longueur; il faudrait, pour cela, qu'entre deux barrages le canal formât un bief avec son fond en pente, mais avec sa surface sensiblement de niveau; sans quoi, dès que le barrage serait fermé il ferait office de déversoir.

La construction de ces barrages est plus économique que celle des écluses, mais le passage des bateaux est un peu moins facile, à cause de la chute qui s'y établit dès qu'ils sont ouverts et qui dure assez longtemps, particulièrement lorsque les biefs sont d'une grande longueur.

Dans une partie du canal de la Saudre, où, à cause de deux points qu'on nous avait fixés, nous n'avions pas pu éviter une pente de 2 mètres par kilomètre, il aurait fallu établir les barrages à 250 mètres seulement de distance, et, dans ce cas, nous leur aurions certainement préféré les écluses. Mais avec une pente de $0^{m}5$ les barrages seraient espacés d'un kilomètre, et les biefs nous paraîtraient d'une étendue convenable.

Dans les canaux de simple arrosage on place les usines sur le canal lui-même, à l'endroit de la chute; mais il est toujours utile d'avoir un déversoir et un bief latéral, pour rendre l'eau au bief inférieur lorsque l'usine n'est pas en mouvement. On a alors, sur cette partie, deux canaux, dont l'un sert de coursier à l'usine, et l'autre sert de réunion, au moyen du

déversoir entre le bief supérieur et le bief inférieur. Il est également bon d'établir, à cet endroit, des vannes de fond pour pouvoir réparer facilement l'usine en cas de besoin.

§ VI. PARTITEURS ET MODULES.

Les partiteurs sont des ouvrages destinés à faire, dans des proportions voulues, le partage des eaux d'un canal d'irrigation. C'est assez dire, pour qu'on comprenne toutes les difficultés que présente leur établissement; aussi devons-nous avouer que, malgré les progrès de la science, le problème qu'ils présentent n'a pu encore être résolu qu'à peu près.

Lorsque l'eau d'un canal doit être partagée en deux parties égales, la question est extrêmement simple et facile à résoudre; il suffit, pour cela, de faire deux canaux qui partent du canal principal en faisant deux angles égaux avec sa directrice, et ayant même section et même pente; ajoutez à cela que le canal principal doit être en droite ligne, sur une longueur d'au moins 100 ou 150 mètres en amont du partiteur, et canalisé entre des berges parfaitement parallèles, et le problème sera complètement résolu, car il n'y aurait pas de raison pour qu'il s'écoulât plus d'eau par l'un des canaux secondaires que par l'autre.

Mais lorsqu'on ne doit pas diviser le canal principal en deux parties égales, ou en un nombre de parties qui soit une puissance de 2 représenté par 2^{m}, le problème est insoluble, du moins d'une manière tout-à-fait exacte, car on ne sait pas la loi suivant laquelle la vitesse des filets fluides va en diminuant du milieu du canal jusqu'aux rives.

Supposons qu'on veuille partager l'eau en trois parties égales. Si on fait trois canaux secondaires égaux, celui du milieu aura plus d'eau que chacun des deux de côté, car l'eau y arrivera avec une plus grande vitesse et plus directement. Il est certain qu'en variant leur largeur, ou leur pente, ou leur direction, on pourra arriver à un partage exact; mais comment faut-il faire ces changements? C'est ce qu'on ne sait pas. Dans les pays d'arrosage on a des formules pratiques, ou pour mieux dire les ingénieurs ont l'instinct de la chose, et les différences qu'on observe dans les différents canaux sont assez petites pour qu'on puisse les négliger. Mais on ne saurait pas donner de règles fixes pour se guider dans ces circonstances.

Tantôt on augmente la section, tantôt la pente des canaux

de côté; quelquefois on fait un ressaut ou une courbure pour diminuer la vitesse du canal du milieu ; quelquefois, enfin, on fait varier le niveau des seuils fixes pour qu'une même quantité d'eau passe par chaque canal.

Il en serait de même si le canal principal devait se répartir en deux canaux, dont les portées seraient comme 1 est à 2, ou comme 2 est à 3, ou dans tout autre rapport.

Si on disposait d'une chute, et si on pouvait, en même temps, établir en amont un réservoir assez étendu pour que l'eau qui passerait sur un déversoir pût être supposée y arriver sans aucune vitesse, le problème serait extrêmement simplifié, puisqu'il suffirait d'établir toutes les issues du déversoir au même niveau, et que les débits seraient proportionnels aux largeurs de ces mêmes ouvertures. Mais il est difficile d'avoir la condition d'une chute, aussi faut-il se contenter d'à peu près.

Ces constructions doivent être établies en maçonnerie, et l'angle entre deux canaux secondaires doit être aigu, sa pointe terminée en arc de cercle pour que les herbes, entraînées par l'eau, ne s'y accumulent pas et ne dérangent le débit. Malgré cela, il faut une active surveillance pour empêcher des dépôts perturbateurs de s'établir dans cette partie importante des canaux.

Si ce n'était la nécessité d'établir un garde fixe à chaque pontiteur, on pourrait mettre à l'entrée de chaque canal secondaire une vanne de fond, et établir ces canaux avec un profil régulier et une pente uniforme sur une assez grande longueur, pour qu'il s'établît en tous un mouvement uniforme. On pourrait alors calculer à quelle hauteur, dans chaque canal, doit s'élever l'eau pour que leurs débits soient dans les proportions voulues; et au moyen de vannes on pourrait régler ces hauteurs. Mais comme les débits doivent être proportionnels, mais non pas fixes, il faudrait que le garde eût à sa disposition une table avec des hauteurs, ce qui rendrait la manœuvre des vannes fort difficile.

Généralement la répartition des eaux se fait sans déversoirs dans le lit même du canal, et on passe par dessus les petites irrégularités que nous avons signalées; tant pis pour la partie qui se trouve moins bien partagée.

Les modules dont nous allons parler, pourraient rendre le partage régulier, mais ils exigeraient une construction compliquée, une surveillance journalière; et d'ailleurs il faudrait

toujours pouvoir disposer d'une chute d'à peu près un mètre, ce qu'on rencontre très-rarement dans les parties des canaux où se font les partages d'eau.

Les modules sont destinés à mesurer exactement la quantité d'eau fournie à un usager. *Nadault de Buffon* s'est occupé de cette question avec le talent d'un ingénieur et l'aptitude d'un administrateur distingué, et nous conseillons à nos lecteurs de lire ce qu'il en dit dans son second volume du Cours des Irrigations; ils y trouveront une discussion très-remarquable sur les modules usités dans les différents pays d'arrosage.

Nous ne décrirons ici que le module milanais, qui est le plus parfait et qui devrait être adopté partout où les eaux d'irrigation ont un prix élevé.

En beaucoup d'endroits on vend l'eau à tant par hectare irrigué d'une culture donnée; c'est la plus mauvaise manière de procéder à la vente de l'eau, car les usagers gaspillent l'eau et prétendent n'en avoir jamais assez, et d'un autre côté le *marchand* d'eau propriétaire du canal fait son possible pour leur en fournir le moins qu'il peut (1).

Si l'eau était vendue à tant le mètre cube, ou pour mieux dire, à tant le module qui représenterait un écoulement continu de tant de litres par seconde, les choses se passeraient tout autrement.

L'agriculteur aurait de l'intérêt à ménager l'eau, car avec la même dépense il pourrait alors irriguer une plus grande surface, et le propriétaire du canal aurait ses comptes parfaitement en règle. Ajoutons que lorsque l'eau doit être distribuée à des usagers ou ayant-droit, le partage se ferait d'une manière équitable, et qu'il n'arriverait plus ce qui a lieu en Provence, où, pendant les étiages de la Durance, les usagers qui prennent l'eau au commencement des canaux, en gaspillent une grande quantité, tandis que les usagers de l'autre extrémité du canal n'en ont pas pour leurs besoins. L'utilité, la nécessité même, des modules nous paraît donc bien démontrée par le raisonnement, et l'exemple de la Lombardie prouve tous les avantages qu'on en retire dans l'application.

Pour décrire le module milanais, nous ne saurions mieux

(1) « Si l'eau est livrée à raison de tant par hectare, les moyens de fraude sont encore plus nombreux; la principale s'exerce par l'intervention des fermiers, qui spéculent très-fréquemment sur des eaux soi-disant perdues, mais dont ils se font très-bien payer l'usage par des propriétaires inférieurs. Cet abus est commun en Provence, et notamment dans le département de Vaucluse. » (*Nadault de Buffon*, Traité des Irrigations, T. II, p. 79.)

faire que de traduire, presque littéralement, un chapitre de la Mécanique de *Venturoli*, en nous aidant également de ce que dit *Ferrari* dans les *Opuscoli scelti di Milano*, T. II, p. 73.

Le plan et les coupes de l'édifice qui, dans le Milanais, sert à la distribution des eaux se trouvent aux planches sous le n° 29. L'ouverture rectangulaire F G est le module proprement dit, ou l'orifice qui règle la dépense d'eau. Il a 4 onces du bras milanais de hauteur (1); la charge F D au-dessus du bord supérieur de l'orifice est de 2 onces; sa largeur doit être égale à 3 onces prises autant de fois que l'orifice doit débiter d'onces d'eau (*oncie magistrali*). Si, par exemple le module devait débiter 5 onces d'eau, la largeur de l'orifice serait de 15 onces du bras milanais.

Voyons maintenant de quelle manière l'eau est conduite du canal au module, et quelle est la forme de la partie intérieure de l'édifice, placée entre le canal et le module, qu'on appelle sas couvert, et de la partie extérieure placée de l'autre côté du module, nommée sas découvert.

Sur le bord du canal on établit une ouverture M M dont la largeur est égale à G G, c'est-à-dire au module. Cette ouverture est garnie d'une vanne K K, qui glisse dans des rainures creusées dans les pieds-droits de l'ouverture. L'eau qui entre par cette ouverture, passe dans le sas couvert, qui est un bassin parallélipipède, dont la longueur O P est de 10 bras et la largeur O O est égale à celle de l'orifice G G, plus 10 onces, parce que les murs latéraux O P, O P ne sont pas sur la prolongation des battants M, M de l'ouverture, mais sont en retraite de 5 onces de chaque côté.

La face P P opposée à cette ouverture est faite d'une seule dalle de marbre épaisse de 4 onces, dans laquelle on a creusé ou pour mieux dire ouvert le module F G, avec les dimensions ci-dessus indiquées. Le seuil G du module est élevé, sur le fond horizontal du sas couvert, de 8 onces. On monte donc du fond du sas, au seuil du module, par un gradin de 8 onces; mais le plus souvent on le supprime, et on établit le fond suivant un plan incliné O G. A une petite distance de l'ouverture principale est maçonnée une dalle de pierre solide X, dont le plan inférieur est précisément placé au même niveau que le bord supérieur de l'orifice ou module F G. A 2 onces au-dessus de ce niveau X F, on établit un plancher horizontal en

(1) Le bras milanais vaut en mètres 0m.5949, il se divise en 12 onces. La valeur d'une once est donc de 0m.04958.

bois C D qu'on appelle le *ciel mort*. Enfin, toute cette partie de l'édifice est fermée par-dessus par une voûte, et s'appelle pour cela sas fermé.

Le sas découvert est un canal en maçonnerie de 9 bras de longueur. Sa largeur n'est pas uniforme, attendu que les deux murs latéraux sont divergents. Au commencement, en R, ils sont en retraite de 2 onces de chaque côté sur les bords du module, et à l'autre extrémité S ils sont en retraite de 5 onces, c'est-à-dire qu'ils se trouvent sur la prolongation des lignes O D du sas couvert. Le fond I L est incliné; il commence en I à 1 once au-dessous du seuil G du module et se termine en L à 2 onces plus bas que le même seuil.

Une fois l'édifice établi de cette manière, pour lui faire débiter la quantité d'eau voulue, on élèvera la vanne hydrométrique jusqu'à ce que l'eau qui entre dans le sas couvert et s'écoule par le module se place avec sa surface précisément au niveau du plancher supérieur ou *ciel mort* C D; on appelle cela donner sa charge à l'eau (*metter la bocca a battente*). Ce niveau se reconnaît dans l'espace B, qui reste ouvert en arrière de l'ouverture de la vanne; car l'eau doit y arriver au signe B placé à 2 onces au-dessus de la surface horizontale X qui est la distance verticale entre D et F. Alors la charge sur le bord supérieur de l'orifice ou module sera de 2 onces, et on aura une dépense réglée.

On voit, d'après cela, que le plafond C D est effleuré et non pas pressé par l'eau du sas, et qu'il importe peu qu'il soit bien fermé ou à claire-voie. On pourrait même le supprimer en totalité ou en partie, car il n'est pas nécessaire, mais on pense qu'il est utile pour tranquilliser les petites vagues ondoyantes qui se forment à la surface et qui pourraient modifier tant soit peu la dépense du module.

Si le niveau de l'eau s'élève dans le canal, il en arrive autant dans le sas couvert, et la charge sur le module augmente. Pour conserver donc à cet orifice la charge fixée, soit pour faire descendre le niveau de l'eau jusqu'au point B, il faudra baisser un peu la vanne. Si, au contraire, l'eau baissait dans le canal, il faudrait ouvrir plus la vanne, pour conserver la même charge au module.

Les variations dans la hauteur de la charge dans le sas sont proportionnelles aux variations dans les hauteurs du niveau de l'eau dans le canal. Ce théorème a été démontré en

premier par *Brunacci* (1). Voici comment le démontre, à son tour, *Venturoli* (2) : soit, pour simplifier, la *fig.* 292 réduite à ses éléments ; soit ensuite A A le niveau d'eau dans le canal, D B le niveau dans le sas, donnant la charge de deux onces exigée ; et soit H le centre de l'orifice ou module. La quantité d'eau qui passe du canal dans le sas, sera exprimée (3) par le produit $KO\sqrt{AB}$, et celle qui, en temps égal, s'écoule par le module sera exprimée par le produit $FG\sqrt{DH}$. On aura donc $KO\sqrt{AB} = FG\sqrt{DH}$. Si le niveau du canal s'élève en aa, et si, à la suite, le niveau du sas s'élève en bd, on aura également $KO\sqrt{ab} = FG\sqrt{dH}$. On pourra donc établir la proportion : $AB : ab :: DH : dH$, ou bien $AB \times dH = ab \times DH$; mais on a $dH = DH + Dd$ et $ab = AB + Aa - Dd$. En substituant ces valeurs, on obtient en dernier :

$$Dd = Aa \frac{DH}{AB + DH}.$$

Cette formule donne le changement de hauteur dans le sas, en connaissant le changement de hauteur d'eau dans le canal.

Tadini (4) a élevé une grave difficulté contre l'exactitude de la dépense du module milanais, en observant que l'eau, à sa sortie du module, ne forme pas une chute libre dans l'air, mais qu'elle coule dans le canal du sas découvert, et que sa hauteur, dépassant celle du seuil de l'orifice, exerce une pression sur l'eau qui sort et affaiblit ainsi sa vitesse, de manière que la dépense réelle sera moindre que celle due à la charge fixée au-dessus du centre de l'orifice. Il pense qu'il serait difficile de calculer cette diminution.

Eustache Manfredi (5) avait déjà, depuis longtemps, posé cette question : Lorsque l'eau d'un réservoir sort par un orifice accompagné d'un canal ou coursier, y entre-t-elle avec la même vitesse que si le canal n'existait pas et si l'écoulement se faisait dans l'air ? Cette question est actuellement résolue, puisque nous avons donné plus haut les coefficients m déter-

(1) Memoria sulle pratiche usate in Italia per la dispensa delle acque. Verona, 1814.
(2) Elementi di meccanica et d'idraulica, T. II, p. 233.
(3) Ou pour mieux dire proportionnelle à ce produit ; mais nous traduisons littéralement.
(4) Del mavimento e della misura delle acque correnti. Art. 104.
(5) Annotazioni al Guglielmini, cap. IV, annot. 11.

minés par *Poncelet* et *Lesbros*, pour les diverses dispositions des coursiers. Une expérience directe de *Tadini* (1) avait déjà démontré qu'un coursier diminue la dépense de l'orifice. Ce même savant avait proposé un moyen pour obvier à cet inconvénient ; mais, en pratique, il est presque toujours négligeable, et voici comment s'exprime à ce sujet *Venturoli* :

« Quoiqu'en général on ne doive pas avoir une confiance illimitée dans la mesure des eaux qui dégorgent autrement que dans l'air libre, je ne pense pourtant pas qu'on doive tenir pour erronée la mesure des eaux suivant la pratique milanaise. En effet, la chute d'une once à la suite du seuil de l'orifice, l'inclinaison du fond du sas découvert, et par-dessus tout la largeur de ce canal et la divergence des murs de côté, donnent un assez grand débouché à l'eau qui s'écoule, pour qu'on puisse bien le regarder comme équivalent à un écoulement libre dans l'air. Cette opinion s'appuie sur l'expérience, car le *P. Régi* a ainsi prouvé que par les modules milanais on a plutôt une augmentation qu'une diminution de dépense. »

Nous ajouterons que *Nadault de Buffon* a constaté que la dépense des grands orifices était plus grande que celle des petits, et qu'il attribue la différence à la diminution du périmètre mouillé, qui n'est pas proportionnelle à celle de la surface de l'orifice. Sans réfuter cette cause de perturbation, qui avait aussi été signalée par *d'Aubuisson*, nous observerons que, dans le module milanais, la contraction de la veine est incomplète sur trois côtés et entière sur le côté supérieur. Or, en élargissant l'orifice, elle reste la même sur les côtés latéraux, et, de là, il peut s'en suivre une différence dans la proportionnalité de la dépense.

Il y a là un beau problème à résoudre par les hydrauliciens, car il serait fort important d'arriver à une mesure irréprochable des eaux. Quoi qu'il en soit, le module milanais, même avec ses défauts, est préférable à tout autre, et on devrait l'adopter dans les concessions nouvelles. Quant aux concessions existantes, il serait bien difficile de changer leur manière de prise d'eau ; aussi faudra-t-il se résigner à y voir beaucoup d'irrégularités.

On voit enfin que le module milanais a besoin d'une chute pour être établi, et c'est là souvent une grave difficulté, qui,

(1) Del mavimento e della misura delle acque correnti. Art. 160.

en pays de plaine, empêcherait d'irriguer de vastes étendues de terrains bien disposés d'ailleurs à être cultivés en cultures arrosées.

§ VII. PONTS, AQUEDUCS ET PONTS-AQUEDUCS, SIPHONS, INTRODUCTION DES EAUX DANS LES CANAUX.

La construction des ponts et des ponts-aqueducs est un vaste sujet, que nous ne pourrions pas traiter ici sans augmenter outre mesure les dimensions de notre ouvrage, nous nous contenterons donc de donner quelques notions générales et de renvoyer pour les détails aux ouvrages spéciaux et spécialement au Traité de *Gauthey* (1).

Un canal peut être traversé par une route ou par un chemin destiné aux piétons seulement, de là la nécessité d'y établir des ponts et des passerelles.

Ces ponts devront avoir une ouverture égale à celle du canal, augmentée d'un chemin de halage si le canal sert à la navigation, et l'intrados de la voûte sera établi de manière à laisser facilement passer les chevaux qui halent les bateaux.

On fait des ponts et des passerelles fixes en maçonnerie de toutes les espèces, en bois et en fer ou fonte.

Pour éviter une trop grande élévation, on fait aussi des ponts mobiles suivant divers systèmes, à bascules ou tournants (2). L'entretien de ce genre de ponts est toujours fort coûteux, et il faut les éviter autant que possible.

Dans les canaux de navigation, le canal et le chemin de halage doivent être franchis par une seule arche, ce qui donne souvent au pont une très-grande portée entre ses culées, et peut faire donner la préférence aux ponts en charpente dans le système américain, qui peuvent avoir de très-grandes portées en employant du bois de petit échantillon.

Les ponts en charpente et les ponts suspendus ont l'avantage de laisser un plus grand débouché pour le chemin de halage sans élever outre mesure la route au-dessus du canal, tandis que, dans les ponts en maçonnerie, à moins d'aplatir extrêmement la voûte, il faut s'élever beaucoup, pour que les chevaux passent au-dessous de la naissance de cette voûte.

(1) On trouvera de très-bons exemples de constructions de ce genre dans l'Art de bâtir de *Rondelet*, dans le Traité de l'Art de la charpenterie du *colonel Emy*, dans *Sganzin*, Programmes, etc., dans *Seguin*, Des Ponts en fil-de-fer, et dans la collection des Annales des ponts-et-chaussées, etc.

(2) On en trouvera quelques bons exemples dans les Mémoires sur le canal de l'Ourcq par *Girard*.

Les ponts mobiles nécessitent une forte dépense annuelle pour l'entretien des gardes et pour la manœuvre d'ouverture et de fermeture à chaque passage de bateau.

On peut, par économie, diminuer sous les ponts la largeur du canal et la réduire à celle nécessaire pour le passage d'un seul bateau ; mais, dans les canaux à eau courante, on occasionne ainsi une chute, et il faut un radier pour prévenir les dégradations. Lorsque le canal est fortement en remblai, il faudrait raccorder la route avec le dessus du pont et faire des culées énormes pour le traverser par un pont. On fait alors passer la route sous le canal, ou, pour mieux dire, le canal sur la route, au moyen d'un pont-canal.

Les ponts-canaux sont destinés à faire traverser par un canal des rivières, des routes ou des ravins profonds.

On les construit en maçonnerie ou en fonte : dans le premier cas, la cuvette rectangulaire est faite en maçonnerie ; dans le second, avec des plaques de fonte, qui peuvent être supportées par des culées en maçonnerie.

On a fait en Amérique des ponts-canaux en bois, mais leur peu de durée doit faire renoncer à ce système de construction partout où le bois n'est pas extrêmement bon marché.

On donne généralement le nom de ponts-aqueducs à ceux qui sont destinés à des canaux non navigables. Pour traverser des vallées très-profondes, on en a fait avec plusieurs rangées d'arches superposées. Ce sont des constructions gigantesques, dont les Romains nous ont légué de beaux exemples. Ces constructions sont extraordinairement coûteuses, et l'ingénieur consciencieux doit faire son possible pour les éviter dans les projets de canaux qu'il est appelé à dresser.

Les belles découvertes de *Vicat* sur les chaux hydrauliques ont rendu plus facile la construction des ponts-aqueducs, en permettant d'y établir de bonnes chappes durables de béton. La construction de ces ponts doit être très-soignée, car le moindre défaut peut leur être fatal et en entraîner la ruine.

Lorsqu'un cours d'eau vient croiser un canal, il y a trois manières d'agir.

On peut recevoir son eau dans le canal ; on peut la faire passer sur le canal ; on peut la faire passer sous le canal. Dans les deux derniers cas, on trace le canal de manière à avoir un débouché suffisant pour le passage de l'eau, au moyen d'un pont-canal.

On pourrait penser de prime abord qu'il y aurait toujours

de l'avantage à recevoir l'eau dans le canal plutôt que de la faire passer dessus, mais, en Italie, on a eu recours à ce moyen pour des torrents qui charrient en grande quantité des graviers qui auraient ensablé le canal et donné lieu à des curages trop fréquents.

Il faut qu'un pont-canal, dans l'un et l'autre cas, ait un débouché suffisant pour que toute l'eau des grandes crues puisse passer sans difficulté.

Pour les petits cours d'eau, on les fait passer sous le canal, au moyen d'aqueducs ordinaires, lorsque la hauteur du remblai le permet; autrement, on les fait passer par des syphons.

Les aqueducs, suivant leur importance, sont voûtés ou couverts en dalles. Quant aux syphons, on les fait, en Italie, ordinairement en maçonnerie, mais il est à remarquer que les voûtes résistent mal à une pression qui s'exerce de l'intérieur à l'extérieur; aussi nous pensons, avec l'inspecteur *Minard*, qu'il convient mieux de les établir avec des tuyaux de fonte.

Lorsqu'un canal ne doit pas servir à la navigation, on peut également lui faire franchir une vallée au moyen d'un syphon établi au dehors de terre, sur un pont dont on diminue ainsi l'élévation, ou sous terre, sans aucun pont pour le soutenir. On a un exemple de la première disposition dans l'aqueduc qui conduit l'eau à la ville de Gênes (1), *fig.* 292, et un exemple de la seconde dans un syphon établi en Espagne, dans le royaume de Valence, par les Arabes, pour faire traverser le torrent de la Veuve (Rambla de la Viuda) par le canal d'arrosage de Castellan, *fig.* 293. En Lombardie et en Piémont, plusieurs canaux secondaires passent sous des routes ou sous d'autres canaux, au moyen de syphons.

La construction des syphons demande beaucoup de soins, et, lorsque leurs dimensions sont petites, ils sont sujets à s'engorger par les matières qui y sont transportées par les eaux; il est alors extrêmement utile d'établir à leur entrée un puits de dépôt, où l'eau, avant de passer dans le syphon, puisse se débarrasser des matériaux les plus gros qu'elle entraîne dans son cours. En Italie, on établit des syphons en maçonnerie de briques, qui résistent très-bien. Les formes arrondies seraient celles qui conviendraient le mieux aux syphons, pour ne pas diminuer leur débit, mais il est difficile de les

(1) Dans le patois du pays, on appelle ce syphon un pont renversé.

appliquer aux syphons en maçonnerie; aussi on ne les emploie que dans ceux en tuyaux de fonte.

Quant à l'introduction des cours d'eau secondaires dans le canal, elle s'opère au moyen de déversoirs ou de syphons, qui font surgir l'eau du fond. La première disposition nous paraît grandement préférable, comme plus simple et bien moins sujette à des dérangements dangereux.

§ VIII. EMBOUCHURE DES CANAUX DANS LES RIVIÈRES. OUVRAGES DIVERS.

Les canaux de simple irrigation n'ont souvent pas d'embouchure dans une rivière, à moins qu'ils ne soient sujets aux crues, car ils dépensent toute leur eau sur leur parcours.

Les canaux de navigation joignent, au contraire, la rivière par leurs deux extrémités, et nous avons peu de chose à dire sur leur extrémité inférieure, puisqu'elle ressemble entièrement à l'extrémité supérieure. Une écluse est nécessaire pour passer du canal dans la rivière. Cette écluse est quelquefois placée à côté de la rivière, quelquefois à une certaine distance sur un canal de niveau avec la rivière. Si la rivière est sujette aux marées, il faudra des doubles portes à l'écluse. Les canaux colateurs peuvent déboucher dans une rivière dont le niveau, dans les crues, est inférieur au niveau des terrains assainis; dans ce cas, leur débouché se fait librement, comme dans celui où la rivière n'est pas endiguée. Mais, lorsque des digues défendent les terrains environnants des inondations en temps de crue, il faut établir des vannes ou des clapets à l'extrémité des colateurs, pour les fermer dès que l'eau de la rivière monterait plus haut que les terrains à assainir.

Les vannes, martelières ou clapets, dont nous avons parlé plus haut, sont en tout applicables à l'origine des canaux destinés à recevoir les marées montantes pour *Warping* les terres; nous n'en parlerons donc plus à présent.

Un canal d'arrosage peut nécessiter d'autres travaux d'art, comme murs de soutènement, murs de chute, etc.

Les canaux d'arrosage devant être habituellement en terrain naturel, ne donnent que rarement lieu à y établir de grandes tranchées ou des tunnels. On en a cependant des exemples, et le canal de Marseille en est le plus important, puisqu'une partie de son parcours se trouve dans des souterrains. On trouvera dans les ouvrages spéciaux les notions nécessaires pour bien diriger ces travaux importants. Les tunnels

et les grandes tranchées présentent de très-grandes difficultés d'exécution, et l'on consultera là-dessus, avec avantage, deux ouvrages que nous avons déjà eu occasion de citer : les Mémoires sur le canal de l'Ourcq, par *Girard*, et le Cours de construction, par *Minard*.

L'établissement moderne de grandes lignes de chemins de fer a forcé les ingénieurs à construire des tunnels gigantesques, dont plusieurs sont de bons exemples à consulter. Nous terminerons ici ce que nous avons à dire sur les canaux, en regrettant, toutefois, que le cadre que nous nous sommes imposé ne nous ait pas permis d'entrer dans de plus amples détails, spécialement sur les ouvrages d'art qui sont un si beau sujet d'études pour les ingénieurs. Nous avons cherché de suppléer à ce laconisme forcé, en donnant aux planches les dessins de plusieurs ouvrages d'art remarquables, qui peuvent servir de modèles.

CHAPITRE VI.

COURS D'EAU EMPLOYÉS DIRECTEMENT. INONDATIONS. MANIÈRE DE LES RÉGLER.

Les inondations sont, en général, une mauvaise chose dont il faut chercher à se garantir, autant qu'on le peut. Ce n'est pas que si on pouvait en disposer en temps voulu, elles ne pussent pas remplacer les irrigations; mais en général les terres sont sèches et demandent de l'eau précisément au moment où les rivières sont à leur étiage et ne débordent pas.

D'un autre côté, une inondation, au moment où les foins sont assez hauts, les *rouille* et les perd en totalité ou en partie. Il existe pourtant des contrées entières où, comme en Egypte, les inondations sont un puissant moyen de fertilisation, mais alors l'eau n'agit pas en humectant la terre seulement, elle agit par-dessus tout comme véhicule qui apporte et dépose uniformément un limon fécondant. C'est un véritable limonage qu'on obtient. En Egypte, le Nil présente le grand avantage de déborder tous les ans à la même époque, qui concorde précisément avec le temps des semailles, et de ne plus déborder le restant de l'année. Aussi, dans la basse Egypte, on conserve l'eau dans des canaux qui font office de réservoirs, et on l'élève au moyen de norias pour l'employer aux irrigations.

Il n'en est pas de même de nos rivières de France, leurs crues ne sont pas assez réglées pour qu'on puisse compter dessus à une époque déterminée, et l'on doit toujours craindre un débordement lorsque les récoltes sont sur pied, ce qui les ruinerait entièrement.

Est-ce à dire pour cela qu'il faille renoncer, comme on ne l'a que trop fait déjà, aux avantages que présenterait un limonage fait de cette façon en temps utile? Non certainement, il faut au contraire profiter, toutes les fois qu'on le peut, du limon entraîné par les eaux troubles des rivières, qui est un excellent engrais et à très-bon marché. Mais, lorsque les débordements ne sont pas réglés comme des colmatages, les rivières rapides, qui charrient avec du limon, du sable et des graviers, commencent par déposer ces matières plus lourdes, et frappent de stérilité les places où ces dépôts ont lieu, et cela est d'autant plus regrettable, que les bords des rivières

formés de terrains d'alluvion sont presque toujours d'une très-grande fertilité.

Ainsi donc, en résumé, les inondations sont nuisibles en général, mais elles peuvent devenir utiles dès que l'on est maître de les diriger, ou, pour mieux dire, de laisser déborder les cours d'eau ou de les maintenir dans leur lit, suivant les saisons et les récoltes qui sont sur pied.

Voyons les moyens de dominer les débordements des rivières. Il faut nécessairement les endiguer, mais non pas de manière à les contenir toujours dans leur lit. Il faut que l'eau des crues puisse s'échapper par des ouvertures convenablement placées dans les digues, ouvertures qu'on peut, à volonté, fermer ou ouvrir au moyen de vannes.

Mais ici se présente une grave difficulté. Les terrains d'alluvion qui bordent les grandes rivières sont très-fertiles, et, par cela même, subdivisés en très-petites parcelles. Or, chaque propriétaire cultivant à sa façon, il s'ensuit que lorsque la culture d'une parcelle permettrait de la limoner avec avantage, la culture de la parcelle voisine est telle que l'introduction de l'eau limoneuse ruinerait en entier une riche récolte. Et la subdivision en petites parcelles ne permet pas de les clore entièrement par des digues insubmersibles; d'ailleurs, avec cette méthode, il n'y aurait que les parcelles qui bordent immédiatement les cours d'eau qui pourraient profiter des limonages, tandis que l'inondation pourrait s'étendre sur une grande largeur, comme cela aurait lieu, par exemple, dans le val de la Loire, à côté d'Orléans.

Si au contraire les propriétés étaient très-étendues, on pourrait enclore ainsi de vastes surfaces de terrains, et adopter une rotation telle qu'à l'époque des crues chaque parcelle pût successivement profiter des limonages.

Nous donnons cette difficulté à résoudre aux économistes, qui pensent que la division des propriétés, poussée à ses extrêmes limites, fait progresser l'agriculture. Il faudrait bien peu connaître l'esprit des petits cultivateurs pour penser qu'ils pourraient s'associer et s'astreindre à cultiver, dans un ordre fixé en commun, leurs terres, pour pouvoir les limoner à tour de rôle.

Il faut donc convenir que dans l'état actuel des choses les limons que charrient les rivières sont une belle richesse qu'il faut se résigner à perdre le plus souvent.

Toutes les propriétés ne sont pas encore ainsi divisées, et

pourtant nous n'avons presque jamais vu les propriétaires profiter avec intelligence des inondations et du limon qu'elles déposent sur la terre. On demande au contraire à grands cris l'endiguement des rivières pour se garantir; mais on ne pense jamais à se conserver le moyen d'inonder sa propriété, en totalité ou en partie, en temps opportun. Il est peut-être facile de donner la raison de cette négligence. Les dommages causés par les débordements de rivières sont immédiatement visibles et palpables, tandis que l'amélioration produite par les limonages ne se fait sentir que sur les récoltes subséquentes. Et notez que les terrains d'alluvion submersibles sont, en général très-riches, et que ce n'est que plusieurs années après que les rivières sont endiguées qu'on commence à s'apercevoir de leur appauvrissement. La valeur des propriétés diminue sans que les propriétaires puissent en découvrir la cause. Pour régler les inondations, il faut endiguer les rivières par des digues insubmersibles. Nous parlerons, dans le Livre IV, de l'établissement de ces digues, mais il faut conserver des ouvertures, fermées par des vannes, pour introduire à volonté les eaux troubles sur les terres submersibles. Il faut ensuite diviser le terrain en compartiments par des digues, à peu près comme on le fait dans les rizières, pour pouvoir inonder telle partie et conserver à sec telle autre, suivant l'état de leur culture. Il faut en outre, par un bon système d'assainissement, et par des canaux colateurs, se procurer la facilité de faire écouler les eaux dès qu'elles auront fertilisé la terre en déposant leur limon, et que la rivière, ne débordant plus, sera rentrée dans son lit mineur. On appelle lit mineur celui qui est occupé par les eaux moyennes, et lit majeur celui qui est occupé par les plus grandes crues.

Nous avons vu que les sables et graviers charriés par les eaux rendaient stériles les places où ils se déposaient. Il faut donc empêcher leur introduction dans les terres à limoner. Ces matières, à cause de leur plus grande pesanteur, roulent près du fond des rivières; aussi ne doit-on introduire dans les terres que l'eau de la surface, qui ne tient en suspension que des limons ténus et fertilisants. Pour cela il faut que les ouvertures par lesquelles l'eau s'introduit soient plus élevées que le fond de la rivière, d'une quantité en rapport avec la hauteur habituelle de ses crues.

Il peut se présenter deux cas : ou l'introduction et la sortie des eaux ont lieu par le même orifice, ou elles ont lieu par

des orifices différents. Dans le premier cas, il faut, de toute nécessité, avoir des vannes de fond, sans quoi l'eau, devenue claire, ne pourrait pas s'écouler en totalité, et rendrait marécageuse la partie des terrains où elle stagnerait. Il faut alors que les vannes soient divisées en deux parties sur leur hauteur, parties indépendantes, et pouvant se mouvoir séparément. On ouvre la partie supérieure pour l'introduction de l'eau de la surface, et on ouvre au contraire la partie inférieure pour donner lieu à l'écoulement de l'eau devenue nuisible après qu'elle s'est éclaircie. L'établissement de ces vannes ne présente pas de difficulté, car elles sont en tout semblables aux martelières dont nous avons parlé dans le chapitre précédent, et dont nous avons donné des dessins aux planches.

Si au contraire l'eau sort par un autre orifice que celui par lequel elle est entrée, on pourra établir la partie basse de celui-ci en maçonnerie, de manière à former un déversoir, et ne fermer par une vanne que sa partie supérieure. Quant à l'orifice de sortie, il devra toujours être garni d'une vanne de fond pour empêcher ou faciliter à volonté l'écoulement de l'eau du dehors au dedans, ou du dedans au dehors.

En bas de l'orifice d'entrée, il faudra établir un radier solide, car l'eau, passant par un déversoir, commencera généralement par faire une chute qui produirait sans cela des affouillements considérables. Les joues des vannes devront être solidement construites en maçonnerie.

Sur toutes les rivières, les crues, dans leur commencement, roulent des eaux plus grasses que sur leur fin. Pour chaque rivière particulièrement, il est une période de la crue où les matériaux charriés sont meilleurs. Il faut observer et savoir saisir le moment propice pour inonder les terres.

Il peut devenir nécessaire de faire communiquer entre eux les différents compartiments, et alors, à chaque ouverture dans les digues qui les séparent, il faudra établir des vannes de fond pour pouvoir, à volonté, ouvrir ou intercepter la communication.

D'après ce qui précède, on voit que nous venons de décrire un vrai colmatage ou limonage, qui se fait sans l'entremise des canaux d'amenée, puisque la position des terrains à bonifier est telle que la rivière peut directement les limoner. Tous ces travaux, que nous proposons, ne laissent pas d'être coûteux, nous n'en disconvenons pas, mais nous sommes persuadé qu'ils seraient largement payés par l'amélioration des terres. On ne se fait pas généralement d'idée de la grande richesse que les rivières entraînent et portent à la mer sous forme de limon. La grande fertilité des terrains d'alluvion qui forment le fond des vallées, le prouve pourtant à l'évidence. Ce ne sont pas seulement les grandes rivières qui peuvent fertiliser ainsi les terres riveraines, les torrents et les ruisseaux peuvent être utilisés de même, et cela d'autant plus facilement que les dépenses de digues, de vannes, etc., sont diminuées proportionnellement à l'importance du cours d'eau dont on veut se rendre maître.

Quelques agriculteurs sont tellement convaincus des bons effets des limonages, qu'ils proposent de renoncer à l'endiguement des cours d'eau, et de subir les chances d'une récolte perdue de temps en temps, en vue des avantages qu'on retirerait, pour les autres récoltes, du débordement des eaux troubles. Nous comprendrions leur raisonnement si on ne pouvait pas endiguer une rivière tout en se conservant la faculté de la laisser déborder en temps opportun ; mais comme nous venons de voir que cela est très-faisable, nous conseillons au contraire d'endiguer les rivières pour défendre les récoltes sur pied, et de limoner les terrains qui ne craignent pas d'être submergés. C'est là un des plus puissants moyens dont l'agriculture, aidée par la science, puisse disposer pour augmenter ses produits.

QUATRIEME PARTIE.

MOYENS ARTIFICIELS D'ÉLEVER L'EAU.

> Je laisse à penser à ceux qui ont la conduite des grands travaux, combien il est dangereux de se laisser éblouir par les avantages qu'on voudrait attribuer à des nouvelles machines, à l'exclusion des anciennes, puisque si on les adopte, sans une parfaite connaissance de la force qu'il faudra pour les faire mouvoir, et du plus grand effet dont elles peuvent être capables, l'on risque de faire un mauvais emploi du temps, qui est toujours précieux en pareil cas, et de multiplier la dépense fort mal à propos.
>
> BÉLIDOR.

CHAPITRE PREMIER.

MACHINES SERVANT ELLES-MÊMES A ÉLEVER L'EAU.

Avant de commencer cette quatrième partie qui a directement rapport aux machines, nous devons protester contre un préjugé, assez enraciné dans le vulgaire, et duquel ne savent pas toujours se garantir les personnes instruites qui n'ont pas fait une étude toute spéciale de la mécanique. Nous voulons parler de l'idée où l'on est de pouvoir avec une machine créer de la force. Cette erreur est journellement cause de la ruine de bien des personnes qui perdent leur temps, leur intelligence et leur argent à la recherche de l'impossible. Une machine peut utiliser, plus ou moins bien, la force dont on dispose, elle peut utiliser une force naturelle qui n'avait pas encore été employée, comme il est arrivé pour la machine à vapeur, comme il est probable que cela aura lieu pour l'électricité; mais elle ne peut, en aucun cas, produire un effet plus grand que la force qui la met en mouvement. Tout au contraire elle absorbe toujours une partie de cette force, qui est perdue pour l'effet qu'elle produit.

En choisissant une machine pour un travail donné, il faut donc avoir seulement en vue de reconnaître celle qui, en réunissant toutes les données de commodité et de régularité, utilisera la plus grande partie de la force qu'on lui applique.

Souvent encore une machine peut être meilleure qu'une autre, et pourtant ne pas présenter d'avantage. C'est ce qui arrive lorsqu'on a un travail temporaire à exécuter, et que l'achat et l'établissement de la machine deviendraient plus coûteux que le surcroît de dépense qu'entraîne une machine moins parfaite, mais portative ou moins difficile à établir. Par exemple, dans les grands travaux de terrassements il y a avantage à les faire par des wagons sur des rails en fer; mais pour des terrassements de peu d'importance il convient d'employer les tombereaux ordinaires.

Passons maintenant en revue quelques-unes des machines employées pour élever les eaux.

Le nombre des machines de ce genre qui ont été inventées et qu'on invente tous les jours est très-grand, et nous n'avons pas la prétention de toutes les décrire.

Nous nous contenterons de parler des plus simples et de celles qui étant basées sur des principes différents, donnent un bon exemple dans chaque principe.

Nous tâcherons aussi de donner souvent les méthodes pour reconnaître l'effet qu'une machine donnée peut produire, et nous rapporterons, lorsque nous le pourrons, les résultats de l'expérience.

§ Ier. MACHINES QUI SONT MISES EN MOUVEMENT PAR UN MOTEUR ÉTRANGER.

1° *Seaux et baquets à main.*

La plus simple des machines pour élever l'eau, si tant est qu'on puisse l'appeler machine, est un seau ou baquet manœuvré à la main par un ou deux hommes.

On emploie les baquets ou seaux pour l'épuisement des fondations, mais il nous paraît bien difficile de les employer pour les arrosages, si ce n'est pour des petites parcelles de jardins maraîchers, et encore nous croyons qu'on peut y établir des machines simples bien préférables.

Les défauts des seaux ordinaires sont : 1° qu'il faut les tourner pour les remplir; on a cherché à y remédier en plaçant une soupape sur leur fond, de manière à ce qu'ils se remplissent par en bas; 2° qu'ils descendent à vide, de manière que le moteur agit sans produire d'effet; 3° qu'il faut les élever plus haut que le niveau où l'eau doit se répandre pour les vider; 4° enfin que dans leur mouvement ascensionnel on perd une certaine quantité de force vive, car il

faut les tourner pour les vider. On remédie à ces deux derniers inconvénients en faisant le baquetage avec des *vans* manœuvrés par deux hommes, car alors on prend l'eau et on la jette par un mouvement de va-et-vient suivant un arc de cercle, mais les *vans* parcourent ainsi un chemin plus long que celui nécessaire pour élever l'eau, et on perd de l'eau dans ce mouvement; eau qui n'en dépense pas moins de la force pour être élevée à une certaine hauteur.

Le baquetage ne peut être utilement employé que lorsqu'on ne doit pas élever l'eau à plus de $0^m,60$ à 0^m80 de hauteur au-dessus de son niveau. Si l'on devait la porter à une plus grande hauteur, il faudrait établir un réservoir à la moitié, et faire le travail au moyen de deux ateliers, ou même plus, de baquetage.

Il est difficile de déterminer le travail que peut ainsi produire un ouvrier; sa force et son adresse peuvent le faire varier dans des limites très-étendues. D'après les expériences de *Perronnet*, l'effet utile est de 46000 kilogrammètres pour un homme travaillant huit heures par jour (1).

Pour se faire une idée de combien la hauteur à laquelle on élève l'eau influe sur l'effet utile que l'on obtient, on peut observer que, d'après le même ingénieur, un homme qui élève l'eau à $1^m,80$ n'en vide, par minute, que $0^{mmm},034$, et qu'en l'élevant à 1 mètre seulement, il en vide le double.

2° *Ecopes ordinaires et hollandaises.*

Nous avons déjà parlé des écopes et pelles creuses appliquées à l'arrosage des jardins et des terres. Ici nous ne les envisageons que comme moyen d'élever l'eau. On ne peut guère employer, avec quelque utilité, les écopes que lorsque l'eau ne doit être élevée que de $0^m,60$ à $1^m,20$ de hauteur.

L'écope hollandaise, *fig.* 302, est préférable aux autres. Suivant les observations de *Bélidor* (2), un ouvrier habile peut, avec cette écope, produire $5^{km}.566$ de travail utile par seconde, soit élever à 1 mètre de hauteur 5 litres 566. Ce travail nous paraît fort, mais comme *Bélidor* ne dit pas si ses

(1) Nous appelons, avec *Poncelet*, kilogrammètre, en abrégé km., un poids d'un kilogramme élevé à un mètre de hauteur en une seconde; mais lorsque nous donnons la durée du travail comme ci-dessus, le km. ne représente plus qu'un kilogramme élevé à un mètre, sans tenir compte du temps.

(2) Architecture hydraulique, T. I, p. 381. Un demi-pied cube par 4 secondes, soit 450 pieds cubes par heure élevés à 450 pieds de hauteur.

expériences sont le résultat d'une moyenne prise sur beaucoup de journées, ou de l'observation individuelle sur un seul ouvrier, nous ne pouvons pas tirer de conséquences de chiffres que nous ne savons pas s'ils représentent une moyenne ou un maximum, pendant quelques instants de travail seulement. L'écope, de même que le van, présente l'avantage que l'eau peut quitter la machine avant d'avoir atteint la hauteur à laquelle elle est élevée, en sorte que la vitesse qui lui est imprimée n'est pas perdue pour l'effet utile, mais elle a aussi le désavantage de parcourir un chemin plus long que celui qui serait nécessaire pour l'élévation de l'eau.

Navier (1) dit que les Egyptiens emploient, pour l'arrosage des terres, des paniers en feuilles de palmier manœuvrés par deux ouvriers, et au moyen desquels on peut élever l'eau de $0^m,50$ à $0^m,60$ au-dessous du sol à arroser.

3° *Seaux manœuvrés au moyen d'une autre machine.*

Le moyen le plus simple d'employer une autre machine pour faciliter le mouvement des seaux, consiste à le suspendre, par une gaule, à l'extrémité d'un levier portant sur un essieu ou axe, comme le fléau d'une balance, et dont l'autre extrémité est chargée d'un contre-poids. La figure 209 donne cette machine rustique telle que l'établissent les jardiniers de Gênes et de Savone, pour puiser dans des puits l'eau nécessaire à leurs horticolages. On l'appelle dans le pays une *cigogne*. L'avantage de cette machine fort simple, est que les ouvriers ne sont pas obligés de soulever le poids du seau même, et qu'ils agissent en se baissant.

Cette machine est employée utilement lorsqu'on doit élever l'eau de 5 à 6 mètres au plus, et que les ouvriers ne doivent travailler que 2 ou 3 heures; de cette manière, un ouvrier habile peut élever jusqu'à 22 mètres cubes par heure; mais en moyenne les ouvriers n'en élèvent que 15 mètres cubes.

Lorsque l'eau est assez profonde dans un puits, et qu'on ne peut pas employer le baquetage à bras, on emploie souvent, pour la puiser, des seaux suspendus à des cordes ou à des chaînes.

La plus mauvaise application qu'on puisse en faire consiste à les manœuvrer à la main, car l'ouvrier travaille en soulevant de bas en haut, et il doit soulever la corde en

(1) Résumé des leçons données à l'Ecole des ponts-et-chaussées, T. II, p. 359.

même temps que l'eau, ce qui donne un fort travail perdu. On remédie en partie à cela, au moyen des poulies ordinaires de nos puits, car alors la force de l'ouvrier agit en faisant effort en se baissant.

Les différents treuils qu'on met en mouvement avec des manivelles, sont assez connus et sont plus avantageux que la simple poulie, bien entendu pourtant qu'il faut avoir deux seaux, de manière que l'un descende tandis que l'autre monte, car on n'a pas ainsi de perte de temps sans travail utile, et que la descente de l'un aide à faire monter l'autre.

Nous ne connaissons pas d'expériences directes qui donnent la moyenne de la quantité d'eau que peut élever ainsi un ouvrier. Seulement nous trouvons dans une table donnée par *Navier* dans sa nouvelle édition de l'architecture hydraulique de Bélidor; qu'en moyenne le meilleur emploi de la force de l'homme, appliquée à une manivelle, consiste à lui faire exercer un effort de 8 kilogrammes, et avoir une vitesse de $0^{m},75$, ce qui donne un travail de 6^{km}. par seconde. Comme tout ce travail ne se reproduit pas en effet utile, on voit que les seaux et les treuils ne doivent être préférés à l'écope hollandaise, que lorsque la profondeur de l'eau ne permet pas de faire usage de cette dernière. *Coulomb* (1) pense qu'avec un treuil bien établi une ouvrier peu élever, en une heure, $20^{mmm},17$ à un mètre de hauteur, ou bien 1 mètre cube d'eau à $20^{m},17$ d'élévation.

D'Aubuisson diminue un peu ce résultat pour l'appliquer à un travail continu de 8 heures par jour, et il pense qu'en une journée l'ouvrier élèvera 160 mètres cubes à un mètre de hauteur.

D'après *Coulomb*, l'effet obtenu en agissant avec une corde et une poulie, n'est que moitié du précédent.

Navier estime que lorsqu'on a deux seaux attachés aux extrémités d'une corde passant par une poulie fixe, l'effet utile journalier produit par un homme, est de 70000^{km}.

Lorsque le milieu de la corde est fixé à l'arbre d'un treuil, sur lequel les deux moitiés de la corde s'enroulent alternativement en sens contraire, et qu'un ou plusieurs hommes font tourner le treuil au moyen d'une manivelle, il estime que l'effet utile est de $140,000^{km}$. pour une journée de manœuvre.

(1) Mémoire sur la quantité d'action que les hommes peuvent fournir par leur travail journalier, suivant les différentes manières dont ils emploient leurs forces.

Quelquefois on applique un manège à cette machine.

Nous reproduisons une disposition de deux seaux avec crémaillères et manivelles, donnée par Bélidor, sans trop en conseiller l'emploi. Voyez *fig.* 306.

4° *Auges à bascule et à soupape.*

Bélidor décrit cette machine, qui nous paraît simple et facilement applicable. Nous en donnons le dessin à la *fig.* 303 un peu modifié, de manière à pouvoir transporter facilement la machine.

On comprendra facilement que deux hommes la manœuvrent, et que lorsqu'ils baissent l'auge, qui par une de ses extrémités décrit un arc de cercle, la soupape s'ouvre et elle se remplit en partie, et lorsqu'on la soulève elle se vide par l'autre extrémité.

Cette auge peut élever facilement l'eau à $0^{m},80$ ou à $1^{m},00$, mais son défaut principal consiste à employer la force des ouvriers à élever, en même temps que l'eau, l'auge qui ne laisse pas d'être assez lourde. On y remédie en faisant une auge double et bien équilibrée, car alors le poids qu'on élève n'est plus réellement que celui de l'eau. Cette machine exige quatre hommes pour être bien manœuvrée. Nous n'avons pas de données sur l'effet utile qu'on peut en retirer.

Il est évident qu'on peut, au moyen de cordes, balanciers ou autres mécanismes, rendre le service de ces auges plus commode en faisant travailler les ouvriers hors de l'eau, et en les faisant agir en tirant de haut en bas.

On peut voir, dans *Navier* (1), la description de deux machines à bascule, ingénieuses si on veut, mais d'une application difficile et ne présentant pas d'avantages sur les machines communément employées pour cet usage; aussi nous n'en parlerons pas.

5° *Roue à palettes.*

Une roue à palettes, contenue dans un coursier, sert ordinairement à utiliser une chute pour faire tourner un arbre, et obtenir ainsi une force applicable à un travail quelconque. Il est évident que si, par un moyen quelconque, on appliquait une force dont on dispose, à faire tourner l'arbre en sens inverse, la roue à palettes pourrait prendre l'eau dans un réser-

(1) Résumé des leçons, etc., p. 352.

voir et la faire monter, par le coursier, jusqu'au niveau de son axe.

Cette machine, *fig.* 307, qui peut être construite d'une manière solide et durable, a été employée en Angleterre et en Hollande. Elle a été étudiée par *Navier* et *Smeaton*. Le premier, qui a calculé son effet utile, a trouvé que son rapport avec la quantité d'action dépensée, est d'autant plus grand que la vitesse du mouvement de la roue est plus petite, et qu'il serait égal à l'unité si cette vitesse était infiniment petite. Mais, en même temps, les pertes d'eau, à la circonférence des palettes, augmentent lorsque la vitesse diminue; et toutes choses égales, d'ailleurs, on les rendra les plus petites possibles en faisant les aubes rectangulaires, d'une largeur double de leur hauteur.

Smeaton a observé qu'un cheval ordinaire, en travaillant huit heures par jour, produit un effet utile de 47^{kgm}. par seconde. C'est un très-beau résultat, que nous prendrons plutôt comme un maximum que comme une moyenne.

6° *Roue à godets et à seaux.*

Cette roue, *fig.* 308, avec des godets fixes qui se vident par un trou, ou, ce qui vaut mieux, avec des seaux tournant sur un arc horizontal, est imparfaite, puisqu'elle n'utilise que les 0,60 de la force employée; mais, à cause de sa simplicité et de sa rusticité, elle est d'un fréquent usage dans les arrosages. Ou la place, ordinairement, dans le courant même qui la met en mouvement, aussi elle devrait être rangée parmi les machines du second paragraphe de ce chapitre; mais nous en parlons ici, car on peut, à la rigueur, la faire plonger dans un réservoir, et la mettre en mouvement par une force quelconque. Dans le premier cas elle est munie de palettes; dans le second elle est une simple roue ordinaire qui porte les seaux. Il y a toujours de l'avantage à la faire mouvoir lentement.

Voici comment *Bélidor* (1) enseigne à déterminer ses dimensions

« Pour connaître la quantité d'eau que chaque seau pourra contenir, il faut prendre les 479 de la force absolue du courant, c'est-à-dire les 479 de la pesanteur du prisme d'eau, qui aurait pour base la superficie d'une aube, et pour hauteur celle de la chute, capable d'une vitesse égale à celle du courant; alors on aura la puissance qui doit être en équilibre avec la pesanteur de l'eau des seaux d'une demi-circonférence.

» Cela posé, on dira : Comme la somme des sinus qui servent de bras de levier aux seaux, est au sinus total, bras de levier de la puissance; ainsi, cette puissance est à un quatrième terme dont il faudra prendre la moitié pour la pesanteur de l'eau que chaque seau pourra contenir.

» Comme la vitesse de la roue sera le tiers de celle du courant, on saura la quantité de tours qu'elle fera dans un temps déterminé; par conséquent, la quantité d'eau qu'elle élèvera dans le même temps, puisqu'on connaît la capacité des seaux et le nombre qui s'en videra dans chaque révolution. »

Souvent on établit deux roues, l'une portant les aubes, et l'autre les seaux entre ses deux jantes.

A l'épuisement des fondations du pont de Neuilly, *Perronnet* (1) a employé une machine ainsi établie. Le courant avait une vitesse de $0^{m},81$; la roue à seaux était séparée de celle à aubes, elle en a été éloignée jusqu'à 35 mètres. La roue à aubes avait $5^{m},85$ de diamètre; les aubes avaient $6^{m},50$ de largeur sur $0^{m},97$ de hauteur. La roue à seaux avait $5^{m},36$ de diamètre; elle portait 16 seaux cubant chacun $0^{mmm},123$; mais, à cause des pertes d'eau en montant, chaque seau n'en donnait réellement que $0^{mmm},103$.

La machine élevait en une heure 185 mètres cubes d'eau à $3^{m},25$ de hauteur.

7° *Roue à tympan.*

On donne deux formes différentes à cette roue.

La première forme avait été souvent employée par les anciens, et se trouve décrite au Livre X, Chapitre 9 de *Vitruve*. On mettait en mouvement cette machine au moyen d'hommes marchant dans une roue creuse qui y était accolée.

Cette roue, f. 311, est formée d'un tambour circulaire partagé par des cloisons, dirigées suivant les rayons du cercle, généralement au nombre de huit. La surface cylindrique est percée d'une ouverture pour chacun des compartiments. L'eau s'introduit par ces trous dans l'intérieur de la roue, et s'écoule par l'axe qui est creux. Cette machine ne peut pas servir à élever l'eau à une hauteur considérable, à moins de lui

(1) Architecture hydraulique, T. 1, p. 387.

(1) P. 66, 114.

donner de trop grandes dimensions ; c'est ce qu'avait parfaitement vu *Vitruve*, lorsqu'il disait : « *Non alte tollit aquam, sed exhaurit expeditissime multitudinem magnam.* »

La seconde forme de cette machine est celle f. 312 que lui donna au commencement du siècle dernier *Lafaye*, en courbant les cloisons suivant le développement du cercle du moyeu, et en supprimant l'enveloppe convexe. L'eau s'y introduit et s'en écoule par l'axe de la même manière ; mais, en s'introduisant dans les canaux qui forment le tympan, elle n'en prend pas instantanément la vitesse de rotation, aussi il n'y a pas de force vive perdue. Le centre de gravité de l'eau que contient le tympan, se tenant sensiblement dans une même ligne verticale, l'action de la résistance est uniforme.

D'après des expériences de *Perronnet*, ce dernier tympan paraît pouvoir utiliser les $4/5^{e}$ environ de la quantité d'action dépensée. C'est un très-beau résultat, et qui devrait engager à employer cette machine toutes les fois que la hauteur à laquelle on doit élever l'eau le permet. Sa construction n'est pas difficile, et ses réparations très-aisées.

8° *Noria.*

Cette machine, qui a suivi les Arabes dans tous les pays qu'ils ont conquis, et dans lesquels ils ont importé leur agriculture, est encore très en usage en Espagne et en Egypte. C'est une machine simple et rustique, et qui satisfait parfaitement aux exigences d'une agriculture jardinière comme celle de ces pays. La f 313 extraite du Voyage en Espagne de *Jaubert de Passa*, représente celle usitée dans ce pays.

La noria consiste, comme on le voit dans la f. 314, en une corde ou chaîne sans fin, à laquelle sont attachés des pots de terre ou des caisses en bois ou en métal. La corde passe sur un tambour établi au-dessus du réservoir dont on veut tirer l'eau, et son extrémité inférieure passe sur un treuil fixé dans l'eau et qui la tient assez tendue. Quelquefois ce second treuil est supprimé, et la chaîne n'est tendue que par son poids et celui des pots ; mais le plus souvent elle est retenue sur le treuil supérieur, contre le glissement qui pourrait être produit par la différence de poids de la partie qui porte les pots pleins d'eau, et de celle qui les descend vides, par des chevilles fourchues qui empoignent la chaîne.

La noria peut être établie de manière que le seau ou pot se

verse en passant sur le treuil supérieur, et dans ce cas elle a le défaut d'élever l'eau plus haut qu'il ne faut ; ou bien de manière que le seau incliné par un arrêt verse avant d'avoir passé sur le treuil ou tambour.

Comme la noria nous paraît une machine extrêmement utile (1) par sa rusticité, nous croyons devoir transcrire ici la description donnée par *D'Aubuisson* d'une bonne noria établie par *Abadie*, *fig.* 314 :

« Le tambour, dans sa coupe verticale, est un hexagone régulier de $0^{m},45$ de côté : c'est une lanterne à 6 fuseaux. Elle est formée par deux plateaux en fonte ayant $0^{m},02$ d'épaisseur, distants de $0^{m},43$, et réunis par des fuseaux ou boulons en fer de $0^{m},03$ de diamètre.

« Un des plateaux est percé d'une simple ouverture pour le passage de l'axe de rotation, lequel consiste en une pièce de fer de $0^{m},054$ d'équarrissage.

L'autre présente à son centre comme un moyeu formé de deux anneaux concentriques de $0^{m},08$ de saillie ou largeur ; le petit, de $0^{m},06$ de diamètre, embrasse l'axe ; entre lui et le grand, qui a $0^{m},13$, sont six petites cloisons placées dans le sens des rayons : le tout est en fonte et coulé avec le plateau. Entre les deux plateaux, et comme un rayon au milieu du tambour, on fixe horizontalement une pyramide tronquée hexagonale et creuse ; sa hauteur est de $0^{m},43$, le côté de la grande base de $0^{m},20$, et celui de la petite $0^{m},05$: cette petite base s'applique contre le petit anneau du moyeu, et la grande contre la paroi intérieure du plateau opposé. Ses six arêtes correspondent aux six petites cloisons du moyeu et aux six fuseaux. Entre chaque arête et le fuseau correspondant est

(1) « L'utile noria, que nous devons aux Maures, et qui a voyagé avec eux depuis l'Egypte, mise en mouvement par un seul cheval, fournit journellement un grand volume d'eau. Celle-ci séjourne dans un très-grand bassin, d'où elle se dirige ensuite, au moyen de quelques rigoles, souvent maçonnées, sur les planches du jardin, ou vers le petit carré de blé, que le jardinier se ménage encore au milieu de ses horticoles. Les godets de la noria, f. 313, sont en terre cuite : ils n'élèvent chacun qu'environ 125 pouces cubes d'eau ; mais le mouvement de la roue et le nombre de godets, qui sont espacés de manière à ce que cinq déversent à la fois, suffisent pour alimenter une forte source.

« En général, les norias sont adossées contre la maison du colon ; la roue d'engrenage est dans l'écurie du cheval chargé de la mettre en mouvement, et presque toujours un enfant suffit pour activer le pas de l'animal, lorsqu'il est au travail.

« La culture par la noria est toujours limitée ; mais elle présente tant d'économie et des résultats si satisfaisants, qu'on ne saurait trop l'encourager et en recommander l'emploi. Souvent moins d'un hectare de terre et une noria suffisent, dans un climat brûlant et sur une terre sablonneuse, pour alimenter une nombreuse famille, et constituer encore un gros revenu en faveur de son heureux propriétaire. » (*Jaubert de Passa*, Voyage en Espagne, T. II, p. 46.)

une plaque en fonte ou grande cloison, et le tambour se trouve ainsi divisé en six compartiments.

» La chaîne a $13^m,72$ de long, et est formée de 38 grands chaînons. Chacun porte un seau fait en feuilles de cuivre : la f. 314 en présente une coupe perpendiculaire à l'axe de rotation :

On a : $AC = 0^m,271$, $AB = 0^m,21$, $CD = 0^m,13$,

et la longueur parallèlement à l'axe est de $0^m,335$: la capacité du seau est ainsi de 15 litres. (Elle n'est que moitié dans les norias les plus ordinaires, et qui reviennent à 700 fr. environ mises en place.) Au milieu du fond CD est un trou circulaire de $0^m,027$ de diamètre, recouvert d'une petite soupape en bois.

» Sur les deux côtés opposés de chaque seau sont fixées deux petites lames de fer M, ayant $0^m,003$ d'épaisseur, $0^m,032$ de large, et $0^m,53$ de long. Leurs extrémités sont traversées par un boulon de $0^m,02$ de diamètre, et de manière que celui qui traverse les extrémités supérieures des bandes d'un seau, traverse aussi les extrémités inférieures des lames du seau qui est au-dessus. C'est ainsi que se forment les chaînons : et il faut avoir grand soin que leur longueur, la distance d'un boulon à l'autre, soit telle que, dans la partie de la chaîne qui se plie sur la partie supérieure du tambour, les boulons correspondent parfaitement aux boulons de la lanterne, c'est-à-dire aux sommets des angles de l'hexagone.

» Une des extrémités de l'axe de rotation porte une roue d'angle verticale à 23 dents qui engrènent dans celles au nombre de 38 d'une roue horizontale. Celle-ci est traversée par un arbre vertical en fer de $0^m,054$ d'équarrissage, et $1^m,10$ de long : son extrémité inférieure repose sur une crapaudine, et son extrémité supérieure, disposée en anneau, reçoit le bras du manége, lequel a 4^m de long.

» Sur l'axe horizontal, on a encore une roue à rochet, destinée à empêcher le mouvement rétrograde.

» Lorsque la machine se meut, et que l'extrémité supérieure d'un chaînon arrive à la lanterne, il est comme pris par un fuseau qui l'emmène avec lui. Dès qu'en montant, le seau de ce chaînon commence à s'incliner, il commence aussi à verser son eau dans le compartiment qui lui correspond ; et il a fini avant d'avoir atteint la position horizontale, et par conséquent d'avoir commencé à descendre. Cette eau descend dans le compartiment ; arrivée au fond, laquelle est une des faces inclinées du tronc de pyramide, elle le suit et va sortir par l'ouverture correspondante du moyeu, sans qu'il s'en soit perdu une goutte durant le versement.

» La noria que nous venons de décrire est établie sur un puits dont le niveau est à $5^m,20$ au-dessous de l'axe de rotation. Étant mue par un cheval ordinaire de jardinier, elle élève 23 mètres cubes d'eau en une heure, et elle la verse dans un bassin de réception, dont la superficie est à $0^m,07$ au-dessous de l'axe, et, par conséquent, à $5^m,13$ au-dessus du puisard. Ainsi l'effet utile, en une heure de temps, équivaut à 118^{mmm} élevés à 1^m.

» Nous avons vu qu'un cheval attelé à un manége pouvait en élever 144 ; on a donc ici une perte de 18 pour 100... »

Ce résultat d'obtenir les 0,82 de la force dépensée est très-beau, mais on est loin de l'atteindre ordinairement. Dans les norias rustiques, employées par les jardiniers du Midi, on n'utilise tout au plus que les 0,66 de la force dépensée.

Le nombre de chevaux à employer pour élever avec des norias bien établies et perfectionnées un volume d'eau donné, à une hauteur également donnée, en une heure de temps, peut se tirer de la formule :

$$N = Q\,\frac{H + r}{120}$$

dans laquelle :

N est le nombre de chevaux demandé ;

Q le volume d'eau à élever en mètres cubes ;

H la hauteur de la surface du bassin au-dessus de celle du puisard ;

r la distance verticale entre la surface du bassin et le point culminant auquel l'eau est portée.

L'effet utile des norias n'est généralement pas bien fort en proportion de la force développée pour les mettre en mouvement, et d'autres machines sont en cela plus avantageuses ; mais elles ont l'avantage de leur simplicité, qui fait qu'un simple forgeron de village peut facilement les réparer quand elles en ont besoin. Pour obtenir des bons résultats de l'emploi des norias, il faut les faire mouvoir lentement.

9° *Chapelets.*

Il y en a de deux sortes : le chapelet incliné et le chapelet

vertical. Ils ont été très-usités dans les épuisements pour fondations; ils le sont moins aujourd'hui.

Nous ne parlerons pas du chapelet incliné, machine fort imparfaite, dont on trouvera, au besoin, la description dans l'Architecture hydraulique, de *Bélidor*. Il paraît résulter d'observations faites par *Perronnet*, lors de la construction du pont d'Orléans (1), que cette machine n'utilise guère que les 0,40 de la force dépensée.

C'est une machine de ce genre dont on nous a apporté dernièrement le modèle de Chine, comme étant une nouvelle machine applicable aux arrosages. Cela ne prouve pas en faveur des connaissances mécaniques des envoyés en Chine.

Le chapelet vertical peut être envisagé comme une noria, dans laquelle le fond seul des seaux est mobile et fixé à la chaîne sans fin; il convient particulièrement lorsqu'on a à verser l'eau à plus de 4 mètres de hauteur, et peut assez facilement être transporté d'un endroit à un autre.

Ce chapelet, f. 315, se compose d'une buse ou tube en bois de 5 à 7 mètres de long, et de $0^m,13$ à $0^m,16$ de diamètre intérieur, dont l'extrémité inférieure plonge dans l'eau qu'on veut élever. Un hérisson, traversé par un arbre tournant et armé de griffes en fer, est établi au-dessus. L'arbre tournant est mis en mouvement soit par des manivelles, soit par un manége. Une chaîne sans fin, garnie de distance en distance de rondelles de cuir gras, comprise entre deux platines en fer, passe par la buse, et est maintenue tendue et dirigée convenablement par une lanterne placée dans l'eau au-dessus de la buse.

Lorsqu'on met le chapelet en mouvement, les griffes du hérisson saisissent successivement les chaînons, et la chaîne monte.

Les rondelles de cuir qui vont à frottement doux dans la buse, saisissent l'eau et la font monter et dégorger par son extrémité supérieure.

Cette machine donne à peu près en effet utile les 2/3 de la quantité de force qu'elle dépense.

Comme les rondelles en cuir ne sont jamais bien jointives avec la paroi intérieure de la buse, il faut, pour ne pas perdre beaucoup d'eau, faire tourner la chaîne avec une vitesse d'au moins $1^m,5$ à 2^m par seconde.

Nous ne parlerons pas de la roue à force centrifuge, et de la machine pitotienne, dont on trouvera la description dans *Navier* (1), et qui ne nous paraissent pas applicables en agriculture.

(1) Œuvres de *Perronnet*, édit. in-4°, p. 247 et 255.

10° *Machines de* Vera *et de* Vialon.

Ces deux machines, assez originales, ne sont pas souvent employées; mais la première, à cause de sa grande simplicité, pourrait l'être en quelques circonstances, quoique généralement elle perde assez de la force dépensée.

La machine de *Vera* (f. 316) est composée d'une ou plusieurs cordes sans fin, passant sur un cylindre supérieur et sur une poulie inférieure placée dans l'eau, qui les tiennent tendues. En faisant tourner très-rapidement le cylindre supérieur, et par conséquent les cordes, l'eau s'élève en suivant la partie montante de la corde, par l'effet de la communication du mouvement qui résulte de l'adhérence.

On est parvenu à élever ainsi l'eau à 55 mètres de hauteur avec une corde de $0^m,045$ de pourtour; mais l'effet utile n'a été que les 2/5e de celui qu'on aurait obtenu en se servant de seaux et d'un treuil à manivelle.

Il est évident que des cordes plus grosses et une moindre hauteur donneraient des meilleurs résultats.

La machine de *Vialon* (f. 317) est une application de la canne hydraulique, celle-ci se compose d'un tuyau vertical dont l'extrémité inférieure, garnie d'une soupape, est plongée dans le réservoir dont on veut élever l'eau. En lui imprimant un mouvement de va-et-vient vertical, l'eau entre à chaque fois qu'il s'abaisse par la soupape dans le tube, et au bout d'un certain temps, lorsque le mouvement est bien réglé, la soupape devient inutile, car l'eau a acquis dans le tuyau un mouvement d'ascension uniforme. Nous ne connaissons pas d'applications faites en grand de cette machine.

11° *Pompes.*

Les pompes sont les machines qu'on emploie le plus fréquemment et dans les circonstances où l'on doit produire les plus grands effets. Nous ne pouvons ici donner une théorie complète des pompes, qu'on trouvera d'ailleurs dans tous les Traités de mécanique, et spécialement, avec tous les détails qu'elle comporte, dans le Résumé des leçons données à l'Ecole des ponts-et-chaussées, par *Navier*.

Une pompe consiste en un cylindre creux, dans lequel se

(1) Résumé des leçons, etc., T. II, p. 378 et 380.

ment un piston, et qu'on appelle le corps de pompe ; en deux tuyaux, l'un au-dessous du piston, qu'on nomme tuyau d'aspiration, et l'autre au-dessus du piston, qui est le tuyau d'ascension; enfin, en un certain nombre de soupapes. Nous allons, avant de nous occuper de l'ensemble des pompes, commencer par décrire rapidement les différentes parties dont elles se composent.

Le corps de pompe est un cylindre creux : autrefois on a essayé de pompes quadrangulaires et polygonales, mais on y a renoncé (1).

Ce cylindre peut être en bois ou en métal.

On le fait actuellement en fonte ou en bronze ; on en rencontre encore en bois pour des usages rustiques ; mais ils sont trop rapidement mis hors de service.

La surface intérieure du cylindre doit être parfaitement lisse et alésée.

La force de la pompe dépend du diamètre intérieur de ce cylindre. On dit qu'elle est petite, lorsque ce diamètre est inférieur à $0^m,12$, et qu'elle est forte lorsqu'il dépasse $0^m,33$. Les plus fortes pompes ont ordinairement $0^m,40$ de diamètre; on en fait, mais bien rarement, de $0^m,50$.

La longueur du corps de pompe ne doit dépasser que de fort peu la levée du piston, c'est-à-dire le chemin que doit parcourir le piston mis en mouvement.

Le piston est la pièce la plus importante d'une pompe, et celle qui a été modifiée d'un plus grand nombre de manières; le bon effet de la machine en dépend en grande partie.

On fait le piston en bois de charme, et on lui donne la forme de la f. 318; une tige traverse sa partie supérieure, en forme d'anse, et sert à le lever et à le baisser.

L'ouverture cylindrique qui le traverse a un diamètre d'à peu près moitié de celui du corps de pompe. On lui donne également la forme de la f. 319 ; et, dans d'autres genres de pompes, le piston est plein.

La surface de tous ces pistons a une garniture pour interrompre la communication entre le dessus et le dessous du piston à l'air et à l'eau.

Il faut avoir en vue de rendre cette interruption de communication aussi complète que possible, sans trop augmenter le frottement, qui consommerait sans effet utile une partie de la force motrice.

(1) Voyez *Bélidor*, Architecture hydraulique, T. I, p. 374.

Une rondelle de gros cuir huilé ou suifé, qui entoure et dépasse un peu la partie supérieure du piston en s'évasant vers le haut, forme la garniture des pompes les plus communes.

Ce cuir, pressé par le poids de l'eau ou de l'atmosphère, applique contre la paroi du corps de pompe.

D'autres fois, la garniture est composée de deux collets en cuir, maintenus en haut et en bas du piston par deux anneaux en cuivre, dont une face taillée en biseau assure l'évasement convenable. L'espace compris entre les deux collets est garni de chanvre trempé dans du suif, qui fait un peu saillie et frotte contre le corps de pompe.

On fait plus souvent les pistons en fonte, revêtus extérieurement par du chanvre suifé ou des rondelles de cuir gras superposées.

Une saillie en bas et un anneau de métal en haut, qui peut descendre au moyen d'un écrou, pressent cette garniture et la font convenablement frotter contre le corps de pompe.

La difficulté de bien aléser les corps de pompe, et l'imperfection des pistons dont nous venons de parler, leur font souvent préférer des cylindres en cuivre jaune bien tournés et polis, qui montent et descendent dans une boîte à étoupe, désignée ordinairement par son nom anglais *stuffing-box*.

Cette boîte est ainsi disposée f. 319 : elle est placée sur le haut du corps de pompe, et on pose sur son fond un anneau en bronze, dont la partie supérieure est en forme de coin. On enroule dessus, et les uns au-dessus des autres, des tords de chanvre trempés dans du suif fondu mélangé d'huile, et on les recouvre d'un second anneau de cuivre, ou, mieux encore, de bronze taillé en biseau, dont la face intérieure est inclinée vers l'extérieur. Le couvercle de la boîte est placé dessus, et des boulons à vis le réunissent avec le fond, de manière qu'en les serrant, l'anneau supérieur presse les étoupes, et les fait presser à leur tour le piston cylindrique.

On emploie généralement des soupapes de deux sortes : les soupapes à coquille et les clapets.

Les premières sont des troncs de cône d'une petite hauteur, elles entrent et emboîtent parfaitement l'ouverture qu'elles sont destinées à fermer. Elles sont garnies d'une queue qui traverse une bride, et qui est terminée par un bouton d'arrêt. Cette tige sert à les maintenir dans leur position. Les soupapes à boulet, f. 320, rentrent dans cette classe.

Les clapets sont souvent des rondelles de cuir gras retenues sur l'ouverture qu'ils doivent fermer par une bande de cuir qui sert comme de charnière. On se contente souvent de clouer au-dessus de la rondelle de cuir une plaque de plomb qui la maintient plane et lui donne un poids suffisant. Lorsqu'on veut la soigner plus, on place le cuir entre deux disques ou platines de fer ou de cuivre, dont celui de dessus est un peu plus grand que le trou à fermer, et celui de dessous un peu plus petit.

Dans les grandes pompes, les clapets sont des plaques en cuivre d'un centimètre d'épaisseur, qui se meuvent à charnière, mais ils ne conviennent pas lorsque les eaux ne sont pas pures, car un peu de sable peut nuire à la fermeture ou gêner leurs mouvements. Quel que soit le système de soupape adopté, il faut que sa surface extérieure dépasse aussi peu que possible la surface du trou à boucher, car la force nécessaire pour les ouvrir en serait augmentée en pure perte.

Les tuyaux d'aspiration et d'ascension n'ont point besoin d'être alésés, leur diamètre est généralement moindre que celui du corps de pompe; ordinairement il en est les 2/3 ou la moitié.

Nous ne nous arrêterons pas à expliquer la manière d'agir des pompes aspirantes, foulantes, et aspirantes et foulantes. On en trouve la description dans tous les Cours de physique, et nous en donnons des dessins aux figures. Quelques considérations et quelques formules utiles pour leur établissement seront donc tout ce que nous en dirons.

Dans une pompe aspirante, la limite que le piston ne saurait dépasser dans son ascension, sans ne plus être suivi par l'eau, est de 12 b, b étant la hauteur moyenne du baromètre dans le lieu où est la pompe. Mais en adoptant cette limite, on n'aurait plus d'eau lorsque le baromètre descendrait au-dessous de cette moyenne. Il convient donc de prendre b égal à la plus basse hauteur à laquelle on suppose pouvoir descendre le baromètre; on sera ainsi assuré d'avoir de l'eau en tout temps.

En général, ce point n'est établi au-dessus du puisard qu'à 5, 6 ou 7 mètres, suivant les circonstances locales.

La hauteur au-dessus du piston à laquelle on peut élever l'eau est indéfinie; lorsqu'elle est très-grande, on appelle les pompes élévatoires. Dans les salines de la Bavière il en existe une qui porte son eau d'un jet continu à 370 mètres d'élévation.

La charge du piston est ainsi donnée par *D'Aubuisson* (1): « Quelle que soit la hauteur à laquelle une pompe verse son eau, quels que soient le diamètre et l'inclinaison des tuyaux d'aspiration et d'ascension, le piston porte toujours une charge d'eau égale au poids d'une colonne de fluide qui aurait pour base celle du piston même, et pour hauteur la différence de niveau entre la surface du puisard et le point de versement. »

La force qui doit élever le piston devra donc supporter cette charge, mais des résistances passives viennent aussi s'ajouter à la résistance utile, et forment ce qu'on appelle la résistance dynamique. Elles proviennent:

1° Du frottement du piston;
2° Du frottement de l'eau élevée contre les parois;
3° De l'étranglement de la veine fluide à son entrée dans le tuyau d'aspiration et à son passage par les soupapes;
4° Du poids des soupapes à soulever;
5° De l'inertie de l'eau en mouvement.

Le frottement du piston peut être calculé approximativement par la formule:

$$f = m\,D\,H$$

f étant en kilogrammes le frottement cherché,
D le diamètre intérieur du corps de pompe,
H la différence de niveau entre le puisard et le point où l'eau est versée,
m coefficient d'expérience que *Langsdorf* évalue ainsi:

Corps de pompe en laiton poli.	7	kilog.
— en fonte simplement forée. .	15	
— en bois lisse.	25	
— en bois dégradé par l'usage. .	50	

La hauteur de la colonne d'eau dont le poids exprime la résistance due au frottement de l'eau contre les parois, dans une pompe élévatoire, est donnée par la formule (2):

$$h = 1000\,\frac{\pi}{4}\,D^2 \times 0{,}00143\,(v + 0{,}17\sqrt{v})^2 \times \left(\frac{L}{D} + \frac{L'}{D'}\left(\frac{D}{D'}\right)^4 + \frac{L''}{D''}\left(\frac{D}{D''}\right)^4\right)$$

(1) Traité d'Hydraulique, p. 425.
(2) *D'Aubuisson*, Traité d'Hydraulique, p. 428.

dans laquelle :

h est la hauteur d'eau à ajouter à la hauteur réelle à laquelle l'eau est élevée pour tenir compte de ce frottement ;
D le diamètre du corps de pompe ;
L sa longueur ;
D' le diamètre du tuyau d'aspiration ;
L' Sa longueur ;
D" le diamètre du tuyau d'ascension ;
L" sa longueur ;
v la vitesse du piston.

La résistance due aux étranglements, exprimée en une colonne d'eau additionnelle, est donnée par la formule :

$$h = 1000 \frac{\pi}{4} D^2 \frac{v^2}{2g} \left\{ \frac{1}{m^2} \left(\frac{D}{D'} \right)^4 + \left(\frac{\frac{\pi}{4} D^2}{m' s^2} \right) - 1^2 \right\}$$

dans laquelle :

h est la hauteur cherchée ;
m le coefficient de contraction pour l'entrée du tuyau d'aspiration ;
m' Le coefficient de contraction pour l'ouverture de la soupape dormante ;
s l'aire de cette ouverture ;
γ la vitesse de l'eau, immédiatement avant la soupape dormante ;
Les autres lettres comme ci-dessus.

La résistance due au poids de la soupape est généralement fort petite.

Si c'est un clapet horizontal, elle est exprimée par la formule :

$$h = \frac{P \frac{\pi}{4} D^2 \lambda}{5 \lambda'}$$

Si le clapet est incliné, par la formule :

$$h = \frac{P \frac{\pi}{4} D^2 \lambda}{5 \lambda'} \cos. \omega$$

Si c'est une soupape à coquille, par la formule :

$$h = P \frac{D^2}{d^2}$$

dans lesquelles :
h est la résistance cherchée ;
D le diamètre du piston ;
λ la distance du centre de gravité du clapet à son axe de rotation ;
s l'aire de l'ouverture fermée par le clapet ;
λ' la distance du centre de cette ouverture à l'axe de rotation ;
P le poids de la soupape ;
ω l'angle que fait avec l'horizon le plan du clapet ;
d le diamètre de la soupape à coquille.

Lorsque le piston tient directement ou indirectement à la manivelle d'une roue douée d'un mouvement uniforme, ce qui est le cas le plus général, la résistance due à l'inertie de l'eau est nulle. Dans des pompes ordinaires, on peut, d'après des expériences faites par *D'Aubuisson* et *Duchêne*, aux mines de Poullaouen (1), estimer la force à employer pour lever le piston, toute résistance comprise à $85oD^2H$, à laquelle il faudra ajouter le poids du piston et de la tige. Les lettres D et H ont même valeur que ci-dessus.

Si une pompe était parfaite, elle élèverait à chaque coup de piston une quantité d'eau égale à $\frac{\pi}{4} D^2 l$, D étant le diamètre du piston, et l la longueur de sa levée ; mais dans la pratique, cette quantité d'eau est comprise entre $o,7D^2l$ et $o,6D^2l$.

Les pertes seront plus considérables si le piston est levé lentement. Si, d'un autre côté, il était mû avec une trop grande vitesse, l'eau, poussée par la pression atmosphérique, ne pourrait pas le suivre, et le vide se ferait entre le bas du piston et la surface de l'eau. Il y a donc une vitesse moyenne qui est la plus avantageuse. La limite de la vitesse v du piston est donnée par la formule :

$$v = \frac{l}{\frac{2 \frac{\pi}{4} D^2}{m s \sqrt{2g}} \left(\sqrt{K - L'} - \sqrt{K - L' - l} \right)}$$

(1) Journal des Mines, T. XXI, p. 169 à 178.

Investigación y Tecnología D.G.A.

dans laquelle les lettres ont les mêmes valeurs que ci-dessus, L' est l'élévation de la soupape au-dessus du puisard, et K la pression atmosphérique exprimée en mètres de hauteur d'eau.

Ordinairement on ne fait v que les 2/3 de cette quantité.

Tout ce que nous venons de dire sur les pompes aspirantes, peut se dire également des pompes foulantes; une seule résistance est bien plus considérable dans ces dernières, c'est celle que fait éprouver, pour s'ouvrir, la soupape de retenue. Cette résistance n'agit qu'un instant au moment où la soupape va s'ouvrir, et l'application d'un volant à la machine qui met en mouvement la pompe, est très-utile pour la vaincre.

Les pompes aspirantes et foulantes participent des deux, et présentent les mêmes résistances. Nous donnons à la *f.* 321 la figure d'une pompe établie à Huelgaet, par *Pernollet*, très-utile pour élever de grandes quantités d'eau, et à la *f.* 322 les détails d'un corps de pompe à piston plongeur, qui peut élever des eaux troubles, particulièrement si on remplaçait les clapets par des soupapes à boulet.

Nous ne parlerons pas des pompes rotatives et spirales, qui ne nous paraissent pas applicables en agriculture.

Nous trouvons dans l'Aide-Mémoire de *Morin* (1), que les pompes d'épuisement d'Anzin et du Gros-Caillou donnent en effet utile les 0,66 de la force dépensée, et que celles de la saline de Dieuze ne donnent que les 0,523. Ce savant conseille ensuite d'observer les règles suivantes dans l'établissement des pompes :

1° La vitesse des pistons doit être comprise entre $0^m,16$ et $0^m,25$ par seconde;

2° L'aire de l'ouverture masquée par les soupapes doit être la moitié environ de celle du corps de pompe;

3° Les diamètres du tuyau d'aspiration et du tuyau de conduite doivent être égaux aux 2/3 de celui du corps de pompe;

4° La levée ou course des pistons des grandes pompes doit être de 1^m à $1^m,50$;

5° L'espace nuisible qui reste au-dessus du piston descendu doit être réduit autant que possible.

12° *Vis d'Archimède* (*f.* 323).

Cette machine rustique était connue des anciens et employée à peu près avec les dispositions qu'on adopte encore aujourd'hui. Elle est très-utile dans les épuisements, et, en général, toutes les fois qu'on ne doit pas élever l'eau à une très-grande hauteur.

(1) Page 342.

Nous ne décrirons pas cette machine, dont ont parlé tous les auteurs spéciaux, depuis *Vitruve*, sans que pourtant la théorie ait beaucoup avancé sur son sujet, malgré les mathématiciens distingués qui s'en sont occupés.

Nous dirons seulement qu'ordinairement on fait son diamètre extérieur égal à 1/12 de la longueur de la vis, le diamètre du noyau égal à 1/3 du diamètre extérieur; qu'il doit y avoir trois spires entières, dont la trace sur l'enveloppe fait avec l'axe un angle de 67 à 70 degrés. L'inclinaison la plus favorable de l'axe de la vis à l'horizon, est de 30° à 45°. Le niveau de l'eau dans le puisard doit s'élever un peu au-dessus du centre de la base du noyau, sans l'immerger complétement.

D'après *Morin*, le rapport de l'effet utile au travail développé par le moteur, est pour la vis d'Archimède de 0,75.

Le travail d'un ouvrier manœuvrant une vis d'Archimède bien établie est ordinairement estimé à 15 kilogrammètres par heure.

M. *Lamandé*, avec une bonne vis ayant les dimensions suivantes, a obtenu ces résultats :

Longueur de la vis	$5^m,85$
Diamètre extérieur	$0^m,49$
Inclinaison de la vis avec l'horizon . . .	35°
Nombre de tours de la vis par minute . .	40
Hauteur à laquelle l'eau était élevée . .	$3^m,30$
Quantité d'eau élevée par heure. . . .	45 m. cubes.

Ordinairement le diamètre extérieur est compris entre 1 et 2 mètres.

La vis d'Archimède ne peut pas servir à l'épuisement d'eaux qui auraient un niveau variable. En Hollande et en Allemagne, on remédie à cet inconvénient en remplaçant l'enveloppe extérieure des hélices par une espèce de coursier semi-circulaire fixe. Le poids de la machine et de l'eau ne repose plus ainsi sur les pivots, et ne tend plus à faire fléchir le noyau; mais il faut que la machine marche avec une grande vitesse, pour que la perte d'eau, entre les hélices et le coursier, ne soit pas considérable.

Ces vis hollandaises sont ordinairement mues par des moulins à vent et servent au dessèchement des polders et marais.

§ II. MACHINES QUI ÉLÈVENT L'EAU, MUES DIRECTEMENT PAR L'EAU.

Les machines dont nous allons parler dans ce paragraphe sont bien moins nombreuses que celles du paragraphe précédent, et encore n'y en a-t-il qu'une seule d'importante, le bélier hydraulique, et une autre, qui pourrait prendre tout aussi bien place dans le chapitre suivant, la machine à colonne d'eau, car elle n'élève l'eau qu'à l'aide d'une pompe, à laquelle elle fournit la force nécessaire pour se mettre en mouvement.

Nous allons commencer par décrire quelques machines peu usitées et peu connues, mais assez originales.

1° *Machine de* SCHEMNITZ, *fig.* 325, 326.

Cette machine est la reproduction de la fontaine de Héron, dans laquelle la chute de l'eau sert à comprimer de l'air qui, à son tour, réagit sur l'eau et la force à s'élever. Voici le jeu de cette machine : l'eau du réservoir R doit être élevée dans le réservoir R'. Les robinets m et q étant fermés et les autres ouverts, la caisse C se vide, et la caisse C' s'emplit jusqu'au niveau a du réservoir R. En ouvrant alors les deux robinets et en fermant p, n, n', la caisse C s'emplit d'eau, et, à mesure que cela a lieu, l'air qu'elle contenait, en se comprimant, fera monter en R' l'eau de la caisse C'. La caisse C étant remplie, on fermera les robinets m et q, on ouvrira les autres, et le même jeu recommencera. *Navier* a soumis au calcul les effets de cette machine, et est arrivé aux résultats suivants :

1° La hauteur à laquelle on élève l'eau ne peut surpasser la hauteur de la chute, moins la somme des hauteurs des deux caisses.

2° Pour obtenir le plus grand effet, il faut faire les hauteurs des deux caisses très-petites, et la hauteur à laquelle on élève l'eau presque égale à celle de la chute. Elle lui serait égale, si les hauteurs des caisses étaient infiniment petites.

3° L'effet obtenu ainsi est d'autant plus grand que la hauteur de la chute est plus petite, et serait égal à la quantité d'action dépensée, si cette hauteur était infiniment petite.

Si, avec cet appareil, on veut élever l'eau à une plus grande hauteur que celle de la chute, on opérera par reprises, comme l'indique la figure 326. Les robinets sont ouverts et fermés par des ouvriers, mais on peut leur appliquer un régulateur, dont la description se trouve dans le traité des machines de *Hachette*, page 103.

Cette machine se trouve décrite dans les ouvrages anglais, sous le nom de *Darwin*; elle a été exécutée, pour la première fois, par *Hoell*, à Schemnitz.

2° *Machine de* DETROUVILLE, *fig.* 327.

Cette machine, analogue à la précédente, agit par l'air raréfié, au lieu d'agir par l'air comprimé. La simple vue de la figure doit faire comprendre son jeu. Nous donnerons donc seulement les résultats auxquels a été conduit *Navier* par le calcul.

1° En général, l'effet que peut produire la machine est d'autant plus grand que la hauteur de la chute est plus petite.

2° Dans le cas où la hauteur de la chute surpasse $5^m,15$, il faut, pour obtenir le plus d'effet, que l'eau soit élevée à $5^m,15$, et la limite de cet effet est la moitié de la quantité d'action dépensée.

3° Dans le cas où la hauteur de la chute est entre $5^m,15$ et 0, il faut, pour obtenir le plus d'effet, que la hauteur à laquelle on élève l'eau soit égale à celle de la chute, et la limite de cet effet est la quantité d'eau dépensée.

4° Si l'on voulait élever l'eau à une hauteur plus grande que $10^m,3$, ou plus grande que la hauteur de la chute, il faudrait l'élever par reprises par un appareil analogue à celui de la machine précédente.

Cette machine, qui a été perfectionnée en 1813, par *Manoury Dectot*, n'a pas été construite en grand.

3° *Bélier hydraulique*, *fig.* 328.

On trouve la description de cette machine dans tous les traités de physique et de mécanique, aussi nous contentons-nous d'en donner la figure, sans en expliquer le jeu qu'on pourra étudier dans tous ces traités spéciaux.

Eytelwein a publié un travail important, intitulé : *Observations sur les effets et l'application avantageuse du bélier hydraulique*, dans lequel il indique les proportions suivantes, comme les plus convenables pour la construction de ces machines :

La longueur du corps du tuyau conducteur doit être égale à la hauteur d'ascension, augmentée de deux fois le rapport de cette hauteur à celle de la chute.

Le diamètre du même tuyau doit être 1,7 fois la racine car-

rée du volume d'eau dépensé, ce qui revient à laisser prendre à l'eau une vitesse de $1^m,82$ en 1". Le diamètre du tuyau d'ascension doit être égal à la moitié de celui du tuyau conducteur. Il ne doit pas être recourbé au bout.

Les deux soupapes doivent être très-rapprochées l'une de l'autre. On devra généralement préférer les soupapes à coquille aux clapets ; mais, pour des tuyaux de $0^m,30$ de diamètre et au-delà, on pourra adopter ces derniers.

L'orifice de la soupape d'arrêt doit être égal à l'aire du tuyau de conduite. La soupape d'ascension doit avoir la même surface. Ces soupapes doivent être aussi légères que possible.

Il suffit que le réservoir d'air ait une capacité égale à celle du tuyau d'ascension. Lorsque la hauteur de l'élévation est peu considérable comparativement à la chute, cette machine peut donner en effet utile jusqu'aux 0,90 de la force dépensée. Mais, lorsque la hauteur de la chute diminue comparativement à la hauteur d'élévation, cet effet diminue et peut même devenir extrêmement faible ; dans une expérience d'*Eytelwein*, où la chute était de $0^m,601$ et la hauteur à laquelle on élevait l'eau de $11^m,78$, l'effet utile n'a été que les 0,181 de la quantité d'action dépensée.

Terminons ce que nous avons à dire sur le bélier hydraulique par quelques remarques extraites du Traité d'Hydraulique de *D'Aubuisson* (1).

« Le bélier hydraulique, dit ce savant, n'a encore été employé qu'à élever d'assez petites quantités d'eau et, par suite, qu'à produire de petits effets. Le plus grand qu'*Eytelwein* ait obtenu dans ses 1,123 expériences n'a été que de 29 litres élevés en une minute à 7 mètres ; c'est $3^{km},4$ en 1". Les plus grands, pour les béliers établis en France, n'ont été que de 17 et 20 kilogrammètres ; ce n'est que la moitié de l'effet rendu par un cheval attelé à un manége.

» Le bélier pourrait-il être également employé à élever de grands volumes d'eau ? C'est douteux. Le choc violent des soupapes, les fortes secousses que donne la machine ébranlent ses supports. On tâche de réduire ces secousses en augmentant le poids du bélier, en donnant plus d'épaisseur que d'ordinaire aux tuyaux qui le composent. On diminue bien par là les pertes d'effet provenant des mouvements de la machine, mais on ne remédie que jusqu'à un certain point au mal. Dans les grands béliers, les fortes maçonneries et charpentes em-

(1) Page 408.

ployées à les contenir, sont elles-mêmes ébranlées et dégradées au bout de quelque temps. De sorte qu'il est bien à craindre que l'usage de cette machine, d'ailleurs si remarquable, ne demeure restreint ; qu'il ne se borne à satisfaire les besoins en eau d'une grande habitation ou d'une manufacture. »

En général, on ne tire d'effet utile d'un bélier que les 0,65 de la quantité d'action dépensée.

4° *Machine à colonne d'eau.*

La première idée de cette machine destinée à utiliser les chutes d'une grande hauteur, est due à *Bélidor* (1). Elle consiste en un gros corps de pompe dans lequel se meut un piston poussé par le poids de la colonne d'eau contenue dans un tuyau montant. La tige de ce piston met en mouvement, par un artifice quelconque, des pompes ordinaires d'épuisement.

La figure 329 représente une de ces machines, établie en Bavière, dans les salines, par *Reichenbach*. La légende de l'explication des planches suffira pour en faire comprendre le jeu. Elle donne en effet utile un peu plus des 0,50 de la quantité d'action dépensée.

On trouvera la description d'autres machines de ce genre, dans la *Richesse minérale* de *Héron de Villefosse*, et dans le Traité des Machines, de *Hachette*.

Voici un tableau dressé, par l'inspecteur *Baillet*, sur le rendement de diverses de ces machines observées par lui en Hongrie :

HAUTEUR des sources.	HAUTEUR à laquelle l'eau est élevée	DIAMÈTRE des pistons.	EAU consommée en 24 heures.	EAU élevée en 24 heures.	UNITÉS produites pour 100 unités dépensées
m.	m.	m.	mmm.	mmm.	
85.757	89.656	0.352	1900.328	817.056	0.45
89.656	214.290	0.325	2467.965	479.879	0.46
79.910	46.777	0 325	685.550	394.185	0.33
79.910	28.585	0.325	582.711	589.566	9.36
89.656	26.267	0.325	2467.965	1336.815	0.40
116.000	378.000	0.720	1578.960	209.432	0.50

(1) Voyez Architecture hydraulique, Tome II, page 249.

On voit que généralement l'effet utile augmente avec la hauteur de la chute, et que cette machine est spécialement destinée à utiliser une grande chute d'un petit volume d'eau, condition qui ne peut guère se rencontrer dans les machines agricoles. Nous ne parlerons pas ici du balancier hydraulique qui aurait un certain rapport avec la machine à colonne d'eau, et de beaucoup d'autres machines qui ont été proposées et même exécutées, car elles sont rarement appliquées. On trouvera des descriptions détaillées de beaucoup de ces machines dans *Hachette* (1), et dans les Annales de la Société d'encouragement. Nous n'avons pas voulu, dans ce chapitre et dans le suivant, enseigner à construire des machines, mais bien seulement donner des notions pour guider dens le choix d'une machine, lorsqu'on est forcé d'avoir recours à ce moyen pour se procurer l'eau nécessaire pour les arrosages.

(1) Traité des machines.

CHAPITRE II.

MACHINES FOURNISSANT LA FORCE POUR ÉLEVER L'EAU.

Toutes les machines qui utilisent une force quelconque peuvent être appliquées à élever l'eau en les faisant agir sur une quelconque des machines dont nous avons parlé dans le chapitre précédent. Si nous voulions approfondir ce sujet, il serait donc un traité complet de mécanique que nous devrions donner ici. Nous nous contenterons, au contraire, de parler des machines les plus usuelles et de renvoyer le lecteur, pour toutes les autres, aux ouvrages spéciaux, et plus particulièrement, au Traité des Machines, de *Hachette* (1).

§ Ier. MACHINES MUES PAR LES ANIMAUX.

1° *Manége.*

La machine le plus communément employée pour utiliser la force des animaux, est le manége. Tout le monde connaît le manége simple et rustique des maraîchers. On a donné d'autres dispositions aux manéges pour les appliquer à des différentes machines; mais tous reposent sur le même principe. Les animaux tirent l'extrémité d'un levier qui met en mouvement circulaire un arbre vertical, qui, à son tour, au moyen de lanternes ou de roues dentées, communique son mouvement à la machine.

Dans l'établissement d'un manége, il y a deux choses à observer : il faut diminuer autant qu'on le peut les frottements et faire que l'action des animaux ou des hommes qui le mettent en mouvement s'exerce sur un plan perpendiculaire à l'arbre tournant vertical.

Le bras de levier à l'extrémité duquel agit la force animale doit être proportionné à l'espace qu'on a pour établir le manége. On le fait rarement plus grand de 6 mètres et plus court de 2.

D'après *Morin*, un manége de maraîcher donne, en huit heures de travail, en effet utile :

Pour un homme. . . .	200,000 kilogrammètres.
Pour un cheval ou mulet.	1,166,000 —

(1) On consultera aussi *Christian* et *Cortelin*.

Pour un bœuf. . . . 1,120,000 kilogrammètres.
Pour un âne. . . . . 334,000 —

Suivant un tableau donné par *Navier*, ces quantités sont à peu près les mêmes ; seulement un mulet n'est donné que comme fournissant en effet utile que 777,600^{km}.

La vitesse de la marche est de 0,^{m}90 pour le cheval et le mulet ; de 0^{m},80 pour l'âne, et de 0^{m},60 pour le bœuf. Si, au lieu de les faire marcher au pas, on les mettait au trot, l'effet utile diminuerait rapidement. Ainsi, celui d'un cheval ne serait plus que 972,400^{km}, car au lieu de huit heures de travail, il ne pourrait plus en faire que quatre et demie.

2° *Roues à chevilles et à tambour.*

On utilise la force des hommes en les faisant agir par leur poids sur des roues à chevilles, comme celles des carrières près de Paris, f. 333, ou dans l'intérieur de roues à tambour, f. 334. En Angletetre, on fait travailler les prisonniers à mettre ces roues en mouvement. Dans les roues à tambour, on a utilisé quelquefois le poids des animaux, spécialement des bœufs, qui, par leur marche posée, se prêtent mieux que les chevaux à ce genre de travail.

On peut varier la disposition de ces roues dans la manière de faire communiquer le mouvement circulaire de leur arbre aux machines d'épuisement, mais le principe est toujours le même.

L'effet utile produit par un manœuvre qui peut travailler huit heures par jour, est de 9^{km}, par seconde lorsqu'il agit au niveau de l'axe de la roue, et de 8^{km},40 lorsqu'il agit vers le bas de la roue, ou à 24 degrés.

Une autre manière semblable d'appliquer le poids des hommes pour faire mouvoir une machine, consiste à les faire marcher sur une roue plate, inclinée à l'horizon. On en voit un exemple dans la f. 323 *bis*, où cette roue est adaptée à une vis d'Archimède.

3° *Treuils, manivelles, etc.*

Les f. 335, 336 donnent des moyens d'appliquer la force des hommes à des manivelles et des treuils, et ceux-ci à des pompes ou autres machines élévatoires.

On fait aussi agir quelquefois les hommes au moyen de balanciers, f. 337, ou par leur poids, sur une bascule, f. 338.

Nous pensons devoir nous arrêter ici, car, comme on le verra dans la suite, il n'y a généralement pas d'avantage à employer la force des hommes pour élever l'eau en agriculture.

C'est là, du reste, un travail abrutissant qu'on doit peu à peu remplacer par celui des forces naturelles, dont le génie des hommes parvient tous les jours plus à s'emparer pour en faire ses esclaves et se rédimer ainsi du travail de la brute.

Nous terminerons donc ce paragraphe en disant qu'un manœuvre, agissant sur une manivelle, donne, en effet utile, 6^{km}, par 1", et qu'il peut travailler huit heures par jour, et qu'un manœuvre, travaillant le même temps, et poussant et tirant alternativement dans le sens vertical, donne, en effet utile, 5^{km}, 50 par seconde.

§ II. MACHINES MUES PAR L'EAU.

Nous allons nous occuper d'abord des roues hydrauliques qui forment les principales machines de ce paragraphe, mais, comme il serait inutile de répéter, pour chaque formule que nous donnerons, la valeur assignée à chaque lettre, nous commençons par établir la notation adoptée dans tout le paragraphe. Nous nommerons :

Q le volume d'eau, en mètres cubes, dépensé par le cours d'eau, en une seconde ;

H la chute totale, en mètres, de ce cours d'eau ;

Le travail absolu du cours d'eau sera donc exprimé par 1000 Q H ^{km}.

Si on voulait l'exprimer en force de chevaux-vapeur, on aurait ce nombre N par la formule :

$$N = \frac{1000\ Q\ H}{75}$$

V la vitesse de l'arrivée du filet d'eau moyen sur la roue;

v la vitesse de la circonférence extérieure de la roue;

α l'angle formé par la direction de ces deux vitesses.

On le déterminera en menant une tangente à la courbe décrite par le filet moyen, et une autre à la circonférence extérieure de la roue, là où les deux courbes se rencontrent.

P l'effort moyen transmis par l'eau, à la circonférence de la roue, exprimé en kilogrammes.

h la hauteur dont l'eau descend depuis son point d'introduction jusqu'au bas de la roue.

P v représentera donc l'effet utile ou la quantité de travail en kilogrammètres transmise à la circonférence de la roue.

1° *Roues à palettes planes placées dans des coursiers horizontaux ou légèrement inclinés, f.* 239.

Ces roues anciennes sont les plus imparfaites qu'on emploie. Leurs aubes ont $0^m,03$ ou $0^m,04$ de jeu au moins dans le coursier. La vanne est verticale et souvent assez éloignée de la roue.

D'après les expériences de *Bossut* et *Smeaton*, l'effet utile, en kilogrammètres, est donné par la formule :

$$P\,v = 61\,Q\,(V - v)\,v$$

Ces roues n'utilisent que les 0,25 ou 0,30 du travail absolu du moteur ; aussi nous ne nous arrêterons pas à parler de leur établissement, car, dans aucun cas, elles ne sont préférables aux autres roues dont nous allons nous occuper.

Lorsque les palettes ont un jeu considérable dans le coursier, cette formule n'est plus applicable, et nous nous contenterons de dire que l'effet utile de la roue diminue encore, et n'est plus que les 0,13 à 0,10 du travail absolu du moteur.

2° *Roues à aubes planes, bien emboîtées dans des coursiers en arc de cercle, et recevant l'eau par un orifice avec charge sur le sommet, f.* 340.

L'eau agit de deux manières sur ces roues : elle choque d'abord les palettes, sur lesquelles elle arrive avec la vitesse V, puis par son poids, en descendant de la hauteur h du point d'introduction au bas du coursier.

La vanne est généralement inclinée et laisse une certaine charge d'eau sur le sommet de son ouverture.

Toutes les fois que le volume d'eau introduit dans la roue ne dépassera pas les 2/3 de la capacité de l'intervalle compris entre les aubes, et que la vitesse de la roue n'excèdera pas notablement celle de l'eau affluente, on pourra calculer l'effet utile par la formule (1) :

$$P\,v = 750\,Q\left(h + \frac{(V\cos.\alpha - v)\,v}{9{,}81}\right)$$

(1) Expériences sur les roues hydrauliques par *A. Morin*.

Ces roues utilisent une portion d'autant plus grande du travail moteur que l'eau est prise plus près du niveau.

L'effet utile varie entre les 0,40 et 0,55 du travail absolu du moteur.

3° *Roues à aubes planes avec coursiers circulaires sur toute la hauteur de la chute, et recevant l'eau par un déversoir, f.* 341.

Ces roues sont préférables aux précédentes.

Si le volume d'eau admis dans chaque auget n'est que la moitié, ou, tout au plus, les deux tiers de sa capacité, et si, en même temps, la vitesse de la circonférence de la roue ne dépasse pas de beaucoup celle de l'eau affluente, on calculera l'effet utile par la formule :

$$P\,v = 799\,Q\left(h + \frac{(V\cos.\alpha - v)\,v}{9{,}81}\right)$$

L'effet utile de cette machine bien établie peut être les 0,75 du travail absolu du moteur.

En nommant e l'écartement des aubes à la circonférence extérieure, et q la quantité d'eau que reçoit chaque auget, on a, pour déterminer cette dernière quantité, la formule :

$$q = \frac{Q\,e}{V}$$

4° *Roue de* PONCELET, *à aubes courbes, f.* 342.

Ces roues reçoivent l'eau à leur partie inférieure et sont emboîtées entre les bajoyers et une courte portion de coursier circulaire.

Lorsqu'elles sont bien établies, et que le jeu dans le coursier n'excède pas un centimètre pour des chutes de $1^m,50$ et des ouvertures de vanne de $0^m,08$ à $0^m,12$, l'effet utile est donné par la formule (1) :

$$P\,v = 132{,}5\,Q\,(V - v)\,v$$

Pour des chutes de $1^m,30$ et au-dessous, avec des ouvertures de vanne de $0^m,20$ à $0^m,30$ de hauteur, la formule devient :

$$P\,v = 153\,Q\,(V - v)\,v$$

(1) Deuxième Mémoire sur les roues à aubes courbes par *Poncelet*.

Mais si le barrage était vertical au lieu d'être incliné, si les aubes n'étaient pas en parfait état, l'effet utile diminuerait, et, pour des chutes de $1^m,50$, il ne serait plus que :

$$P v = 102\,Q\,(V - v)\,v$$

Ces roues ont le grand avantage d'utiliser les petites chutes et donnent, en effet utile, les $0_m,50$ à $0_m,65$ du travail absolu du moteur.

5° *Roues à augets.*

Ces roues utilisent les grandes chutes d'eau depuis 3 mètres jusqu'à 12 et 13 mètres. Elles reçoivent l'eau au sommet par un conduit qui la porte du réservoir à l'un des augets supérieurs de la roue, f. 343, ou bien par côté, au-dessous du sommet f. 344, par un vannage. Les augets étant fermés, elles ne sont pas emboîtées dans un coursier.

Lorsque ces roues marchent avec une vitesse qui ne dépasse pas 2 mètres à la circonférence, si elles ont 2 mètres de diamètre, et $2^m,50$ lorsque le diamètre est plus grand, l'effet utile est donné par la formule (1) :

$$P v = 780\,Q\,h + 102\,Q\,(V \cos.\,\alpha - v)\,v$$

Ces roues rendent, en effet utile, jusqu'aux 0,75 du travail absolu du moteur; mais il faut, pour que la formule ci-dessus soit applicable, que les augets ne soient remplis que jusqu'à la moitié de leur capacité. Si les augets se remplissaient jusqu'aux 2/3, il faudrait remplacer dans cette formule le facteur 780 par le nombre 650.

Si la vitesse était plus grande et que les augets fussent pleins à plus des 2/3 de leur capacité, on aurait un effet utile bien moindre; mais ces roues, utilisées par l'industrie, nous paraissent moins propres à élever de l'eau pour l'agriculture; aussi n'en parlerons-nous pas davantage.

On trouvera ce qui les concerne dans les mémoires de *Poncelet*.

6° *Roues pendantes des bateaux, f.* 345.

L'effet utile de ces roues, plongées dans un courant indéfini, se calcule avec la formule :

$$P v = 1\,\tfrac{1}{2}7,5\,A\,(V - v)^2 v$$

(1) *Morin*, Expériences sur les roues hydrauliques.

dans laquelle :

A est l'aire de la partie immergée de l'aube verticale;

V la vitesse du courant mesurée à la surface;

v la vitesse du milieu de la partie immergée de l'aube verticale.

Poncelet donne pour le même objet la formule suivante qui paraît être plus exacte, et dans laquelle les lettres ont même valeur que ci-dessus :

$$P v = 800\,A\,V\,(V - v)\,v$$

7° *Turbines, f.* 346, 347.

Ces roues, perfectionnées par *Fourneyron*, *Gentilhomme* et autres ingénieurs mécaniciens, mériteraient certainement la préférence sur toutes les autres, si ce n'était qu'elles sont assez compliquées et d'une réparation difficile. Elles conviennent aux grandes et petites chutes; elles peuvent marcher avec des vitesses très-variables sans que l'effet utile diminue; enfin, elles marchent même submergées.

Leur effet utile est les 0,70, et souvent les 0,78 du travail absolu du moteur.

Nous donnons le dessin de deux turbines, mais elles sont l'objet de brevets, et ne pourront être construites par tout le monde qu'à l'expiration du privilège.

8° *Roues horizontales.*

Ces roues tournent autour d'un axe vertical et sont mues par le choc de l'eau, qu'elles reçoivent par une buse ou une cunnelle très-inclinée. Les f. 349 et 350 représentent de ces roues usitées dans les moulins du midi, et particulièrement dans les Alpes et les Pyrénées.

Les palettes qui reçoivent le choc de l'eau sont le plus souvent creuses, sous forme de cuillères. *Tardy* a trouvé qu'une de ces machines donnait, en effet utile, les 0,35 du travail absolu du moteur, mais c'est là un maximum, et *D'Aubuisson* pense qu'on ne peut espérer en tirer plus des 0,33.

On pourrait rapporter à ce genre de roues une espèce de turbine décrite par *Bélidor*, d'après celle établie au moulin du Basacle, à Toulouse (1), et une sorte de roue en tambour

(1) L'ingénieur des mines *Bourdi* a établi, sous le nom de turbine à évacuation alternative, une de ces machines perfectionnées à Pontgibaud; elle donne, en effet utile, les 0,66 du travail dépensé, mais nous n'en avons pas le dessin.

décrite par le même auteur, mais ces machines sont si imparfaites, ne donnant tout au plus, en effet utile, que les 0,18 à 0,20 du travail absolu du moteur, que nous nous contenterons d'en donner une idée par les figures.

On trouvera dans les ouvrages spéciaux tout ce qui a rapport à l'établissement des roues hydrauliques, et nous donnerons seulement ici quelques préceptes tout-à-fait généraux pour guider l'ingénieur qui pourrait avoir à en établir. Nous nous sommes en grande partie guidé, dans tout ce qui a rapport aux roues hydrauliques, sur l'excellent Aide-Mémoire de *Morin*.

Les roues hydrauliques peuvent être mues par les cours d'eau ou par les mouvements des marées montantes et descendantes. Nous donnons pour ce dernier cas, aux f. 304 et 305 le moyen d'utiliser, pour une même roue, les marées montantes et descendantes.

Les orifices, avec charge sur le sommet, doivent être disposés de façon que la contraction soit aussi faible que possible. On atteindra ce but en faisant le seuil et les côtés de l'orifice sur le prolongement du seuil ou des côtés du réservoir, ou bien en les y raccordant par des surfaces arrondies.

Les orifices seront placés aussi près que possible de la roue.

Les vannes inclinées sont préférables aux verticales.

Le canal de retenue ou réservoir sera aussi grand que possible. Dans tous les cas, son aire ne sera pas moindre de quinze fois celle de l'ouverture de l'orifice.

Les roues emboîtées dans les coursiers ne doivent avoir que le jeu strictement nécessaire à leur mouvement, $0^m,005$ est une limite qu'on ne devrait pas dépasser.

Le canal de fuite devra être prolongé de manière à procurer un rapide écoulement à l'eau, qui gênerait autrement les mouvements de la roue.

La largeur d'une roue à palettes est ordinairement égale à celle de l'orifice, plus 5 centimètres de chaque côté. On rencontre de ces roues de 8 à 9 mètres de large, mais, en général, il convient de ne leur en donner que 5 à 6.

Les aubes sont ordinairement espacées de $0^m,30$ à $0^m,40$ à la circonférence extérieure, et on leur donne même dimension dans le sens du rayon. Quelquefois on les fait de $0^m,45$ et $0^m,50$, mais on ne devrait pas dépasser cette limite.

On doit laisser entre le fond d'un auget et l'aube un peu jour pour livrer passage à l'air contenu entre les aubes.

On trouvera, dans les Mémoires cités de *Poncelet*, tout ce a rapport à l'établissement des roues à aubes courbes. aut aux roues à auget, on consultera avec avantage *Tabuisson*, *Morin* et *Coriolis*.

Dans les roues pendantes sur bateaux, les aubes doivent oir une hauteur comprise entre le 1/4 et le 1/5 du rayon la roue. Cette hauteur doit aussi être comprise entre $0^m,35$ $0^m,80$.

Leur écartement doit être égal à leur hauteur. On fait elquefois les aubes comme des jalousies à palettes mobiles, ur faciliter leur sortie de l'eau. Des rebords de $0^m,05$ à ,08 de saillie, appliqués aux aubes, sont avantageux.

Il peut être utile d'incliner les aubes du côté d'amont; on ouvera dans *Navier* la détermination de cette inclinaison.

Terminons ce que nous avons à dire sur les roues hydrauliques par observer :

Que les roues à palettes planes conviennent particulièrement aux chutes comprises entre $1^m,50$ et $2^m,50$; au-delà des deviendraient trop grandes, puisque leur rayon doit être à peu près égal à la hauteur de la chute. Elles peuvent rendre, en effet utile, les $0^m,70$ du travail absolu du moteur, et elles peuvent marcher à des vitesses variables, sans que l'effet diminue, depuis une vitesse égale à celle de l'eau moins jusqu'à celle où les augets se remplissent à plus des 2/3 de leur capacité. Elles ont le défaut de ne plus pouvoir marcher lorsqu'elles sont noyées.

Les roues à augets produisent le même travail utile que les précédentes, mais elles utilisent de plus grandes chutes et elles peuvent marcher noyées en partie.

Les roues à aubes courbes sont à peu près dans les mêmes conditions pour les effets, mais elles permettent d'utiliser de plus petites chutes; elles conviennent particulièrement aux chutes de $1^m,50$ et au-dessous.

Les turbines conviennent à toutes les chutes faibles ou fortes; leur effet utile est des 0,70 à 0,78 du travail absolu dépensé par le moteur (1). La vitesse de leur marche peut varier dans de fortes limites, sans que leur effet diminue sensiblement; enfin elles peuvent fonctionner même submergées.

(1) On pense qu'on peut le porter jusqu'aux 0,80 et 0,85.

On voit, d'après cela, que si leur prix élevé et les difficultés de construction n'y mettaient obstacle, elles seraient préférées à toutes les autres roues.

On emploie aussi d'autres machines pour utiliser une chute d'eau. Nous en donnons quelques exemples aux f. 351, 353 des planches, et nous remarquerons que la noria peut utiliser une grande chute d'un petit volume d'eau sans prendre autant de place qu'une roue à augets; nous pensons que dans quelques circonstances, cette machine, d'un établissement facile, pourrait être adoptée avec avantage. Elle présente plus de frottement qu'une roue à augets, mais elle est plus rustique et plus facile à établir. Du reste, en agriculture il est moins essentiel que dans l'industrie de tirer d'un moteur tout le parti possible, et un moteur très-perfectionné se dérangerait sûrement pendant les chômages très-longs des époques où l'on n'arrose pas.

Il est rare qu'on dispose d'un moteur assez puissant pour fournir toute l'eau dont on a besoin dans les moments où l'on arrose. On supplée alors à son insuffisance en le faisant marcher d'une manière continue et en recevant l'eau qu'il élève dans un réservoir. Nous revenons sur ce sujet dans le chapitre suivant, où nous comparons les divers moyens de se procurer l'eau pour les irrigations.

§ III. MACHINES MUES PAR LE VENT.

Nous n'avons à parler dans ce paragraphe que des moulins à vent, qui sont très-employés en Hollande pour l'épuisement de l'eau des marais, et dans le midi de la France et en Catalogne pour l'arrosement des jardins.

Si on pouvait compter sur le vent, cette machine serait préférée par tous les agriculteurs; mais, si dans le dessèchement d'un marais on peut attendre que le vent veuille souffler, il n'en est pas de même dans l'arrosement des terres, aussi faut-il toujours flanquer un moulin à vent d'un réservoir pour emmagasiner les eaux élevées pendant les journées où le vent souffle, pour s'en servir les jours de calme, où la terre aurait besoin d'eau, c'est ce qui en augmente beaucoup la dépense et qui fait qu'ils ne se multiplient pas. Le nom de moulins vient à ces machines de ce que le plus souvent elles sont utilisées pour la mouture, nous le leur conservons, quoiqu'impropre dans le cas où elles sont appliquées à d'autres usages.

Cette machine se compose d'un arbre tournant, qui reçoit un mouvement du vent, et qui le communique par un organe mécanique quelconque à la machine qui élève l'eau. Nous donnons aux f. 354, 355 quelques exemples de moulins à vent appliqués à l'épuisement des eaux, et nous recommandons particulièrement celui de M. *Durand* de Paris dont nous regrettons de ne pas avoir le dessin pour le reproduire (1).

Les moulins dits à la hollandaise, très-répandus en Flandre, spécialement aux environs de Lille, paraissent établis aussi dans de bonnes conditions. Voici la description qu'en donne *D'Aubuisson* (2): « Ils consistent: 1° en un arbre tournant, forte pièce de bois de $0^m,50$ à $0^m,60$ d'équarrissage fixée au comble du moulin et que l'on tourne et oriente avec lui, » tantôt fois on le tourne avec un levier, d'autres fois une grande girouette en bois l'oriente par le vent; les moyens de faire facilement tourner la machine en entier sont aussi très-variables), « de manière qu'elle soit toujours dans la direction du vent; on l'incline en outre de 10° à 15° à l'horizon; 2° en deux autres pièces d'environ 24^m de long et de $0^m,30$ d'équarrissage, fixées en croix sur la tête de l'arbre; ce sont les volants; ils donnent lieu à quatre bras; 3° à environ 2^m du centre de rotation, chacun est traversé, perpendiculairement à sa longueur, par un premier barreau, ou première pièce de 2^m de long, et faisant un angle d'environ 30° avec le bras passant par les quatre bras, et que nous appellerons le bras du mouvement; puis de $0^m,40$ en $0^m,40$ on place de pareils barreaux, mais en les inclinant de moins en moins, de manière que celui qui est à l'extrémité ne fait plus qu'un angle de 12° à 6°, selon que l'arbre est plus ou moins incliné à l'horizon: les bouts des barreaux, de part et d'autre du bras, sont maintenus par deux autres pièces de bois; tout cet ensemble constitue une aile du moulin; 4° par-dessus, on étend la toile ou voile destinée à recevoir l'action du vent. Telles sont à peu près les dimensions et la disposition des moulins hollandais, qui passent pour être très-bien construits; leurs voiles, par suite de la disposition des lattes, et quelquefois d'une légère courbure dans les bras, présentent une concavité au vent, et nous avons vu qu'une telle forme augmentait l'effet de la machine. »

(1) On en verra la description dans le Bulletin de la Société d'encouragement, 1845, pages 525 et suivantes.

(2) Traité d'hydraulique, p. 535.

Les mathématiciens se sont beaucoup occupés de la théorie des moulins à vent, et nous pouvons citer *Parent*, *Bernoulli*, *Maclaurin*, *Euler* et *Coriolis* (1).

Smeaton est l'ingénieur anglais qui les a étudiés sous le point de vue pratique.

Coulomb (2) a fait aussi des observations sur ce sujet, avec toute la sagacité qui le distingue.

Smeaton tire les conséquences suivantes d'un grand nombre d'expériences : 1° Si les ailes sont bien airées, et si elles ne portent aucune charge, la vitesse de leurs extrémités est égale à quatre fois la vitesse du vent; 2° si elles sont chargées de manière à produire le maximum d'effet, cette vitesse de l'extrémité n'est plus que 2,7 fois celle du vent. *Coulomb* la fait dans les moulins de Flandre, de 2,5 fois seulement. 3° Dans les cas de plus grand effet ou près de lui, la vitesse des ailes est proportionnelle à la vitesse du vent; 4° dans ces mêmes cas, les charges sont proportionnelles aux carrés de vitesse du vent; 5° les effets sont pour cela comme les cubes des vitesses; 6° enfin, les effets sont proportionnels à la surface des ailes.

La quantité de travail transmise à la circonférence des ailes est donnée par la formule suivante, que nous empruntons à l'Aide-Mémoire de *Morin* :

$$P v = 0{,}13 \times O V^3 \text{ kilogrammètres.}$$

dans laquelle :

v est la vitesse de l'extrémité des ailes;
O la surface d'une des quatre ailes;
V la vitesse du vent.

Nous avons vu que pour avoir le maximum d'effet, il faut avoir à peu près $v = 2{,}6\,V$. On y parvient en augmentant ou diminuant la surface des toiles par les ailes qui les recouvrent. Souvent on les fait garnir et dégarnir par des ouvriers; d'autres fois un régulateur fait lui-même ce travail à mesure que la vitesse du vent augmente ou diminue.

§ IV. MACHINES MUES PAR LA VAPEUR.

Nous n'entrerons dans aucun détail sur les machines à vapeur, car cela nous entraînerait trop loin de notre sujet; on peut en étudier la construction dans les ouvrages spéciaux qui ne manquent pas en France et en Angleterre. Nous nous contenterons de donner les résultats pratiques suivants, extraits de l'Aide-Mémoire de *Morin*.

(1) De la construction et des effets des moulins à vent, Mémoire traduit par *Girard*, et qui fait partie des Recherches expérimentales sur l'eau et le vent.
(2) Observations sur les effets des moulins à vent. Mémoires de l'Académie des Sciences, 1781.

Machine à basse pression du système de Watt.

Sa force en chevaux est donnée par la formule

$$K n \times 2{,}222\, p\, v \left(1 - \frac{p'}{p}\right)$$

dans laquelle :

p est la pression de la vapeur de la chaudière sur un centimètre carré;

v le volume engendré par le piston dans une course simple, en mètres cubes;

p' la tension de la vapeur dans le condenseur, qu'on déduit ordinairement de la température de l'eau dans ce même condenseur;

n le nombre des courses simples de piston en une minute;

K coefficient constant et pratique, qui dépend de la force de la machine, de la perfection de sa construction et de son état d'entretien.

Pour déterminer p et p' on a le tableau suivant, déduit des observations d'*Arago* et *Dulong* (1).

(1) Annales de physique et de chimie, 1830.

Température en degrés centigrades.	Pression sur un centimètre carré en kilogrammes	Température en degrés centigrades.	Pression sur un centimètre carré en kilogrammes.
0.0	0 0069	112.2	1.5490
5.0	0.0094	121.4	2.0660
10.0	0 0129	128.8	2.5820
15.0	0.0170	135.1	3.0990
20.0	0.0235	140.6	3.6150
25.0	0.0314	144.4	4.1320
30.0	0.0418	149.06	4.648
35.0	0.0549	153.08	5.165
40.0	0.0720	156.80	5.681
45.0	0.0934	160.20	6.198
50·0	0.1203	163.48	6.714
55 0	0.1544	166.50	7.231
60.0	0.1965	169.37	7.747
65.0	0 2482	172.10	8.264
70.0	0.3112	177.10	9.297
75.0	0.3965	181.60	10.335
80.0	0.4785	186.03	11.363
85.0	0.5865	190.00	12.396
90.0	0.7136	193.70	13.429
95.0	0.8617	197.19	14.462
100.0	1.0335	200.48	15.495

La valeur de K est donnée par le tableau suivant :

FORCE des machines en chevaux.	Valeur de K pour des machines en très-bon état.	Valeur de K pour des machines en état ordinaire.
4 à 8	0.50	0.42
10 20	0.56	0.47
30 50	0.60	0.54
60 100	0.65	0.60

La quantité de travail due, dans une de ces machines, à un kilogramme de houille, est donnée par la formule :

$$K\,45038925\,\frac{1+0{,}00375\,t}{550+t-t'}\left(1-\frac{p'}{p}\right)\text{ kilogrammètres.}$$

ou plus simplement, et avec une approximation suffisante :

$$100000\,K\left(1-\frac{p'}{p}\right)\text{ kilogrammètres.}$$

Les lettres, dans ces formules, ont même valeur que dans la précédente.

t est en degrés centigrades la température de la vapeur dans la chaudière correspondante à la pression p.

t' est la température de l'eau d'alimentation, qui est ordinairement celle du condenseur.

Machines à détente et condensation.

La force en chevaux (1) en est donnée par la formule :

$$K\,n \times 2{,}222\,p\,v\left(1+2{,}303\,log.\,\frac{p}{p_1}-\frac{p'}{p_1}\right)$$

(1) Pour avoir la force en kilogrammètres, on n'a qu'à multiplier par 75 la valeur ci-dessus.

dans laquelle :

n et p ont même valeur que dans les formules précédentes.

p_1 est la pression de la vapeur après la détente.

p' la pression dans le condenseur, correspondante à sa température ;

v le volume engendré par le piston pendant l'admission de la vapeur de la chaudière.

K coefficient pratique qui dépend de l'état et de la force de la machine, et qui est donné par le tableau suivant :

FORCE des machines en chevaux.	Valeur de K pour des machines	
	en bon état.	en état ordinaire.
4 à 8	0.33	0.30
10 20	0.42	0.35
20 40	0.50	0.42
60 100	0.60	0.55

La quantité de travail due, dans une de ces machines, à la combustion d'un kilogramme de houille, est donnée par la formule :

$$\mathrm{K}\ 45038925\ \frac{1+0{,}00375\,t}{550+t-t'}\left(1+2{,}303\ log.\ \frac{p}{p_1}-\frac{p'}{p_1}\right)\ \text{km.}$$

ou plus simplement par :

$$100000\,\mathrm{K}\left(1+2{,}303\ log.\ \frac{p}{p_1}-\frac{p'}{p_1}\right)\ \text{kilogrammètres.}$$

dans lesquelles les lettres ont même signification que dans les précédentes.

Dans les machines d'épuisement, on n'atteint pas ces résultats, car ce sont des machines souvent négligées, et on a beaucoup de causes de perte de force. Le tableau suivant donnera une idée du travail qu'on peut espérer de ces machines.

SYSTÈME de construction des machines.	NOMS des constructeurs.	FORCE nominative en chevaux.	EFFET UTILE par kilog. de charbon brûlé.	QUANTITÉ de charbon brûlé par cheval et par heure.	PRESSION moyenne de la vapeur.	OBSERVATIONS.
			kilog. mèt.	kilog.	atmosph.	
Newcomen. . . .	»	44	21000	15.00	1.15	Résultat de 4 machines.
Watt à simple effet	Const. Perier.	80	38900	6.94	1.25	Pompe de Chaillot.
		24	37715	7.10	1.15	Pompe du Gros-Caillou.
Watt à double effet	Watt. Boulton.	70	36776	7.50	1.25	8 machines d'Anzin.
Woolf.	Edwards. . . .	10 à 12	32970	8.18	3.50	24 machines à Anzin.

Machines à haute pression avec détente sans condensation.

La force en chevaux en est donnée par la formule :

$$K n \times 2{,}222\, p\, v \left(1 + 2{,}303\, log.\, \frac{p}{p_1} - \frac{1{,}033}{p_1}\right) km.$$

dans laquelle les lettres ont même signification que ci-dessus.

K est égal : pour les machines en bon état, à . . . 0,40
— pour celles en état ordinaire, à . . . 0,33

La quantité de travail due à la combustion d'un kilogramme de houille est donnée par la formule :

$$K\, 45038925\, \frac{1 + 0{,}00375\, t}{550 + t - t'} \times \left(1 + 2{,}303\, log.\, \frac{p}{p_1} - \frac{1{,}033}{p_1}\right) \text{kilogrammètres.}$$

ou plus simplement :

$$100000\, K \left(1 + 2{,}303\, log.\, \frac{p}{p_1} + \frac{1{,}033}{p_1}\right) \text{kilogrammètres.}$$

Les lettres ont même signification que ci-dessus.

Machines à vapeur fixes à haute pression, sans détente ni condensation.

La force en chevaux de ces machines se calculera par la formule :

$$K n \times 2{,}222\, p\, v \left(1 - \frac{1{,}033}{p}\right) \text{kilogrammètres.}$$

Les lettres ont même valeur que ci-dessus. On donnera à K les valeurs portées au tableau des machines à basse pression du système de *Watt*.

La quantité de travail due à la combustion d'un kilogramme de houille est donnée par la formule :

$$K\, 45038925\, \frac{1 + 0{,}00375\, t}{550 + t - t'} \left(1 - \frac{1{,}033}{p}\right) \text{kilogrammèt.}$$

ou plus simplement :

$$100000\, K \left(1 - \frac{1{,}033}{p}\right) \text{kilogrammètres.}$$

D'après *Morin*, voici des considérations qui doivent guider dans le choix d'un système de machine à vapeur.

« 1° Dans les établissements où le combustible ne sera pas très-cher, on pourra préférer les machines à basse pression.

« 2° Dans les localités où le combustible est cher, et quand on pourra maintenir les machines en bon état d'entretien, on devra employer les machines à détente et à condensation.

« 3° Pour la navigation par bateau à vapeur sur mer, on peut donner la préférence aux machines à haute pression avec détente et sans condensation.

Nous terminerons en disant que l'agriculture a rarement employé les machines à vapeur pour élever l'eau, mais on peut pourtant en citer un exemple tout récent dans la Camargue, où l'on élève l'eau du Rhône destinée aux rizières au moyen de machines de ce genre. Le peu de réussite de cette opération n'est pas fait pour encourager les agriculteurs à suivre a même voie.

CHAPITRE III.

COMPARAISON DES DIVERS MOYENS DE SE PROCURER L'EAU POUR LES IRRIGATIONS.

Après avoir passé en revue les divers moyens qui sont à la portée de l'agriculteur pour se procurer l'eau nécessaire aux irrigations, nous allons, dans ce chapitre, les comparer pour éclairer le praticien dans le choix qu'il peut être appelé à en faire.

Nous discuterons donc les avantages et les inconvenients que présente chacun des moyens que nous avons décrits, et, à la fin du chapitre, nous les comparerons sous le rapport de la dépense exigée par chacun d'eux.

Les eaux pluviales employées directement à l'humectation des prés, sur le penchant des coteaux, ne constituent pas une véritable irrigation. C'est un moyen d'améliorer des prés secs, mais ce n'en est pas un pour créer des pres très-productifs. Dans cette méthode, on ne dispose pas de l'eau, on ne fait que prolonger ses bons effets quelque temps après les jours de pluie; mais, dans certaines localités, malgré les fossés de niveau destinés à recueillir et retenir les eaux pluviales, il peut se faire que des sécheresses un peu prolongées fassent souffrir les herbes.

A coup sûr, à moins que le climat ne soit déjà humide, on n'obtiendra pas de seconde coupe au moyen de cette humectation.

Les grands fossés de niveau ne nécessitent pas, autant que les rigoles de niveau, des bords parfaitement réglés; car, l'eau qu'ils retiennent, agit plutôt par infiltration que par débordement; on peut donc les établir dans les pâtures, car les animaux ne leur seront pas très-nuisibles en marchant dessus. C'est là un puissant et économique moyen d'améliorer les pâtures sèches. Du reste, nous reviendrons sur ce sujet, en parlant, à la fin de notre ouvrage, de la partie économique des irrigations.

L'eau pluviale recueillie dans des réservoirs pour être ensuite répandue en irrigations, présente au cultivateur de grands avantages. Il est ainsi parfaitement maître de son eau, et il peut l'employer comme bon lui semble. L'eau étant emmagasinée en totalité, il peut, s'il le veut, augmenter la

quantité d'eau d'un arrosage en temps de sécheresse, et diminuer celle d'un arrosage donné en temps humide, sans qu'il soit perte pour lui, puisque l'eau qu'il n'emploie pas reste dans le réservoir pour être employée plus tard. Les réservoirs sont, en général, voisins des terrains à irriguer, il n'y a pas de perte d'eau en infiltrations dans de longs canaux d'amenée, et on économise également celle destinée à les remplir avant de pouvoir arroser.

Le voisinage des réservoirs est également utile, en ce qu'il rend plus facile de donner ou d'ôter l'eau, suivant les besoins, sans qu'on ait à aller fort loin pour ouvrir ou fermer les bonnes. Nous avons vu dans le Midi, où l'on achète l'eau aux canaux, en donner souvent mal à propos, par la raison assez spécieuse que, comme on la paie, on ne doit pas la laisser perdre; cela n'arriverait pas si on devait la prendre dans un réservoir, car, dans ce cas, dès qu'on ne l'emploie pas, on la conserve.

L'eau dans les réservoirs s'échauffe au soleil et s'améliore. On peut du reste facilement, à sa sortie, y mélanger des amendements. Les eaux froides et à réactions tanniques; les eaux calcaires et gypseuses deviennent bonnes, après un séjour plus ou moins prolongé dans un réservoir d'une profondeur médiocre.

Un réservoir qui recueille les eaux de pluie qui sont tombées sur des terrains supérieurs, recueille, en même temps, les engrais qu'elles entraînent toujours, soit dissous, soit en suspension. Les premiers profitent aux irrigations, les seconds se déposent dans la vase de l'étang, et peuvent être utilisés comme engrais sur les terres, en curant de temps à autre le fond de l'étang pour en faire des composts.

Les eaux pluviales sont généralement préférables aux eaux de source pour les irrigations, tant à cause des matières qu'elles entraînent, que de la température qu'elles acquièrent dans les réservoirs, et qui se rapproche beaucoup de celle de la terre qu'on doit arroser. Enfin, lorsque les réservoirs sont assez vastes pour qu'on n'ait pas à les vider entièrement pour les besoins de l'irrigation, on peut y élever du poisson, ce qui ne laisse pas d'être d'un certain profit, ou au moins d'un grand agrément pour le propriétaire qui habite la campagne.

Mais, d'un autre côté, on ne peut pas établir facilement des réservoirs partout; les pays de plaine ne présentant pas

de plis de terrain où créer un réservoir vaste, solide et économique. Dans les terrains accidentés, il arrive souvent que l'endroit propice pour l'établissement d'un réservoir se trouve en bas de la propriété, de manière qu'il ne servirait qu'à l'arrosage de surfaces insignifiantes, tandis que les terres qui profiteraient le plus des irrigations se trouvent plus élevées que le réservoir.

Lorsqu'un terrain est trop perméable, il faut renoncer à ce moyen de se procurer de l'eau; car, toute celle qu'on ramasserait, se perdrait en peu de temps en infiltrations. Il est également fort mauvais de creuser le fond du réservoir pour lui donner une profondeur suffisante; on est alors sujet à de grandes pertes par infiltration, auxquelles on ne peut parer que par des corrois ou des chappes très-coûteuses. Ainsi, on ne peut pas établir des réservoirs partout, et on ne peut les établir utilement que là où la forme topographique du terrain est bien disposée pour les recevoir. Ces localités sont heureusement communes en France. Les réservoirs font perdre une certaine étendue de terrain, généralement de bonne qualité, qui, se trouvant habituellement couverte d'eau, ne peut plus produire de récoltes; c'est une diminution de rente qui doit être rachetée par le bénéficiement des prés irrigués. Nous ne parlons pas des chances de rupture des digues, car elles n'existent réellement pas lorsque celles-ci sont bien établies, et que les déversoirs fonctionnent convenablement.

L'eau d'un réservoir appartenant au propriétaire du fonds, il peut, d'après la loi d'Angeville, lui faire traverser l'héritage d'autrui pour la conduire sur d'autres terres qui lui appartiennent également, moyennant indemnité, bien entendu.

Les réservoirs ont enfin l'avantage de pouvoir porter l'irrigation sur des terrains élevés, là où l'on ne pourrait se procurer de l'eau par aucun autre moyen, et de changer ainsi complètement la face d'un pays.

Mais, dans les pays où l'été est très-sec et très-long, où l'évaporation est augmentée par des vents violents et habituels, les pertes par évaporation sont assez considérables pour forcer à faire les réservoirs beaucoup plus étendus qu'on ne les ferait dans d'autres pays plus favorisés, et cela peut rendre leur établissement plus coûteux et moins avantageux.

En résumé, nous donnons la préférence aux réservoirs, sur tous les autres moyens de se procurer l'eau des irriga-

tions, partout où l'on peut en établir facilement et économiquement.

Une source un peu abondante, ou plusieurs sources réunies, sont une véritable richesse dans une propriété; car, pour les irrigations, elles réunissent à peu près tous les avantages des réservoirs d'eau pluviale, sans en avoir en partie les inconvénients. La seule différence à leur désavantage consiste en ce que leur débit étant réglé par la nature, on ne peut disposer, selon les circonstances, de la quantité d'eau à dépenser en arrosages.

Si la source est très-abondante, on peut toujours avoir assez d'eau, mais alors cette eau est perdue la plus grande partie de l'année; car elle coule inutilement lorsqu'on n'arrose pas, ou lorsqu'on arrose à petites eaux.

Si les sources sont faibles, il peut être très-utile de les combiner avec les réservoirs, auxquels on donne alors une moindre capacité, en raison de la sûreté où l'on est de les remplir dans un certain temps, malgré une sécheresse prolongée. Les réservoirs emmagasinent l'eau des sources, pour qu'on puisse l'employer en temps propice.

Lorsque l'on a de belles sources, il convient donc toujours de les utiliser, et nous verrons bientôt qu'elles présentent le moyen le plus économique de se procurer l'eau pour les irrigations.

Mais, si les sources ne sourdent pas naturellement à la surface du sol, et qu'il faille en faire la recherche, l'opération devient coûteuse; et souvent la dépense qu'on fait est en pure perte, puisque les sources qu'on rencontre sont insuffisantes ou à un niveau trop bas, pour être utilisées dans la propriété.

Ce dernier cas se présente souvent, avec les propriétés divisées comme elles le sont en France, et les sources qui jaillissent naturellement sont aussi souvent dans ce cas, de manière que leurs propriétaires peuvent rarement les utiliser, puisqu'elles se trouvent dans la partie la plus basse de leur propriété. Mais il est des contrées, comme une certaine partie de la Lombardie et du Piémont, où l'on est sûr de rencontrer des sources à une certaine profondeur, et on peut alors, avec succès, les découvrir dans des positions propices pour l'irrigation des terrains inférieurs.

Les sources sont donc dépendantes, dans leur utilité, de la configuration du sol et de sa constitution géologique.

Nous avons vu que l'eau de source n'entraîne presque jamais en dissolution de matières fécondantes, mais, quoique pure, elle peut être très-bonne pour les irrigations, preuve les belles prairies arrosées avec les eaux de la source de Royat, près de Clermont, en Auvergne.

La température des eaux de source peut les rendre plus ou moins favorables aux végétaux; mais nous avons déjà parlé de cela avec détails, et nous n'y reviendrons plus.

Ce que nous venons de dire des sources ordinaires, peut en très-grande partie s'appliquer aux sources artésiennes. Si, dans quelques pays, on est à peu près sûr de trouver de l'eau à une certaine profondeur; dans d'autres, on ne sait pas de combien il faudra forer le sol pour obtenir des eaux ascendantes.

Nous verrons bientôt, en traitant la partie économique, combien on a de chances à courir pour se procurer de l'eau par le percement d'un puits artésien. Observons seulement ici que les eaux artésiennes, comme celles des sources naturelles profondes, ont une température fixe, qui fait qu'elles sont chaudes en hiver, et froides en été.

Il s'ensuit qu'elles sont très-propres aux arrosages d'hiver, tandis que celles des réservoirs peuvent moins souvent y être employées; mais aussi elles sont souvent trop froides en été, et il faut, avant d'être données aux prés, qu'elles se soient réchauffées soit dans un long parcours, ce qui est assez difficile à obtenir, soit par leur séjour dans un réservoir.

On a, il y a une quinzaine d'années, espéré de tirer parti, pour l'agriculture, des puits artésiens, beaucoup plus qu'on n'a pu réellement les utiliser. Ils sont généralement employés à fournir de l'eau potable ou propre à quelques usines; mais, presque partout, elle coûte fort cher, et son prix fait qu'elle n'est pas utilisable pour l'agriculteur.

Les eaux courantes sont de diverses espèces, et on peut les obtenir de diverses manières.

Les petits cours d'eau non navigables ni flottables ont été regardés jusqu'à ce jour comme la propriété des riverains. L'État paraît vouloir s'en emparer; nous ne savons pas si les irrigations y gagneront beaucoup.

Une dérivation particulière, faite dans ces petits cours d'eau, présente beaucoup de ressemblance avec une source; mais, à moins que la propriété ne soit d'une grande longueur, la bande de terre ainsi irrigable est fort étroite, et, en ré-

sumé, elle ne vaut pas souvent la peine d'établir un barrage et de faire une prise d'eau en vue de l'arrosage d'une surface insignifiante.

Les eaux de ces ruisseaux, comme celles des réservoirs, peuvent être fertilisantes, et leurs troubles peuvent être employés au limonage, avantage que ne présentent pas les eaux de source. Quant à leur température, elle est très-variable suivant les contrées.

Dans les montagnes, il est tel ruisseau qui provient des neiges éternelles, et qui, après deux, trois et même un plus grand nombre de lieues de cours, roule encore des eaux trop froides pour qu'on puisse les donner utilement aux prés pendant l'été.

Mais, généralement, les ruisseaux prennent une température sensiblement égale à la température ambiante, ce qui les rend propres aux irrigations en toute saison, en en excep-tant, bien entendu, les irrigations d'hiver destinées à créer des *marcite*, qu'on peut bien rarement alimenter avec des cours d'eau.

Les dérivations particulières sur ces petits cours d'eau peuvent devenir sujettes à l'administration, si le préfet, pour sauvegarder les intérêts des riverains et des usines, fait un règlement. Dans ce cas, on fixe à chaque propriétaire la quantité d'eau qu'il doit dériver, et les jours et les heures auxquels il peut la prendre. C'est là pour lui un immense inconvénient, car il n'est plus libre d'en disposer comme bon lui semble, et souvent ses prés ont soif sans qu'il puisse avoir l'eau, tandis que son tour arrive lorsque, par une pluie aboudante, ses prés sont naturellement arrosés par le ciel. C'est là l'inconvénient capital qui nous fait, lorsque nous en avons le choix, à égalité de circonstances, préférer les réservoirs aux petites dérivations des ruisseaux et rivières. Quant aux rivières navigables et flottables, on ne peut en dériver l'eau que par une permission donnée par ordonnance, permission qu'il est très-difficile d'obtenir, car nos rivières manquent souvent d'eau pour la navigation pendant l'étiage.

Il y a, du reste, tant de formalités à remplir, tant de mouvement à se donner, et tant de temps et de papier à gaspiller, que les plus patients s'en rebutent, et que nous ne conseillerons d'avoir recours à ce moyen qu'en désespoir de cause d'en pouvoir appliquer un autre.

Les barrages des prises d'eau particulières courent la

chance d'être emportés par les crues, et suivant la nature plus ou moins torrentielle du cours d'eau, peuvent demander de fréquentes réparations, et quelquefois exiger d'être déplacés. Ils demandent d'ailleurs une surveillance active, particulièrement en temps de crue, pour que les eaux ne débordent pas en s'introduisant dans le canal dérivé.

Dans les pays où les irrigations sont très-répandues, dans le Midi de la France, dans le Nord de l'Italie, et dans le royaume de Valence, en Espagne, presque toutes les irrigations se font au moyen des canaux dérivés des rivières.

Il est certain que, même pour les petits cours d'eau des montagnes, et à plus forte raison pour les grandes rivières qui coulent dans les plaines, un canal dérivé et se tenant en terrain naturel sur les penchants des coteaux, permet d'irriguer une bien plus vaste étendue de terrain que des dérivations particulières faites par les riverains.

Il y a trois manières de régir ces canaux : ou bien ce sont des associations d'usagers qui se régissent elles-mêmes, comme en Espagne et dans les Pyrénées-Orientales ; ou bien ce sont des entrepreneurs auxquels l'Etat a concédé le droit d'établir le canal, comme en Provence et en partie en Italie ; ou bien, enfin, c'est l'Etat lui-même qui se fait marchand d'eau, comme dans une partie des canaux italiens.

L'eau des grands canaux est reçue par les agriculteurs dans des dérivations semblables à celles des petits cours d'eau, avec cette différence à l'avantage des canaux, qu'on n'a pas de barrage à établir.

Ces eaux, presque toujours fertilisantes, ont en outre bien souvent une température très-appropriée aux arrosages, température qu'elles ont acquise dans un long parcours, soit dans la rivière, soit dans le canal.

Les canaux sont sujets aux chômages pendant le temps des curages, et c'est là un mal, car ils ont précisément lieu aux époques où il serait souvent utile d'arroser.

L'eau achetée aux canaux l'est à tant par hectare à arroser, et c'est là la cause de chicanes et de disputes sans fin, car le propriétaire du canal trouve toujours qu'il en donne trop, et l'acheteur trouve toujours qu'on ne lui en livre pas assez ; c'est encore là une cause de gaspillage qu'on remarque particulièrement en Provence, où l'on détermine ainsi le prix de l'eau des canaux.

On vend aussi l'eau à tant la *meule*, le *moulan*, l'*once*, etc., suivant les pays ; c'est-à-dire que, pour un certain prix, on a un orifice qui donne un écoulement fixé d'avance. Cette méthode est bien préférable à la première, car, acheteur et vendeur savent ainsi ce que l'un reçoit et ce que l'autre donne. Mais, malheureusement, ces bouches régulatrices sont très-mal réglées, particulièrement en France, et jusqu'à ce qu'on ait adopté un module irréprochable, la vente de l'eau au volume sera très-irrégulière et le sujet d'un grand nombre de supercheries.

En irriguant par l'eau prise aux canaux, on ne peut pas forcer la quantité d'eau d'un arrosage, quitte à en donner moins pendant un autre. La quantité d'eau qu'on reçoit est réglée ; si on en a trop, on en est quitte pour la laisser perdre ; si on n'en a pas assez, tant pis.

Si on n'a pas de canal dans son voisinage, on n'est pas libre de choisir ce moyen de se procurer de l'eau, à moins qu'on ne parvienne à décider les propriétaires voisins et intéressés, à se réunir en une association pour creuser le canal. Les grands canaux d'irrigation ont permis d'arroser et de vivifier d'immenses étendues de terrains qui, sans eux, seraient toujours restés stériles.

Nous ne parlons pas des canaux de navigation et d'irrigation à la fois, car, rapport à l'agriculture, ils ne diffèrent pas des simples canaux d'arrosage, et nous ne voulons pas traiter ici une question d'économie politique.

Est-il utile que le gouvernement crée ou facilite l'établissement de nouveaux canaux d'irrigation ? Nous répondrons, sans hésiter, oui, dans les pays où la pratique des arrosages est assez répandue pour qu'on en apprécie les avantages, et qu'on reconnaisse le prix de l'eau.

Mais dans les départements où l'on ne connaît l'irrigation que de nom et quelquefois même pas, nous croyons qu'on ferait une folle entreprise en y creusant de ces canaux. Il faut que, d'abord, des petites opérations particulières et individuelles montrent à l'évidence tout le parti qu'on peut tirer des eaux bien aménagées.

Les cours d'eau employés directement ne nous arrêteront pas, car ce n'est pas là une véritable irrigation, mais simplement un moyen de rendre par fois utiles des débordements généralement nuisibles.

Il nous reste, maintenant, à apprécier les moyens artificiels de se procurer l'eau.

Commençons par dire que les machines qui emploient la force animale ne nous paraissent applicables qu'aux arrosages des jardins maraîchers, mais que là elles peuvent être préférées aux autres machines, car une petite culture peut avoir souvent assez d'eau avec un travail de quelques heures seulement, et que la simplicité de ces machines et leur faible prix les mettent à la portée de presque toutes les bourses. Des seaux avec levier, des norias, des pompes rustiques mues avec un manége par de mauvais chevaux ou des ânes, qui transportent le matin les légumes au marché, et montent de l'eau dans l'après-midi, sont souvent ce qu'il y a de plus avantageux pour les jardiniers

Il en est tout autrement pour la grande culture, pour l'irrigation des prairies, pour laquelle ces machines seraient tout-à-fait insuffisantes. Du reste, elles puisent presque toujours l'eau dans des puits qui seraient bientôt épuisés si on voulait en extraire une grande quantité; et puis, les moteurs animés, qui ne seraient pas toujours employés à ce travail, trouveraient difficilement à s'occuper dans l'exploitation si leur nombre était trop grand. Nous verrons bientôt, enfin, que ce serait là une manière fort coûteuse de se procurer l'eau. Aussi, même pour les jardins, il ne faut avoir recours aux machines que lorsqu'on ne peut pas arroser par un des moyens dont nous avons déjà parlé.

Reste donc, pour la grande culture, les machines mues par l'eau, par le vent et par la vapeur.

Lorsqu'on dispose d'une chute ou d'une grande rivière, sur laquelle on peut établir une roue pendante, nous préférons les premières machines aux autres, car nous croyons qu'elles sont plus économiques que les machines à vapeur, et plus régulières que les moulins à vent.

C'est au moyen d'une roue hydraulique que le général Du Moncel élève l'eau d'irrigation dans son parc de Martinvast.

Discuterons-nous ici la valeur respective des diverses machines que nous avons décrites dans le chapitre précédent? Cette valeur dépend de tant de circonstances locales, que nous ne saurions le faire d'une manière tant soit peu complète. Nous dirons donc seulement que les roues hydrauliques nous paraissent généralement préférables; mais, qu'en tous cas, les machines les plus simples nous paraissent devoir être choisies, quoique d'autres pussent utiliser mieux le moteur

avec plus de complication, car à la campagne on trouve difficilement des mécaniciens pour les réparer, et l'agriculture ne devrait, en général, employer que des machines à la portée d'un charron et d'un forgeron de village.

L'eau qu'on se procure par les machines hydrauliques est généralement celle des cours d'eau qui les mettent en mouvement; aussi nous ne parlerons pas de sa valeur et de ses qualités, pour ne pas répéter ce que nous avons dit plus haut.

Nous observerons qu'à moins d'avoir une chute très-puissante, on ne peut élever ainsi que des quantités d'eau assez faibles, et qu'il peut être utile de combiner ce moyen avec les réservoirs pour emmagasiner l'eau que la machine monterait dans le temps où l'on n'arrose pas.

Nous aimons peu les machines, car nous craignons les dérangements et les réparations, qui peuvent précisément devenir nécessaires aux moments où les prés demandent à être arrosés; mais nous reconnaissons que dans certaines circonstances on peut en tirer un bon parti.

Une grande chute se trouve toujours combinée avec une forte pente du cours d'eau, et il est alors fort rare qu'on ait plus d'avantage et moins de dépense à prendre l'eau par une dérivation. En général, l'industrie peut payer la force résultant d'une chute d'eau plus cher que l'agriculture; mais il est des localités où, faute de débouchés, les chutes restent sans emploi, et alors l'agriculture pourrait en tirer parti.

En résumé, il est rare que l'industrie laisse des chutes disponibles pour l'agriculture, et, dans ce cas, on a souvent plus d'avantage à faire une dérivation du cours d'eau, qu'à en élever les eaux au moyen d'une machine.

Il en est tout autrement pour les roues pendantes qu'on pourrrait établir entre bateaux sur les grandes rivières. Ces machines ont, il est vrai, besoin de fréquentes réparations, mais leur marche est continue, et l'agriculture pourrait, nous pensons, en profiter. Nous pouvons ajouter que souvent ces moyens de se procurer l'eau, qui paraissent les plus économiques au prime abord, sont, en fin de compte, les plus coûteux.

Le vent est un moteur que chacun peut se procurer gratis, mais malheureusement on ne peut pas le faire souffler quant on veut. Il s'ensuit que si on l'applique à élever l'eau des irrigations, on peut précisément avoir de l'eau lorsqu'on n'en veut pas, et ne pas en avoir lorsqu'on en veut. La grande

irrégularité de ce moteur a fait, à raison, renoncer presque partout à son emploi comme pourvoyeur d'eau pour les arrosages en grand. Nous disons en grand, car en Provence et sur la côte de Catalogne, des petits moulins à vent, très-coquets et très-bien établis, servent aux irrigations des *bastides* ou jardins, mais alors il est facile de leur joindre un bassin de petite dimension, en rapport avec la petite surface à irriguer.

Dans la culture en grand, le réservoir prendrait de très-grandes proportions en rapport avec la plus ou moins grande fréquence des jours de vent, et alors il nous paraît plus naturel d'augmenter de fort peu sa contenance et de le remplir avec les eaux pluviales, que de se servir d'une machine coûteuse et sujette à se déranger.

Il est vrai qu'en remplissant ces réservoirs au moyen de moulins à vent, on pourrait les placer sur des points culminants où la surface des terrains supérieurs ne serait pas suffisante pour les remplir d'eau pluviale; mais il est à observer que généralement l'eau est très-profonde pour ces points culminants, et que pour y en élever une quantité donnée, il faudra beaucoup plus de force que pour des points plus bas, ce qui se traduit par un plus grand nombre de moulins, et en même temps par une augmentation de dépense. Dans cette hypothèse, l'eau serait puisée dans des puits, et à moins que ceux-ci ne soient alimentés par des sources artesiennes, il y aurait insuffisance d'eau.

Si nous sommes peu partisans de l'emploi du vent comme force motrice pour se procurer l'eau des irrigations, nous l'approuvons, au contraire, en tout point pour le desséchement des lacs et marais, car ici il faut que l'eau en sorte, mais on n'a pas d'intérêt à ce que cela ait lieu un jour plutôt qu'un autre.

La totalité de l'eau annuellement élevée, est ce qui intéresse, et alors on peut facilement régler la force et le nombre des moulins, pour obtenir le résultat voulu.

En Hollande, la force du vent est employée, avec un très-grand avantage, au desséchement des polders et des terrains conquis sur la mer. Il n'y aurait, du reste, que la machine à vapeur qui pourrait, dans ces circonstances, faire concurrence aux moulins à vent, et nous ne pensons pas que le désavantage serait pour ces derniers, particulièrement en vue de l'économie. Du reste, en appliquant les moulins à vent aux épuisements,

n'est plus nécessaire de les flanquer de réservoirs, et la dépense d'établissements s'en trouve très-considérablement amoindrie. Malgré cela, nous pensons qu'il est bien souvent préférable, lorsqu'on le peut, d'avoir des canaux de colature plutôt que des machines d'épuisement; tout dépend des circonstances et des localités.

Remarquons, enfin, que le vent est la seule force motrice dont on puisse disposer gratis, car une chute a une véritable valeur réalisable en argent, et si elle n'est pas employée pour le moment elle peut devenir vendable dans un avenir plus ou moins éloigné. Le vent est une maîtresse qui se donne, mais qui, remplie de caprices, ne se laisse jamais dominer et contraire.

Les machines à vapeur sont des moteurs très-puissants pour l'industrie, mais nous doutons qu'elles soient jamais employées autrement que d'une manière exceptionnelle par l'agriculture. En voici les raisons: Les organes mécaniques qui composent les machines à vapeur sont admirablement inventés et combinés, mais ils sont compliqués, et une de ces machines mise dans les mains de paysans peu intelligents, sera bientôt hors de service.

Excepté les campagnes qui entourent certains centres d'industrie, les autres domaines sont très-loin des endroits où se trouvent des mécaniciens capables de réparer une de ces machines; de là des chômages fréquents et très-prolongés pour faire venir un mécanicien, envoyer les pièces à la ville, les faire remonter, etc.; de là aussi des dépenses considérables.

Si les machines qu'on emploie étaient assez importantes pour permettre d'avoir un mécanicien à l'année avec son petit atelier, la difficulté serait moins grande, car avec quelques pièces de rechange on pourrait éviter les chômages. Ce n'est que dans ces cas, fort rares du reste, que nous pensons qu'on puisse utilement employer la vapeur en agriculture; c'est-à-dire lorsque l'on est près d'un centre d'industrie, ou lorsque l'importance de la machine est telle qu'elle permet d'avoir un mécanicien chez soi.

Il faut ajouter qu'une machine destinée à élever l'eau pour les irrigations, doit avoir des époques de travail et des époques de repos; or, ces dernières lui sont toujours plus ou moins nuisibles, car, malgré tous les soins qu'on peut prendre, les pièces se rouillent et les mouvements deviennent moins

uniformes, ce qui occasionne des chocs et une plus prompte détérioration de la machine.

Il peut donc être utile, lorsqu'on veut employer la vapeur pour élever l'eau des irrigations, de faire, en même temps, un réservoir pour emmagasiner l'eau que la machine élèverait pendant le temps qu'on n'arrose pas. C'est ce que nous avions proposé pour l'irrigation de la propriété de M. *le comte de Vougy*, à sa terre de Vougy, près de Roanne, où l'eau devait être prise à la Loire, et élevée de $2^m,15$ au moyen d'une machine à vapeur. On a, de cette façon, le double avantage de faire travailler la machine d'une manière à peu près continue, et d'en employer une d'une moindre force pour arroser la même surface de terrain.

En résumé, nous dirons que dans le plus grand nombre des cas la machine à vapeur nous paraît trop compliquée et non pas assez rustique, pour qu'on puisse utilement s'en servir en agriculture.

Voilà ce que nous avions à dire quant à la convenance des divers moyens de se procurer l'eau ou de s'en débarrasser. Passons maintenant à comparer la dépense dans laquelle ils entraînent.

Nous commencerons par remarquer que cette appréciation est toujours fort vague et ne peut être jamais générale, puisqu'elle dépend de plusieurs circonstances locales et particulières, qu'il faudra étudier pour chaque opération projetée. Ainsi, par exemple, la valeur du travail d'une machine à vapeur dépend du prix de la houille, qui est très-variable suivant qu'on est près ou loin des mines, près ou loin d'un cours d'eau qui en facilite le transport.

Les moteurs animés présentent la même variété dans le prix de leur journée. On s'amuse, il est vrai, à calculer sur des moyennes; c'est un moyen de faire des calculs à perte de vue et de passer pour très-entendu; mais, nous l'avons déjà dit et nous le répétons, en se fiant à ces calculs, on se prépare de tristes déboires. Pour établir nos calculs, il faut bien que nous fassions comme les autres et que nous adoptions des prix élémentaires, mais nous avertissons nos lecteurs que ce que nous en disons n'a pour but que d'enseigner la marche à suivre pour se rendre compte de ce que reviendra chaque moyen d'avoir de l'eau dans un cas donné, et que les chiffres obtenus peuvent varier énormément dans les différents cas, tout aussi bien dans leur valeur absolue que dans leur valeur relative.

Nous prendrons les bases de prix suivantes, qui se sont souvent présentées à nous dans nos travaux dans le centre de la France, spécialement en Touraine.

Journée de terrassier ou manœuvre de 10 heures, dans lesquelles on ne doit compter que 8 heures de travail effectif	1f. 50c.
Journée d'un cheval avec conducteur . . .	5 00
Id. de deux chevaux.	9 00
Un cheval seul	4 50

Dans les applications que nous allons faire, nous n'emploierons pas toujours les chiffres que nous avons donnés comme travail utile dans le chapitre précédent, puisque nous les envisageons comme des limites plutôt que comme des moyennes applicables à des ouvriers ordinaires.

Il se présente deux manières d'évaluer le prix de revient de l'eau des irrigations. La première, qui est celle qui intéresse le plus les agriculteurs, consiste à déterminer combien coûtera par an l'irrigation d'un hectare de pré en arrosages d'été et en arrosages d'hiver; la seconde consiste à déterminer le prix auquel on obtient un mètre cube d'eau, c'est celle qui a été suivie par *de Gasparin*, dans son Cours d'Agriculture. Nous les adopterons toutes les deux.

Baquetage à bras. Un manœuvre produit dans sa journée 46,000 kilogrammètres. Supposons que l'eau soit élevée à $1^m,50$, qui est une hauteur à laquelle il peut arriver facilement, et nous aurons ainsi $30^{mmm},66$ d'eau par ouvrier employé, ce qui donne, la journée étant de 1f. 50c., 0f. 048c. par mètre cube d'eau. Si l'eau qu'on puise est près des terrains à arroser, il n'y a rien à ajouter à ce prix; mais, si elle en était un peu éloignée, il faudrait y ajouter la rente du capital employé au creusement d'un canal d'amenée, plus une certaine valeur pour l'eau perdue en route, en infiltration, eau qui n'est pas utilisée par l'arrosage.

Ecopes ordinaires. Un manœuvre avec cet outil produit, dans une journée, en travail utile, $48,000^{km}$. Supposons également la hauteur de $1^m,50$, ce sera 32 mètres cubes d'eau qu'il fournira par jour, ce qui porte le prix d'un mètre cube à 0f,047, prix sensiblement égal au précédent. On fera la

même remarque sur ce qu'il faudrait ajouter à ce prix, si l'eau était éloignée des terrains à irriguer.

Supposons maintenant que chaque arrosage absorbe 300 mètres cubes, et qu'on en donne 6 pendant l'été (nous adopterons toujours ces chiffres dans les calculs suivants), nous aurons pour le prix des arrosages d'été d'un hectare, faits avec des écopes ordinaires : $6 \times 300 \times 0{,}047 = 84^{f},60$.

Ecopes hollandaises. Travail utile d'un manœuvre en un jour : $120{,}000^{km}$; supposant même hauteur de $1^{m},50$, on a 80 mètres cubes d'eau. Prix du mètre cube d'eau : $0^{f},019$. Prix de l'irrigation d'été d'un hectare : $6 \times 300 \times 0{,}019 = 34^{f},60$.

Seaux à bascule. Travail utile d'un manœuvre : $60{,}000^{km}$; supposant une hauteur de 3 mètres, on a 20 mètres cubes d'eau. Prix du mètre cube d'eau : $0^{f},075$. Prix de l'irrigation d'été d'un hectare : $6 \times 300 \times 0{,}075 = 135^{f},20$.

Puits ordinaires avec corde et poulie. Travail utile d'un manœuvre : $70{,}000^{km}$; supposant une hauteur de 5 mètres, on a 14 mètres cubes d'eau. Prix du mètre cube d'eau : $0^{f},107$. Prix de l'irrigation d'été d'un hectare : $6 \times 300 \times 0{,}107 = 192^{f},60$.

Puits très-profond avec treuil à volant et manivelle. Travail utile d'un manœuvre : 17000^{km}.; supposant une hauteur de 10 mètres, on a 17 mètres cubes d'eau. Prix d'un mètre cube d'eau : $0^{f},088$. Prix de l'irrigation d'été d'un hectare : $6 \times 300 \times 0{,}088 = 158^{f},40$.

Le prix d'établissement des machines ci-dessus est trop faible pour qu'il change d'une manière sensible le prix de revient de l'eau.

Passons maintenant à d'autres machines plus compliquées, n'en prenant que quelques-unes comme exemples, car il serait trop long et tout-à-fait inutile d'établir un calcul pour chacune individuellement.

Noria mue par un cheval. Un cheval au pas et traînant horizontalement produit, dans une journée, un effet utile de 1166400^{km}. Supposant que la hauteur soit de 4 mètres, la noria n'utilisera que les 0,66 de la force appliquée, ce qui réduit l'effet utile à 769824^{km}, ou $192^{mmm},456$ d'eau. Le prix de la journée de cheval étant de 5 francs, le mètre cube d'eau reviendrait à $0^{f},026$. Prix de l'irrigation d'été d'un hectare : $6 \times 300 \times 0{,}026 = 46^{f},80$, à quoi il faut ajouter une

partie aliquote de l'intérêt du capital et des frais d'entretien de la noria. Il est évident que, si la noria travaillait toute l'année, ce prix à ajouter serait moindre que si elle ne travaillait que peu de jours. Supposons que, par une bonne répartition des eaux, la noria travaille cinq mois ou 150 jours, et que l'intérêt du capital et frais d'entretien puissent être portés à 100 francs, ou aura alors pour la totalité de l'eau élevée dans une année $192^{mmm} \times 150 = 28800$ mètres cubes, et chaque mètre coûterait, en sus du prix ci-dessus donné,

$$\frac{100^{f}.}{2800} = 0^{f}.0034$$

Le prix total du mètre cube serait donc de $0^{f},026 + 0^{f}0034 = 0^{f},0294$, et le prix d'irrigation d'un hectare de $6 \times 300 \times 0{,}0294 = 52^{f},92$.

On doit naturellement s'apercevoir que ces prix varient avec la profondeur à laquelle se trouve l'eau et avec la distance de la noria des terrains à irriguer. Aussi, le répétons-nous, ces calculs ne doivent servir que d'exemples, mais on doit les refaire pour chaque cas particulier.

Nous ne donnerons pas de calculs pour les machines mues par l'eau, car les éléments sur lesquels nous nous baserions sont de plus en plus variables.

Moulins à vent. Nous établissons ici le calcul du prix auquel revient l'eau élevée avec un moulin de *Durand*, qui est certainement préférable à tous les autres pour cet objet. Ce calcul n'est pas de nous, mais de M. *de Saint-Preuve* (1), et nous devons ajouter que, dans la pratique, il nous paraît un peu exagéré à l'avantage de la machine.

Prix d'achat sans voiles.	1240 fr.
Chevalet sur lequel porte le moulin. . .	50
Pompes.	200
Pose de la machine.	50
	1540

COUT DU TRAVAIL.

1° *Service pendant l'année entière.*

Produit en moyenne, $140^{mmm} \times 365 = 51100$ mètres cubes.

(1) Bulletin de la Société d'encouragement, Nov. 1845, p. 538.

Dépense.

Intérêt à 10 0/0.	154 f. 00 c.
Entretien et renouvellement des voiles. .	26 00
Entretien de la pompe.	12 00
Huile.	4 00
Salaire pour graissage, tension des voiles.	3 70
	199 f. 70 c.

2° *Service pendant six mois.*

Produit en moyenne, $\frac{51100}{2}$ = 25550 mètres cubes.

Dépense.

Intérêt à 10 0/0.	154 f. 00 c.
Entretien et renouvellement des voiles.	13 00
Entretien de la pompe.	6 00
Huile.	2 00
Salaire pour graissage, tension des voiles.	1 85
	176 f. 85 c.

Coût de chaque unité de travail ou de chaque mètre cube d'eau :

$\frac{199.70}{51100}$ = 0 f., 0039 le mètre cube, $\frac{176,85}{25550}$ = 0f.,0069 le mètre cube.

Remarquons qu'on prend des moyennes et qu'on ne compte pour rien l'établissement du puits sur lequel le moulin doit fonctionner. On fait aussi abstraction du prix de transport de la machine, qui se fabrique à Paris, et enfin on n'élève, pour ce prix, l'eau qu'à un mètre de hauteur, ce qui est bien peu.

Si on veut faire fonctionner le moulin pendant toute l'année, pour diminuer le prix de l'eau, il faudra l'accompagner d'un réservoir, ce qui augmentera le prix de revient de l'eau; nous ne pensons pas exagérer en disant que, par ce moyen, elle reviendra toujours au moins à 1 centime le mètre cube pour un mètre d'élévation, et beaucoup plus cher pour une élévation plus grande.

Voici le prix de revient d'un mètre cube d'eau des grands réservoirs destinés à l'approvisionnement des canaux :

	Contenance.	Prix du mètre cube d'eau.
Etang Berthonet,	1700000 m. c.	0f.,0062
Réservoirs de Grosbois,	8516000	0 0139
— Chazilly,	5281000	0 0310
— Cerey,	3741171	0 0318
— Pauthier,	1836436	0 0178
— Tillot,	598940	0 0377

Nous pensons qu'avec des réservoirs plus petits, établis dans des localités appropriées, on peut se procurer l'eau à bien meilleur marché. Citons un exemple.

Un étang, que nous avons établi dans des conditions ordinaires, nous a coûté :

En terrassements.	379 f.. 60
En bonde et déversoir.	198 50
Total	578 f., 10

dont la rente à 6 pour cent est de 34 fr. 69 c.

On tire de l'étang, à l'époque des arrosages, 11950 mètres cubes d'eau, ce qui en porte le prix de 1 mètre cube à 0f,0029.

Un des réservoirs les plus désavantageux qui se soient présentés à nous dans notre pratique, est l'étang des bois de la Caroline. Sa superficie est de 87,862 mètres carrés, et sa profondeur moyenne de 1m,67; sa contenance serait donc de 146,729 mètres cubes.

La dépense en terrassements était de. . . .	859 f.,50
— en bonde et déversoir..	295 f.,20
Total	1154 f.,70

Le mètre cube reviendrait donc à 0f,0078.

Nous pourrions multiplier ces exemples et montrer que jamais l'eau des réservoirs ne nous est revenue à un prix plus élevé que ce dernier, et qu'en moyenne elle nous revient à beaucoup meilleur marché; mais nous pensons avoir suffisamment prouvé qu'il n'est pas vrai que les grands réservoirs ci-dessus fournissent l'eau à meilleur compte que des réservoirs de dimensions plus restreintes, chose que nous aurions aussi pu démontrer *a priori*, en raison de la grande solidité et des travaux d'art extrêmement coûteux qu'exigent les immenses réservoirs que nous avons cités.

Prenant le prix de l'eau du réservoir de la Caroline comme prix moyen, le prix de l'irrigation d'été d'un hectare serait : $6 \times 300 \times 0{,}0078 = 14^{f},04$.

En prenant le prix de l'eau de l'étang de Sologne, que nous avons cité avant celui-ci, le prix de l'irrigation d'été d'un hectare serait : $6 \times 300 \times 0{,}0029 = 5{,}22$.

L'eau des grands canaux revient à des prix variables, suivant les difficultés d'exécution qu'ils ont présentés.

On verra dans le tableau B le prix de quelques canaux. Le canal de la Martesana en Lombardie la fournit à 12 francs par hectare. Celle du canal des Alpines coûte 42 francs. On doit ici observer que pour ce prix on livre une bien plus grande quantité d'eau que celle que nous avons employée dans le calcul ci-dessus, elle en est à peu près le quadruple, ce qui porterait le prix de l'eau du canal de la Martesana à 3 francs, et du canal des Alpines à $10^{f},5$ pour l'arrosage d'un hectare. Mais on doit observer ici que nous ne donnons que le prix de l'eau prise au canal, et que le consommateur doit, à ses frais, établir la prise d'eau et le module, et creuser un canal d'amenée, souvent fort long et nécessitant des ponceaux sous les routes et des syphons sous d'autres canaux ; ainsi, cette dépense se trouve presque toujours considérablement augmentée, moins pourtant pour une grande dérivation que pour une petite.

Nous ne pouvons pas fixer de chiffres pour le prix de l'eau qui provient des petites dérivations particulières, tout dépend alors des circonstances.

Tout ce que nous pourrions faire, ce serait de citer des exemples, mais nous nous contenterons de dire qu'il faut tenir compte de tout le capital dépensé et des frais annuels de réparation.

Nous ne chercherons pas non plus à établir le prix de revient de l'eau élevée au moyen des machines à vapeur, car, en ayant égard à ce que nous avons dit dans le chapitre précédent, on pourra facilement déterminer la quantité de houille brûlée pour obtenir un effet utile voulu, et d'après le coût de la machine des ouvriers, et des réparations, on pourra établir le calcul du prix de l'eau.

Nous dirons seulement que le travail des petites machines coûte plus cher que celui des grandes, et que nous ne pensons pas qu'on puisse appliquer d'une manière économique la va-

peur à élever de l'eau, hormis dans les grandes entreprises comme celle des rizières du midi (1).

Pour terminer ce chapitre, en nous résumant, nous dirons que suivant nous, en supposant que chacun des moyens de se procurer de l'eau se trouvât dans les meilleures conditions pour être utilement employé, nous les classerions d'après les avantages qu'ils présentent dans l'ordre suivant :

1° Réservoirs ;
2° Grands canaux d'arrosage ;
3° Petites dérivations particulières ;
4° Machines mues par l'eau ;
5° Machines mues par le vent ;
6° Machines mues par la vapeur ;
7° Machines mues par la force animale.

Nous avons terminé de traiter de l'approvisionnement de l'eau, et il ne nous reste plus à nous occuper que des eaux nuisibles et des moyens de s'en débarrasser ou de s'en défendre. Nous avons déjà abordé ce sujet en parlant de l'assainissement des prés, mais nous allons l'étudier d'une manière générale dans le Livre suivant, dernier de cet ouvrage.

(1) Nous sommes même persuadé qu'un canal dérivé du Rhône serait plus économique, à moins que les entraves administratives ne rendissent sa construction bien plus coûteuse que de besoin.

ZARAGOZA - GRANJA ESCUELA DE AGRICULTURA

LIVRE IV.

EAUX NUISIBLES.

PREMIÈRE PARTIE.

EAUX COURANTES.

Dans les plaines et dans les larges vallées où coulent les grands fleuves, le fond du lit du fleuve est ordinairement l'endroit le plus bas de la vallée ; mais souvent la surface de l'eau du fleuve est plus élevée que les terres qui sont adjacentes à celles des bords du fleuve.

BUFFON.

CHAPITRE PREMIER.

ENDIGUEMENT DES RIVIÈRES ET COURS D'EAU.

Nous réunissons dans ce chapitre tous les travaux à faire dans les rivières en vue de l'agriculture.

Les ingénieurs français ont plus spécialement étudié les rivières par rapport à la navigation, et ne se sont occupés de l'agriculture que d'une manière incidente. En Hollande on l'a moins négligé, mais c'est en Italie, où de riches campagnes bordent des fleuves qui sont peu ou point navigables, que les travaux des ingénieurs ont eu principalement l'agriculture pour but.

Quelquefois la navigation et l'agriculture ont des exigences différentes, aussi peut-il arriver que quelques-unes de nos idées sur l'endiguement des fleuves se trouvent en opposition avec celles émises par de savants ingénieurs. Nous n'avons pas à nous occuper de navigation ; aussi nous ne les discuterons pas ; mais, comme souvent l'ingénieur doit avoir en vue la navigation aussi bien que l'agriculture, nous conseillons nos lecteurs d'étudier la première dans les ouvrages

spéciaux, et particulièrement dans le Cours de Construction de l'inspecteur *Minard*, que nous avons déjà souvent cité.

Les cours d'eau peuvent nuire à l'agriculture de deux manières : par les dégradations qu'ils produisent dans les rives en emportant des terres cultivées d'une grande valeur, et par les inondations pendant les crues. De là une grande division qui sépare les travaux destinés à empêcher les dégradations des travaux destinés à limiter les débordements.

§ Ier. DÉFENSE DES RIVES.

Une rivière peut être encaissée dans des rives assez élevées pour ne jamais déborder, même dans les plus grandes crues, tel est le Tarn, qui, sur la plus grande partie de son cours, s'est creusé un lit qui a de 15 à 25 mètres de profondeur ; elle peut au contraire couler sur un lit plat et déborder à la moindre crue, tels sont le Pô et la Loire, sur la plus grande partie de leur cours inférieur. Généralement, à partir de leur source, les rivières sont encaissées entre des coteaux abruptes, et la surface submersible est d'une petite largeur, mais peu à peu la vallée s'élargit, et souvent des plaines immenses seraient inondées si on ne les défendait pas. Cette règle n'est pas complétement invariable ; ainsi le Pô est plus encaissé dans la partie extrême que dans la partie moyenne de son cours.

Certaines parties des rives d'une rivière présentent assez de consistance pour ne pas être attaquées même dans les plus grandes crues, du moins d'une manière sensible, car à la longue le roc lui-même cède à l'action des eaux courantes. La dégradation des rives dépend de plusieurs causes, dont nous allons énumérer les principales. La rapidité du cours est, toutes choses égales d'ailleurs, une grande cause de dégradations.

Les rivières qui, par leur position, sont sujettes à charrier des glaçons et de gros blocs de pierre, dégradent rapidement leurs rives, malgré leur consistance, à cause des chocs qui s'en suivent.

Lorsqu'une rivière coule sur un lit homogène, avec une pente uniforme, elle arrive à un régime stable, c'est-à-dire que son lit ne subit presque pas de changements. Il ne s'approfondit pas, et s'il s'élargit, ce n'est que lentement que les rives cèdent à l'action des eaux.

Il est probable qu'anciennement, lorsque de grands végétaux croissaient sur les rives, et lorsque les crues étaient moins fréquentes et moins intenses, car les eaux pluviales

étaient ralenties dans leur écoulement sur les coteaux par les forêts qui les couvraient, un grand nombre de nos rivières avaient un régime stable. Plusieurs considérations paraissent le prouver, nous citerons seulement *Jullien* l'apostat (1) qui parle de la Seine comme d'une rivière dont les eaux tranquilles et constamment claires avaient une profondeur toujours considérable.

A présent il en est tout autrement, et si l'Oise est arrivée à un régime à peu près stable, la plupart de nos fleuves, comme le Rhin, la Loire, la Durance, le Pô, etc., ont un lit extrêmement variable, soit par les rives, soit par le fond.

Les crues sont la principale cause de cette instabilité, et il paraît à peu près impossible de parvenir, par des ouvrages d'art, à établir un tel équilibre entre les forces du fleuve et la résistance des rives et du fond, qu'il s'en suive un régime stable (2). Cela a été bien compris par les ingénieurs italiens, qui ont acquis une très-grande expérience depuis plusieurs siècles qu'ils luttent avec le Pô, pour défendre les riches plaines de la Lombardie et du Piémont.

Les crues produisent l'érosion des rives et des mouvements de terres au fond. Si le terrain du lit est homogène, le lit s'élargit plutôt que de s'approfondir, si toutefois des circonstances locales ne produisent pas certains remous qui attaquent le fond de préférence aux rives. Dans une partie de l'Allier à fond homogène de sable, nous avons constaté, après une crue, un approfondissement de lit de plus de deux mètres.

Les berges, suivant leur inclinaison et suivant la nature des terrains qui les composent, peuvent être détériorées par le choc des vagues qui se forment dans les grandes rivières, comme dans les lacs; par les corps flottants et les glaces qui

(1) Misopogon.

(2) Concluons donc que le lit d'une rivière ne peut avoir de stabilité réelle, que lorsqu'il est capable d'écouler toutes les eaux des crues extraordinaires avec une vitesse égale à celle qui convient à la ténacité du sol de son fond et de ses rives; cette ténacité étant communément plus grande dans le fond que dans les berges, la section doit prendre à la longue beaucoup plus de largeur que de profondeur; que le point où le régime est exact, ayant commencé autrefois à l'embouchure, s'avance incessamment en remontant vers la source; qu'il y a des rivières plus formées à cet égard les unes que les autres, mais que le régime ne sera établi, sur tout leur cours, que dans un avenir encore fort éloigné; que plus le régime fait de progrès, plus les eaux des accrues extraordinaires ou périodiques mettent de temps à arriver vers l'embouchure; et moins on contraire pour se faire sentir au lieu où le régime cesse d'être observé, et enfin que, hors le temps de ses accrues extraordinaires, le lit peut subsister avec une vitesse moindre que celle du régime, sans se combler ni se rétrécir sensiblement, parce qu'alors ses eaux sont claires et ne charrient point le limon grossier; du moins, celui qui peut s'y déposer est enlevé à chaque accrue qui survient. » (*Dubuat*, Principes d'Hydraulique, T. I, p. 113.)

frottent et les choquent; par la gelée et le dégel, qui les olient; par les alternatives de sécheresse et d'humidité, qui désagrègent. Le fond est généralement plus solide, puisqu'il garanti par les herbes qui y croissent, par la presque hoontalité de sa surface et par les pierres détachées des rives, que le courant n'entraîne que lentement; mais les mêmes uses peuvent concourir à le dégrader, voire même les alterlatives de sécheresse et d'humidité, car le plus souvent une rande partie du fond reste à sec pendant l'étiage.

Lorsque les rivières gèlent pendant que les eaux sont basses, fond est souvent attaqué.

Beaucoup de rivières offrent une particularité qui peut surendre d'abord, c'est que la plaine qui forme le fond de la llée est plus élevée à côté du cours d'eau qu'à une certaine istance. On explique cette singularité en observant que, rs des débordements, la vitesse de l'eau qui s'épanche sur plaine diminuant, il se forme sur les berges un dépôt plus aissant des matières qu'elle entraîne en suspension.

Toutes les fois qu'il y a corrosion d'une des rives, il y a atrissement sur un point peu éloigné de la rive opposée. Un nde, produit par cette corrosion, rejette le thalweg sur la ve opposée, et une corrosion s'y fait, et ainsi de suite, de anière qu'il est fort rare qu'une rive soit corrodée sans avoir ue suite de plusieurs corrosions en aval, alternativement sur rive droite et sur la rive gauche (1).

Lorsque les rivières font des coudes, on trouve plus de proondeur sur la rive concave que sur la rive convexe. La preière se corrode ordinairement, tandis que la seconde s'atrrit. Les atterrissements sont souvent passagers; formés par ne crue, ils sont emportés par la crue suivante; c'est ce qui généralement lieu pour les rivières à fond de sable pur, mme l'Allier; souvent des atterrissements sont fortifiés par s plantes et arbrisseaux qui y croissent spontanément. Le hangement du thalweg peut alors devenir permanent.

Lorsqu'une concavité est corrodée, cet effet a lieu jusqu'à ce que le plus grand développement et l'élargissement de la rivière aient diminué assez la vitesse pour que les rives ne uissent plus être entamées.

Les sinuosités ainsi formées marchent lentement et paral-

(1) « Il est souvent arrivé que les ouvrages défensifs d'une rive étaient en quelque me agressifs pour la rive opposée vers laquelle ils dirigeaient le thalweg. » (*Sganzin*, urs de Construction, T. II, p. 18.)

lèlement à elles-mêmes vers l'aval. La cause en réside dans la résistance inégale des rives, ou, plus souvent encore, dans des obstacles peu étendus, mais qui dirigent différemment ou coupent les courants.

Les ingénieurs compétents ne sont pas d'accord sur l'origine des matériaux qui forment le lit des rivières. Les uns pensent qu'elles les reçoivent depuis leur source, et qu'elles ne font que les rouler et les façonner pendant leur cours; les autres croient qu'ils proviennent uniquement des berges dégradées. Les deux opinions nous paraissent également vraies, car les rivières étant un assemblage de ruisseaux, reçoivent des troubles et des matériaux sur tout leur cours, et car ces matériaux ne sortant pas de terre comme l'eau d'une source, il faut bien qu'un peu plus haut ou un peu plus bas, ils proviennent de la dégradation des berges, soit du cours d'eau principal, soit de ses affluents, grands ou petits.

Il est indubitable que les graviers, et à plus forte raison les sables ont une marche plus ou moins lente, mais progressive d'amont en aval dans le lit des rivières; mais il est aussi certain qu'en général les matériaux qui forment le lit vont diminuant de grosseur depuis la source, de manière que ce sont les plus ténus, les vases proprement dites, qui se déposent à l'embouchure. Si bien souvent cela ne se vérifie pas par l'observation, c'est que l'action des marées, qui se font sentir à une plus ou moins grande distance en remontant les fleuves, y charrie les galets de la mer, parfaitement reconnaissables avec un peu d'attention.

Le fond des fleuves se relève-t-il par ces matériaux que transportent et déposent les eaux? La réponse ne paraît pas douteuse, car il serait difficile d'admettre que tous ces matériaux arrivent en dernier lieu à l'embouchure pour augmenter le *delta*; mais on n'a pas d'observations directes et assez suivies pour le prouver, tandis que quelques observations de *Frizi* paraissent établir que si le lit du Pô s'élève en un endroit, pendant un certain laps de temps, il s'abaisse ensuite pour redevenir ce qu'il était d'abord.

Toutes les fois qu'une saillie ou qu'un renfoncement se présente, soit sur le fond, soit sur les rives, des tournoiements ont lieu, et des affouillements et des atterrissements s'en suivent. Les tourbillons qui se produisent peuvent être verticaux ou horizontaux. Les premiers se produisent dans les anses, dans les entrées des canaux, partout enfin où la rapidité de

l'eau est diminuée; ils sont cylindriques ou coniques, mais toujours l'effet de ce remous est un atterrissement dans la partie rentrante, car l'eau y dépose les troubles qu'elle charrie.

Les tourbillons à axe horizontal se forment en amont et en aval des obstacles naturels ou artificiels qui, entièrement plongés dans la rivière, font obstacle au courant avec leurs faces verticales. Lorsque, dans ce cas, le fond est affouillable, il se creuse; mais si l'obstacle est lourd et petit, il s'enfonce dans le fond, qui n'est que remué par l'eau.

Les érosions des rives marchent plus ou moins rapidement, suivant la force et la direction du courant, suivant aussi la ténacité des berges. L'inspecteur *Minard* a constaté que certaines rives de la Loire se corrodent de dix à douze mètres par an. Le Rhin corrode jusqu'à cent vingt mètres de rive par an, tandis que la Seine, près de Paris, n'en corrode que $0^m,50$ tout au plus.

Les corrosions peuvent enfin être produites par les affluents de deux manières : 1° Lorsqu'une rivière torrentielle entraîne dans le lit du fleuve des matériaux trop lourds pour qu'il puisse les déplacer, car alors un atterrissement indestructible se forme sur une rive, et le courant, porté sur la rive opposée, finit par l'attaquer; 2° lorsque la rivière affluente vient, par sa direction, à diminuer le courant de la rivière principale, car alors il se forme un atterrissement qui produit le même effet.

Passons, maintenant que nous avons vu les causes de dégradation des rives, aux moyens de les défendre.

Sur plusieurs rivières on cherche à le faire immédiatement; sur d'autres on abandonne aux chances des crues une bande de terrain et on ne défend que le reste. On agit de cette dernière manière pour les rivières très-variables. Les terres ainsi abandonnées au fleuve sont inondées pendant les crues et fertilisées par le limon qui s'y dépose; on les appelle *galeries* en Italie, et *segonneaux* sur le Rhône. Leur ensemble forme ce qu'on appelle le lit majeur de la rivière (1). Les propriétaires cherchent tous les moyens d'en consolider les berges, et sou-

(1) « Pour tirer de ces digues ou levées tout l'avantage qu'elles peuvent procurer, il est convenable de ne les pas faire immédiatement au bord des rivières, où il est à craindre que la rapidité du courant ne les attaque et ne les mine, mais à une distance de chaque rive, qui soit proportionnée à la largeur du lit.

« On pourrait fixer cette distance à la moitié de la largeur du lit, afin que quand les eaux de la rivière sortent du lit ordinaire, elles s'étendent dans un lit double, où la vitesse des bords devient beaucoup moindre; l'espace compris entre la rivière et ses digues ne serait pas perdu.... » (*Dubuat*, Principes d'Hydraulique, T. I, p. 194.

vent ils y réussissent. Du reste, comme ce que nous allons dire n'a pas rapport aux digues, on peut l'appliquer à la défense de toutes les berges sans distinction, qu'elles soient submersibles ou non par les grandes eaux.

Il faut aussi remarquer que les digues dont nous parlerons dans le paragraphe suivant sont de véritables rives artificielles qu'on donne au fleuve, et que l'on devra, au besoin, les défendre par les mêmes moyens que les rives naturelles.

Les ouvrages qu'on emploie à la défense des rives sont : les plantations, les enrochements, les fascinages, les revêtements, soit en perrés, soit en charpente, soit en prismes de béton, et enfin les murs en maçonnerie. On peut aussi défendre les rives en agissant sur le courant au moyen d'éperons et de tapis. La nature du terrain des rives, le régime de la rivière, et, plus encore, l'abondance et le prix des matériaux déterminent le choix de l'ingénieur pour l'un de ces moyens de défense. En Hollande on emploie les fascines et la terre grasse; sur le Rhin et le Pô les fascines et le gravier ; sur l'Elbe la charpente; et les enrochements en gros blocs dans les rivières torrentielles de l'Auvergne, des Pyrénées et du Dauphiné.

Les plantations se font en saules, aulnes et osiers, arbres qui viennent parfaitement sur les terrains sableux, lorsqu'ils sont recouverts par le limon qui est déposé par l'eau des rivières. Pour qu'on puisse avoir recours à ce moyen de consolidation des rives, il faut que celles ci aient déjà une inclinaison ou talus raisonnable et en rapport avec la consistance du terrain. Nous pensons que, dans aucun cas, il ne conviendrait d'essayer des plantations si le talus n'a pas pour le moins 2 de base pour 1 de hauteur. On plante les saules en quinconce, plutôt épais, à $0,^{m}60$ ou $0,^{m}70$ au plus l'un de l'autre. Si on les place à une plus grande distance, ou les épaissit dans les années suivantes, en faisant des boutures, ou, mieux encore, en ployant les branches pour les faire enraciner; on augmente ainsi le fourré obtenu et l'atterrissement qui en est la conséquence, et l'on parvient souvent, en quelques années, à réunir des îles aux rives. Ces fourrés de saules donnent un certain revenu, on, pour le moins, des branches pour revêtir en fascines d'autres parties qui demandent à être consolidées de cette dernière manière.

Il faut pourtant être bien averti que les plantations ne réussissent pas si le talus des rives ne se prolonge pas avec une inclinaison douce jusqu'à sa rencontre avec le fond de la rivière. Si le pied du talus n'était pas solide, il faudrait le renfoncer par un des autres moyens dont nous allons parler.

Les boutures de saules doivent avoir à peu près $0^{m},60$ de longueur et $0^{m},04$ à $0^{m},05$ de diamètre, et être enfoncées de $0^{m},25$ à $0^{m},30$. On protège quelquefois les jeunes plantations par de gros moellons qu'on place derrière chaque bouture, et qu'on enlève deux ou trois ans après; mais cela reviendrait fort cher en certaines localités, aussi y renonce-t-on souvent.

L'avantage de ces plantations est de rompre les courants, et de rendre l'eau presque stagnante, ce qui fait que le limon se dépose et qu'on produit des atterrissements rapides. Nous avons vu sur les bords de la Loire et de l'Allier de vastes étendues de terrain ainsi gagnées à la culture. Il est vrai, pourtant, de dire que les rives opposées, où l'on ne faisait pas de semblables travaux, étaient corrodées, et que le fleuve gagnait d'un côté ce qu'il perdait de l'autre. En général, il y a toujours, quoi que l'on fasse, corrosion des rives lorsque le lit est trop étroit, et elle ne cesse que lorsque l'élargissement est tel que, par la diminution de la vitesse de l'eau, il s'établit un équilibre entre son action destructive et la résistance des terres.

Les autres ouvrages de défense, dont nous avons à parler, sont plus compliqués et ont plus souvent pour but de défendre des rives déjà entamées.

Commençons par observer que la non-réussite de ces ouvrage a presque toujours pour cause leur isolement. En effet, la détérioration d'une rive dépend toujours d'une mauvaise direction des courants, qui provient ou de l'absence d'ouvrages en amont ou d'ouvrages mal établis. Dans l'état actuel de notre législation, et avec l'esprit d'individualisme qui anime les agriculteurs, on ne peut guère remédier à ce défaut. Ainsi, on peut dire que, généralement, un ouvrage de défense produit une corrosion sur la rive opposée, un peu en aval, et nécessite un second ouvrage qui, à son tour, donne lieu à un troisième, et ainsi de suite, et que le plus souvent, si les propriétaires avaient voulu ou pu s'entendre, on serait arrivé aux mêmes résultats avec une bien moindre dépense.

Les enrochements sont un puissant moyen de consolidation des rives entamées; on peut les faire même pendant les crues, si pourtant les berges ne sont pas inondées. Les blocs de pierre s'affaissent si le fond est affouillé à leur pied, mais le

travail n'est pas perdu, et il suffit de compléter l'enrochement sur la hauteur dont il est descendu.

Les terres et graviers qui se détachent des rives sont retenus dans les interstices, et bien souvent forment comme une sorte de maçonnerie, qui se consolide et résiste fort bien aux crues. On doit employer les blocs aussi gros qu'on le peut, mais toujours il faut qu'ils le soient assez pour ne pas être facilement déplacés par le courant. Nous avons vu quelquefois de forts piquets en quinconce entremêlés de pierres, qui produisaient un assez bon effet en permettant d'employer des blocs d'une moindre dimension. Nous avons vu dans les Hautes-Alpes des enrochements mixtes faits de la manière suivante : On place des arbres abattus le long de la rive avec le tronc engagé dans la terre et les branches tournées vers le courant, on jette dessus des blocs de pierre et des graviers qui tombent entre les branches et les troncs, ce qui fait un ensemble assez solide.

Là où la pierre est rare, on la remplace par des paniers remplis de graviers ou même de terre grasse (1), suivant les matériaux dont on dispose. Sur le Rhin on emploie, de préférence, les graviers, en Hollande la glaise, et en Lombardie, sur le Pô, l'un et l'autre. Ces paniers peuvent avoir des dimensions et des formes variables, ainsi les uns sont ronds et les autres prismatiques. Sur le Rhin, les paniers ont $0^m,80$ de diamètre et de 4 à 15 mètres de long ; en Lombardie on les fait ordinairement de $0^m,80$ de diamètre et 4 mètres seulement de longueur. On se sert de ces paniers comme de blocs de pierre, mais, comme ils sont moins anguleux, il faut donner plus de talus aux ouvrages de cette sorte qu'aux véritables enrochements. Sur le Rhin on couvre les paniers échoués par des blocs de pierre de $0^m,06$ à $0^m,05$ cubes. Le talus qu'on donne à ces ouvrages est généralement de 3 de base pour 2 de hauteur. Cette proportion diminue à cause du tassement.

Dans le bas Pô, où la pierre est très-rare, on emploie exclusivement ces paniers qu'on nomme *fascinoni* ou grosses fascines.

Les fascinages sont usités dans les pays où les matériaux manquent, et où les marécages rendent communs les bois de petite dimension assez pliants pour en faire des fascines. On fait celles-ci avec des branches de saule, de hêtre, de charme ou de bouleau, liées par trois ou quatre harts.

(1) Une forte digue en argile a été construite sur la Meuse, du côté de Delft. Voyez *Van-Bleiswik*, Dissertations sur les digues.

On les place suivant différentes dispositions, pour en former des lits qui sont fixés avec des piquets. Souvent on fait les piquets qui dépassent le lit qu'ils sont destinés à retenir, ou les entrelace avec des clayons ou longues et minces branches de hêtre, de charme ou de chêne. On peut alors charger facilement les lits des facines avec des terres, des pierres, des graviers, des sables ou des moellons, car les matières comprises entre les clayonnages les retiennent très-bien malgré le courant.

Voici comment l'inspecteur *Minard* décrit les fascinages en usage en Hollande et en Flandre :

« Dans ces pays pour défendre une rive par des fascinages, où la corrosion n'a lieu qu'au dessus de l'étiage et que le talus naturel dans l'eau puisse soutenir l'ouvrage, on fait un revêtement. Il se compose de plusieurs lits de fascines présentant leur tête à l'eau, et leurs branches du côté des terres. Les grandes fascines de Hollande liées à 3 harts ont $3^m,50$ de longueur, $0^m,20$ de diamètre au milieu. Chaque lit a $0^m,15$ à $0^m,20$ d'épaisseur ; il est posé en retraite sur le lit inférieur, on l'y fixe par 3 rangs de piquets de $1^m,20$ de longueur, dont les têtes saillantes de $0^m,18$ à $0^m,20$ sont enlacées par des clayons. Chaque lit est arrosé au niveau des clayons avec du gravier, sable, graviers, etc., bien damés. Ces revêtements présentent des talus ou gradins de 1,1/2 ou 1/3 de base pour 1 de hauteur.

« Si la rive est attaquée en dessous des basses eaux, on fait ce qu'on appelle un fascinage en barbe. On prend de longs cylindres ou saucissons de $0^m,15$ de diamètre, formés de branchages liés fortement de $0^m,50$ en $0^m,50$ avec de l'osier. On en forme un grillage en posant d'abord des rangs perpendiculaires à la rive, espacés de 2 mètres ; on les recouvre par d'autres parallèles aux rives, et espacés de $0^m,50$ du côté de l'eau, et beaucoup moins du côté des bords ; on lie le tout fortement ; on place les extrémités du premier rang dans des tranchées faites dans la berge et descendues jusqu'à l'étiage. On les fixe par de forts piquets.

« Sur ce grillage on pose un massif de six à sept lits de fascines, dont toutes les fascines extrêmes présentent leurs branches du côté de l'eau. Les autres sont placées alternativement dans deux sens perpendiculaires et liées par des piquets ; le lit supérieur a ses piquets enlacés par des clayons, et dans les intervalles on jette des terres et des pierres.

Tout le système qui a été construit sur l'eau et dont une extrémité porte sur la rive dans les tranchées, s'enfonce de l'autre côté sous le poids des terres, et va s'appliquer sur le lit. Si un seul massif de fascinage ne suffit pas pour dépasser les basses eaux, on en échoue un second en retraite sur le premier. Lorsqu'on a atteint à l'étiage, on construit à sec un revêtement en fascines, comme il a été dit plus haut. »

Dans d'autres localités on donne d'autres dispositions aux fascinages, et on comprend qu'on peut les varier de plusieurs manières, mais toujours on procède par échouage lorsqu'on doit établir l'ouvrage dans l'eau, et par revêtement au-dessus de l'étiage. Sur le Rhin les fascines sont plus grandes.

Ce système de défense n'a pas généralement une grande durée, à moins que des atterrissements ne viennent le consolider ; mais en résumé, il coûte peu et est souvent le seul qu'on puisse employer en certaines localités, faute de matériaux plus résistants.

C'est ici que nous devons parler des clayonnages verticaux ou inclinés, qui nous ont réussi pour la défense des rives de petites rivières encaissées. Nous avons fait enfoncer à la masse des pieux espacés de $0^m,80$ à peu près, suivant la direction primitive de la berge corrodée, et nous avons établi un clayonnage avec des branches de chêne ou de hêtre. Sur le derrière, entre le clayonnage et la berge, nous avons rempli l'espace vide de pierres et de gazons bien pilonnés ; et nous avons planté des fortes branches de saules que nous avons étêtées dès la troisième année. Ces ouvrages économiques nous ont bien réussi lorsque le fond du ruisseau n'était point affouillable. Lorsque le fond était meuble, nous avons, avec réussite, établi de semblables clayonnages en défendant leur pied par des enrochements.

Un système semblable de clayonnages, mais combiné avec des enrochements, est pratiqué très en grand et avec succès pour la défense des rives de la Garonne. On peut consulter à ce sujet un mémoire remarquable sous tous les points de vue, publié par l'ingénieur *Baumgarten*, dans les Annales des ponts et chaussées de 1848.

Pour les petites rivières et les ruisseaux, lorsque les berges sont convenablement inclinées, un simple revêtement en gazon suffit souvent pour les consolider. Si on craignait de voir emporter les gazons par une crue avant leur complet enracinement, il faudrait les fixer avec des petits piquets à crochets de 30 à 40 centimètres de longueur.

Nous avons vu de semblables revêtements réussir sur les bords même de la Loire. On doit, si on fait ce travail en été, arroser deux ou trois fois pour faciliter la reprise du gazon. Nous recommandons beaucoup ces ouvrages peu coûteux et qui permettent, en même temps, les plantations de saules.

Les revêtements en perrées ne sont praticables que lorsque les rives ont un talus prononcé. Si elles étaient à pic, il faudrait les couper en talus, en reculant leur crête, ou avancer leur pied par des remblais.

Les perrés ne sont pas, à proprement dire, des ouvrages de défense. On ne doit les considérer que comme un moyen de soutenir les talus des berges. Il ne convient de les établir qu'au-dessus de l'étiage, et la partie constamment immergée devrait toujours être défendue par des enrochements bétonnés ou à pierres perdues. On peut fonder les perrés sur ces enrochements lorsque le terrain est solide, mais, dans le cas contraire, il devient nécessaire de les soutenir par une file de pieux liernés, ou même par deux rangs de pieux avec moises en travers, entre lesquels on place des moellons en enrochement.

Ces charpentes doivent être placées toujours au-dessous de l'étiage, en vue de leur conservation.

On donne d'ordinaire aux perrés des talus de 1 à 2 de base pour 1 de hauteur. Il semble que les talus doux sont préférables, car, s'ils permettent à la vague de s'élever avec plus de facilité vers le sommet, ils résistent mieux aux débâcles, aux glaçons et à l'abaissement subit des crues.

L'épaisseur des perrés varie selon la pierre dont on dispose. On ne devrait jamais la faire moindre de $0^m,20$ au sommet, et lui donner une augmentation de $0^m,05$ par chaque mètre d'élévation.

Ordinairement on place les perrés par lits incertains, mais nous avons vu quelquefois employer, de distance en distance, des chaînes verticales en gros libages. On place les pierres sur lit de sable ou de terre bien dressé, mais plus souvent on leur fait une forme d'éclats de pierre, qui n'éprouve ni gonflement ni retraite par l'humidité.

La surface des perrés doit être aussi unie que possible, car les inégalités favorisent les dégradations.

Nous avons vu faire, sur des petits ruisseaux, des perrés en briques de champ, posées sur forme de sable, qui ont fort bien réussi.

Quelquefois les perrés sont maçonnés avec du mortier de chaux et sable, ils sont bien plus chers et ne sont pas beaucoup plus résistants. Dans ce cas il faut laisser des ouvertures assez fréquentes, comme dans les murs de soutènement, pour que les terres qui sont en arrière puissent s'écouler.

Les revêtements en charpente sont un excellent moyen de défendre les rives, mais le prix, tous les jours plus élevé, du bon bois, et le peu de durée du bois alternativement mouillé et desséché, font qu'on y a rarement recours, particulièrement en France, où le bois de charpente commence à être fort rare.

On les fait avec des pieux droits ou inclinés, plus ou moins rapprochés, suivant leur équarissage, qu'on enfonce plus ou moins avec un mouton, suivant la nature du fond ; une fiche de $1^m,20$ à $1^m,50$ paraît être pour le moins nécessaire. On les coiffe ensuite d'un chapeau et on place derrière, du côté des terres, des madriers en travers pour les retenir. Il faut dans ces ouvrages éviter, autant que possible, l'emploi du fer qui se rouille et se détériore rapidement.

Nous ne citerons que pour mémoire les prismes triangulaires en béton, dont on dit (1) qu'on a fait des revêtements de talus à 45°, car nous n'avons jamais vu d'ouvrages semblables.

Les murs en maçonnerie, verticaux ou avec retrait, sont employés comme digues et comme soutènement des rives. Nous citerons, comme exemple, ceux qui sont établis près de Gênes, sur les rives de la Polcevera, torrent impétueux qui roule des pierres de $0^m,15$ à $0^m,20$ cubes. Les murs faits avec les pierres qu'on ramasse dans le lit même du torrent et avec de la chaux grasse, résistent fort bien aux crues les plus impétueuses ; mais la plus grande partie de l'année ils sont découverts à l'air. Le lit du torrent étant en pierres mélangées d'un peu de sable fin, on ne leur donne que $1^m,50$ à 2 mètres de fondation sur empattement, et comme le lit s'élève mais ne s'affouille jamais considérablement, ces murs ne pèchent presque jamais par leurs fondations. Leur épaisseur varie entre $0^m,80$ et $1^m,50$; mais leur élévation, au-dessus du fond de la rivière, ne dépasse que rarement $2^m,50$ à 3 mètres.

Nous avons maintenant à parler des éperons, ouvrages sur l'utilité desquels les ingénieurs ne sont pas d'accord, ni en

(1) Souvenirs polytechniques par *Gowry*.

rance ni en Italie. *Minard* (1), parlant spécialement en vue de la navigation, dit : « les bons effets des éperons sont plus que hasardés. » *Michela* (2), l'un des ingénieurs les plus distingués du Piémont, les conseille, au contraire, de préférence à tous les autres ouvrages. *Navier* (3), de son côté, dit : « Il faut éviter, en général, les constructions connues sous le nom *d'épis*, dirigées transversalement sur le fil de l'eau, et qui tendent à en changer brusquement la direction. On peut seulement employer quelquefois des épis à tête noyée, pour renforcer une berge sur laquelle le courant paraît se diriger » (4).

Voyez pour la forme et la disposition des éperons ou épis, les figures 255, 257, 298, 301, etc.

Voyons quels sont les effets des éperons. D'abord ils rétrécissent le débouché, et augmentent la vitesse, ce qui peut, en certains cas, produire un abaissement du lit au milieu de la rivière. Ils produisent gonflement et tournoiements à l'amont, dépression et tournoiements à l'aval. Il se forme presque toujours des atterrissements vers la base de l'éperon, mais il y a également un affouillement à sa tête qui en entraîne bien des fois la ruine (5).

On a fait des éperons dont la crête à la tête dépassait l'étiage, et qui se reunissaient aux berges avec une pente douce ; on pense aujourd'hui qu'il convient mieux de les faire entièrement submersibles ; ce ne sont plus que des barrages à déversoir incomplets

La direction préférable est celle perpendiculaire au courant.

(1) Cours de Construction, p. 68.
(2) Sulle colmate Memoria, p. 12.
(3) Résumé des leçons, etc., T. II, p. 119.
(4) « Cependant, s'il était question de construire quelque éperon, je voudrais premièrement qu'il fût bien appuyé dans la rive, et ensuite qu'il y fît, depuis la partie inférieure, un angle demi-droit, et finalement, que depuis la tête il s'inclinât vers la pointe, et qu'ensuite il allât avec ses deux flancs rencontrer obliquement le fond de la rivière au-dessus et au-dessous. Mais, même de cette manière, on ne pourrait jamais empêcher que l'eau frappant impétueusement dans les angles et dans les pointes, et se lançant en diverses manières, ne formât des gouffres qui, peu à peu, affaiblissent et enfin détruisent tout l'éperon. J'ai vu des tourbillons très-grands dans le Danube, dans l'Adige et dans d'autres rivières, dans des endroits où les remparts et les rives étaient heurtés de front avec la plus grande force. Il m'est toujours arrivé de trouver des gouffres et des tournants d'eau aux environs des éperons les mieux faits. » (*Frisi*, Traité des Rivières, p. 175.)
(5) « Un premier inconvénient des épis en général, est de dévier le thalweg et de l'infléchir sur la rive opposée, à moins qu'on n'établisse sur celle-ci un épis symétrique : à défaut de cette précaution, le courant, après avoir choqué la rive opposée, viendrait frapper la rive dont il aurait été détourné, et à l'aval de l'épi ; ce qui nécessiterait en ce point un second ouvrage du même genre. » (*Sganzin*, Cours de Construction, T. II, p. 21.)

Leur longueur ou saillie dépend des affouillements vers la tête. Sur le Rhin la longueur de 50m donne un affouillement de 12 à 15 mètres.

Généralement un éperon protège, en amont et en aval, une longueur de berge double et triple de sa saillie. On voit qu'à cause des difficultés de construction, les épis peuvent devenir plus coûteux que la défense directe des rives par des digues continues. On ne les emploie, le plus souvent, que lorsqu'on veut changer la direction du thalweg.

On fait des épis d'un moindre relief sur le Rhin, qu'on nomme tapis enrochés; on peut en voir la description dans *Minard*, Cours de Construction, et dans un Mémoire de l'ingénieur *Defontaine*, dans les Annales des ponts-et-chaussées 1833.

Les épis peuvent être établis avec des matériaux et des constructions différentes, suivant les circonstances. L'ingénieur *Laval* en a fait pour le redressement de la Midouze dans les Landes, f. 217, avec des simples tiges d'arbre, dont les racines étaient prises dans les berges et les branches entrelacées avec des piquets fichés dans le lit. Les piquets avec clayonnages simples sont aussi usés dans la même localité. D'autres fois on établit deux rangées de piquets avec clayonnages qu'on remplit de gravier.

En Italie, où on les appelle *pennelli*, sur le Pô, on les fait avec des paniers ou saucissons de graviers reliés par des piquets. En Hollande et sur le Rhin, avec des fascines et du gravier ou de la terre grasse.

On pourrait en faire également en enrochement et en maçonnerie, mais ils deviendraient, en général, fort coûteux. Dans l'établissement des éperons on doit avoir en vue de fortifier principalement leur tête et leur enracinement dans les berges. Souvent sur le Rhin on fait la tête insubmersible; nous ne savons pas s'il y a un grand avantage à opérer ainsi.

Nous terminerons ce que nous avons à dire sur la défense des rives, en observant que quelquefois on obtient ce but en régularisant le cours de la rivière, c'est-à-dire en lui donnant une largeur uniforme, et proportionnée à son débit et à ses pentes; en établissant les berges bien parallèles, en adoucissant les coudes et, si on ne le peut, en donnant sur ces points une plus grande largeur au lit; en empêchant enfin l'établissement d'ouvrages qui pourraient troubler le régime de la rivière.

Quant aux redressements, ils ont réussi quelquefois, mais ils ont bien plus souvent manqué leur but. *Navier* dit (1): « C'est à tort, en général, que l'on croit fixer le cours d'un fleuve qui attaque fortement ses rives, en redressant son lit: le résultat de cette opération est d'augmenter la vitesse, et par conséquent la force avec laquelle le terrain peut être emporté. »

Une étude longue et approfondie de la rivière est nécessaire, avant de se décider sur les ouvrages de consolidation des rives qu'on doit choisir. Il faudra en avoir les plans, les profils, la surface occupée par les basses eaux, les eaux moyennes et les crues, des jaugeages exacts, etc., toutes opérations délicates et qui méritent toute l'attention de l'ingénieur. Nous citerons comme exemples d'une étude consciencieuse d'une rivière, les deux mémoires dont nous avons déjà parlé, des ingénieurs *Defontaines* et *Baumgarten*, le premier sur le Rhin et le second sur la Garonne.

§ II. LIMITATION DES INONDATIONS.

Les inondations ont lieu pendant les crues; or donc, le meilleur moyen d'obvier aux inondations, serait de rendre les crues moins fréquentes et moins fortes.

Beaucoup d'ingénieurs et de savants pensent que le déboisement des montagnes est la cause de la fréquence des crues et des débordements des rivières, d'autres le nient (2). Il paraît pourtant évident que les averses qui tombent sur des penchants de montagnes dénudées, doivent se réunir plus rapidement dans les vallées que si elles tombaient sur des surfaces herbeuses et couvertes de forêts. Dans le premier cas, l'eau coule sur la surface sans la pénétrer; dans le second, elle s'infiltre dans la terre pour alimenter des sources, qui à leur tour ali-

(1) Résumé des leçons, etc., p. 119.

(2) On peut citer parmi ces derniers, *Blamont*, de l'Institut, Du Déboisement des montagnes, et *Dupuit*, Études théoriques et pratiques sur les eaux courantes, et parmi les premiers, *Héricart de Thury*, qui s'exprime ainsi dans sa Pyronomographie du département des Hautes-Alpes:

« Dans ce magnifique bassin (celui d'Embrun), la nature avait tout prodigué. Les habitants ont joui avec glément de ses faveurs; ils se sont endormis au milieu de ses dons. Ingrats! ils ont porté inconsidérément la hache et le feu dans les forêts qui ombrageaient les montagnes escarpées, la source ignorée de leurs richesses. Bientôt ces pics décharnés ont été ravagés par les eaux. Les torrents se sont gonflés; ils sont tombés avec fureur sur les plaines; ils ont coupé, arraché et miné leurs bases! Des terrains immenses ont été enlevés, d'autres ont été engravés; ceux-ci sont recouverts de rochers, ceux-là n'offrent plus qu'un gravier stérile. Les ravages continuent; on n'oppose aucun obstacle à leur furie. Bientôt *Crevoux*, *Boscodon*, *Savines* et tous les torrents auront anéanti ce beau bassin qui, naguère, pouvait être comparé à tout ce que les plus riches contrées possèdent de plus fertile et de mieux cultivé! »

mentent les rivières et rendent leur régime bien plus régulier en diminuant la différence entre les grandes eaux qui sont moins abondantes et l'étiage qui est d'un plus grand debit.

Du reste, ce fait que la dénudation des montagnes rend les débordements plus fréquents et les crues plus dangereuses, paraît démontré par des observations directes faites en Amérique, par *Boussingault* (1).

La conséquence qu'on croit naturellement tirer de ceci, c'est qu'il faut reboiser les flancs des montagnes pour diminuer les ravages des crues. Voilà qui est bien, certainement en théorie, mais en pratique la chose est-elle faisable? Nous n'hésitons pas pour répondre, non.

En effet, les surfaces à reboiser se comptent par millions d'hectares, et les dépenses seraient énormes. Qui les ferait? l'Etat? On peut bien dire que cela lui est littéralement impossible. Les particuliers? Il faudrait pour les y décider qu'il fût démontré, chose dont on est loin, que les reboisements leur rendraient plus que les pacages actuels. Et encore, en seraient-ils convaincus, qu'ils reculeraient pour deux causes sans réplique: la première est le manque de fonds pour exécuter les labours, semis, plantations, fossés et haies de défenses nécessaires. Or, comme ils ne peuvent les emprunter qu'en payant 7, 8 et même 9 pour 100, il faudrait que les bois fussent d'un bien bon produit pour payer le capital et les intérêts accumulés pendant les nombreuses années qu'il faut pour qu'ils deviennent exploitables.

La seconde cause est la grande division de la propriété en France, car les forêts ne conviennent qu'aux très-riches propriétaires, qui peuvent, en les mettant en coupes réglées, se faire un rendement annuel sur lequel ils peuvent régler leurs dépenses. Mais, est-il possible qu'un petit propriétaire ne touche son revenu que tous les 15, les 20 et même les 80 ans? Ainsi donc, plus la subdivision de la propriété fera du territoire de la France une réunion de parcelles microscopiques, plus la culture forestière disparaîtra devant la bêche et la charrue. Du reste, depuis plusieurs années, on voit que les bois blancs et résineux d'une rapide venue tendent à se substituer au bois de chêne et autres.

Les sociétés savantes donneront des prix pour encourager les reboisements; des hommes savants et de cœur se dévoueront à promulguer les bonnes méthodes, mais les choses n'en

(1) Economie rurale, T. II, p. 701 et suiv.

suivront pas moins leur cours, et pour un hectare de terre semé en bois, il y en aura deux de défrichés. Il faut en prendre son parti, et voilà tout (1).

L'idée de changer en bons pâturages, au moyen des irrigations, les coteaux actuellement dénudés de toute végétation, nous paraît bien plus réalisable, car, si on dépense à peu près autant, ou un peu plus, suivant les circonstances, que pour reboiser, on obtient une rente dès la deuxième année, et il suffira de montrer par l'expérience aux propriétaires qu'il y va de leur avantage à faire ce travail, pour qu'ils l'entreprennent.

L'ingénieur en chef *Barré de Saint-Venant* a proposé, en deux brochures publiées dernièrement (2), de diminuer l'intensité des crues, en retenant les eaux pluviales sur les flancs des coteaux par des fossés de niveau ou légèrement en pente, comme ceux que nous avons décrits au Livre II, Chapitre Ier, en parlant de l'humectation par les eaux pluviales. La seule différence consiste en ce qu'il leur donne une pente légère.

Nous approuvons en tous points, techniquement parlant, les vues de cet ingénieur, mais malheureusement nous ne voyons pas de moyens pour les mettre en pratique d'une manière assez générale, pour que les effets en soient tant soit peu sensibles sur les crues des rivières. Nous verrons dans le chapitre suivant comment le même moyen peut être très-puissant pour arrêter les ravages des torrents dans les pays de montagne, et comment alors il est praticable, parce que, presque toujours, celui qui en profite est celui qui doit en supporter les frais. Il nous paraît, au contraire, fort difficile de faire faire aux propriétaires de la Haute-Loire des travaux qui devront en grande partie profiter aux propriétaires des alentours de Tours ou de Nantes.

Passons donc aux moyens directs de se garantir des débordements, sans nous arrêter plus longtemps à des travaux que nous appellerions volontiers des mesures préventives.

Commençons par citer textuellement quelques paroles du

(1) « Lorsqu'il s'agit de déterminer de grandes améliorations, qui doivent s'étendre à toute la surface d'un pays, il faut qu'elles soient faciles à entreprendre, faciles à mettre à exécution, qu'elles demandent peu d'avance de temps et d'argent, qu'elles se trouvent par là à la portée du grand nombre, et qu'elles s'écartent le moins possible des habitudes anciennes de la population. » (*Puvis*, De l'agriculture du Gâtinais, de la Sologne et du Berry, p. 103.)

(2) Mémoire sur la dérivation des eaux pluviales qui entraînent les terres des sols en pente et qui inondent les vallées, et examen de la question du reboisement.

savant *Navier* (1), dont nous tirerons ensuite des conséquences importantes.

« Un volume d'eau considérable étant versé dans la partie supérieure du lit d'un fleuve, prend, en s'écoulant dans chaque partie du cours, une vitesse principalement déterminée par la pente et par la figure de la section. Dans les parties supérieures, les crues s'élèvent à une grande hauteur; le courant est rapide, et la crue dure plus longtemps. Dans les parties inférieures, la crue s'élève moins haut, le courant a une vitesse moindre, et cette crue dure plus longtemps. Ces modifications sont le résultat de la disposition générale du lit; et si un volume d'eau donné, introduit vers la source, y produit un certain excédant de dépense, il s'ensuivra, à une époque subséquente, un excédant de dépense déterminé dans chaque point donné du cours du fleuve.

» Ainsi, sur un point donné du cours d'un fleuve, tel que l'emplacement d'une ville, en supposant une crue qui s'élève à une hauteur donnée, la dépense du fleuve est alors déterminée, et il n'y a aucun moyen de la changer. Quand la dépense d'un courant est donnée, on ne peut faire abaisser la surface qu'en augmentant la longueur de la section, ou en augmentant la pente. Il faut donc, pour diminuer la hauteur des crues, élargir le lit, creuser de nouveaux bras, supprimer des barrages, s'il en existait en aval de la ville, ou construire des barrages en amont. Ces moyens, à l'exception de la suppression des barrages, sont en général très-peu efficaces ou sujets à de grands inconvénients. »

Nous admettons en tous points ces considérations de l'illustre ingénieur, et nous pensons avec lui que tous les travaux dont il parle sont des palliatifs fort coûteux et dont le résultat est généralement à peu près nul. Il ne reste donc plus pour défendre les terres des inondations que les digues proprement dites.

La question de l'endiguement des rivières a été sérieusement discutée dans ces derniers temps par les savants et les agronomes. On a parlé pour et contre, et, comme cela arrive toujours, on n'a pas pu se mettre d'accord.

Est-ce vrai que les digues tendent à faire élever le fond des rivières et rendent plus dangereuses ensuite les crues? Est-ce vrai, comme le prétend un savant agronome (2), que l'on aurait plus d'avantage à laisser déborder librement les rivières qu'à les maintenir dans un lit resserré, car le limon qu'elles laissent sur les terres paierait, et au-delà, la prime d'assurance pour les débordements au temps des récoltes.

(1) Résumé des leçons, etc., T. II, p. 120.
(2) Voyez *Puvis*, De l'Endiguement des fleuves et des rivières, et *De Gasparin*, Cours d'agriculture.

Nous ne le croyons pas, du moins, d'une manière tout-à-fait générale, et nous pensons que l'endiguement est toujours utile, et que tout ce qu'on a dit contre son usage ne peut tendre qu'à prouver l'utilité qu'il y aurait à faire en même temps du limonage de la manière dont nous l'avons expliqué plus haut.

Il est pourtant vrai que les dangers des inondations sont bien moins graves pour les prairies naturelles que pour les terres labourées, et qu'il arrive souvent que les frais d'endiguement dépasseraient le bénéfice qu'on pourrait en retirer. Les prés ne craignent les inondations que lorsque les foins étant hauts, les eaux troubles viennent les rouiller. C'est là la cause qui fait que nous conseillons rarement l'établissement de digues pour la défense des prés, à moins que la rivière ne charrie de gros sables et du gravier qui gâteraient la sole en s'y déposant.

On peut avoir à se défendre des débordements d'un ruisseau, comme de ceux d'un grand fleuve; l'importance des ouvrages peut donc varier beaucoup, mais l'ensemble des dispositions reste à peu près le même.

Les digues sont de véritables berges artificielles qu'on élève pour encaisser le lit d'un cours d'eau. Il faut donc, avant d'entreprendre des travaux de ce genre, se rendre approximativement compte de son débit pendant les plus grandes crues.

Lorsque par des digues on resserre son lit, le cours d'eau prend une plus grande vitesse et monte à un niveau plus haut qu'il ne l'aurait fait s'il avait pu librement s'épancher dans la vallée.

De là le système adopté pour la Loire, pour le Pô et pour d'autres grandes rivières, qui consiste à établir les digues insubmersibles à une certaine distance des bords de la rivière, de manière que l'on abandonne au fleuve une bande de terrains cultivés de chaque côté. Ces terrains sont très-fertiles, à cause du limon qui s'y dépose, mais ils sont sujets aux débordements et aux ensablements.

Pour les petits cours d'eau, on peut se dispenser de recnler

ainsi les digues, mais il faut alors leur donner plus d'élévation pour les rendre insubmersibles.

Les dimensions des digues dépendent de la nature des terres qu'on y emploie et du régime de la rivière qu'elles doivent maintenir. Pour les grandes rivières, on leur donne une largeur de couronnement de 6 à 10 mètres, suivant les circonstances, et pour les ruisseaux ou petites rivières, des largeurs beaucoup moindres; souvent $1^m,80$ à 1 mètre, et même moins. Les talus sont ordinairement de 1 1/2 à 2 de base pour 1 de hauteur.

On les établit en sable ou en terre prise du côté du cours d'eau. Lorsque les digues sont très-perméables et qu'elles doivent maintenir une grande hauteur d'eau, il convient de les renforcer par des banquettes du côté des terres. On ne plante pas d'arbres sur les digues, car leur solidité en serait diminuée; mais on peut faire sur le talus du côté de l'eau des plantations de petits osiers. Il convient de les semer en herbe ou de les gazonner. On peut y établir des perrés et des soutènements en charpente, lorsqu'elles sont sujettes au choc du courant. On doit éviter d'établir un contre-fossé du côté des terres, et lorsqu'il est nécessaire pour l'écoulement des eaux pluviales, on doit le tenir au moins à 10 mètres de distance du pied de la digue.

La direction des digues doit être, autant que possible, parallèle à celle des rives naturelles de la rivière, les coudes seront adoucis par des courbes à grands rayons, et les alignements droits préférés à tous les autres. Pour les petits cours d'eau, on peut faire des digues à parois verticales ou peu inclinées avec des piquets et clayonnages doubles, entre lesquels on tasse les terres. Nous en avons fait avec des talus de 1/3 de base pour 1 de hauteur, avec des gazons mis à plat, qui ont parfaitement résisté. En faisant les piquets avec des branches de saule vertes, on obtient une rangée d'arbres qui les maintiennent et les consolident. Les gazonnements ordinaires, ou avec des petits piquets à crochet, sont également très-propres à défendre les digues en terre des corrosions de l'eau (1). Il y a certaines terres où ils deviennent indispensables, car la seule eau de pluie sillonne les talus et les dégrade rapidement.

La surface du couronnement doit être inclinée vers la rivière, pour que l'eau pluviale ne puisse pas s'y arrêter et détremper les terres.

(1) *Polonceau* les a employés avec avantage.

On a fait également des digues en fascines et gravier, dans les cas où elles devaient présenter une plus grande résistance, mais elles ne sont pas d'une grande durée.

Enfin, nous avons déjà parlé des digues en maçonnerie employées sur les rives des torrents de la Ligurie.

L'endiguement d'une rivière entraîne avec lui, comme conséquence forcée, l'endiguement d'une certaine partie du cours inférieur de ses affluents.

En établissant une digue, on doit avoir principalement en vue d'établir bien solidement sa tête d'amont, de manière que la digue ne puisse pas être tournée par l'eau, ce qui entraînerait nécessairement sa ruine. On enracine la digue dans ce qui est dans des terrains solides, on lui donne plus d'épaisseur à son commencement, et on le défend par des perrés ou d'autres ouvrages d'art.

Les digues et les travaux de défense du Pô sont très-remarquables par leur importance et par les difficultés sans nombre qu'ils présentent; aussi nous donnons à la note *p* un résumé d'un mémoire remarquable de l'ingénieur *A. Dumont* sur ce sujet, extrait du Journal du Génie civil, 47e livraison, 1847.

Nous ne nous étendons que fort peu sur l'endiguement des rivières, parce que ce sujet a été traité à fond par de savants ingénieurs, et que nous n'avons rien à ajouter à ce qu'ils en ont dit.

On trouvera aux planches les profils de plusieurs digues pouvant servir d'exemples.

CHAPITRE II.

TRAVAUX POUR ARRÊTER LES RAVAGES DES TORRENTS.

Nous réunissons dans ce chapitre les torrents et les ravins, et nous y recherchons les moyens de diminuer les ravages qu'ils exercent dans les pays de montagne.

Des savants ingénieurs se sont occupés, dans ces derniers temps, des torrents d'une manière toute spéciale, et on peut citer *Fiard*, architecte à Gap; *Sorell*, ingénieur des ponts et chaussées, et *Gros*, ingénieur des mines. On peut lire le mémoire de ce dernier dans le Recueil des Savants étrangers de l'Institut, de l'année 1847. Les travaux des deux premiers sont publiés séparément.

Nous ne les suivrons pas dans les savantes théories qu'ils ont données des torrents. Leurs observations, justes d'ailleurs, se résument en propositions de travaux qui nous paraissent difficilement praticables avec les lois qui nous régissent et les moyens dont nous disposons. Ainsi, en citant seulement *Sorell*, sa méthode consiste à reboiser deux bandes latérales aux torrents, d'une largeur qui peut aller jusqu'à 500 mètres et plus. C'est évidemment à des reboisements partiels qu'il demande un remède aux ravages des torrents, et il est fort difficile que ces reboisements aient lieu d'une manière générale, sans une contrainte qu'on ne peut pas exercer sur les propriétaires.

Il faut donc avoir encore recours aux moyens moins efficaces, c'est vrai, mais plus à la portée des riverains et dont nous allons parler.

Commençons par les petits ravins.

Il est des parties de la France qui ne sont pas des pays de montagne, mais où le sol est assez accidenté, comme dans plusieurs départements du centre, et où les eaux pluviales qui coulent dans les plis du terrain, le creusent et produisent peu à peu des ravins qui s'approfondissent et s'élargissent tous les ans. Nous en avons vu dans l'Indre qui avaient 7 et 8 mètres de profondeur et 60 et 80 mètres de largueur. C'est ici le cas d'appliquer le principe latin: *Principjis obsta*. Il faut donc, dès qu'on s'aperçoit que le sol commence à être entamé par les eaux de pluie, leur procurer un courant moins rapide qui leur permette de s'écouler sans dégradations.

Il faut établir des fossés en diagonale avec une pente de tout au plus 5 millimètres par mètre, qui recueillent les eaux pluviales et les empêchent de couler suivant la ligne de plus grande pente. L'eau coule tranquillement dans ces fossés sans plus présenter de dangers pour les terres.

Les dimensions de ces fossés doivent être en rapport avec l'eau à laquelle ils doivent livrer passage.

La distance entre deux fossés doit être assez grande pour ne pas gêner la culture des terres, et pourtant ils doivent être assez rapprochés pour ne pas permettre à un ravin de se former entre deux fossés. Cette distance dépend donc aussi de l'inclinaison du sol. En tout cas, nous pensons qu'une distance de 60 à 80 mèt. devrait être un minimum qu'on ne saurait pas diminuer. On peut également faire ces fossés de niveau, mais alors l'eau recueillie se déverserait uniformément par leurs bords, et nous ne pensons pas qu'on puisse les pratiquer utilement ailleurs que dans des prés et des bois; les terres labourées en seraient endommagées.

Lorsque les ravins sont formés, c'est encore à ces mêmes fossés en pente douce qu'il faut avoir recours, mais ils seraient insuffisants si on ne les combinait pas avec des barrages bien entendus, placés dans le ravin.

Ces barrages (*fig.* 113) peuvent très-bien se faire avec des piquets et des clayonnages formant une paroi verticale; on remplit ensuite de terre et de gazon le derrière en amont, de manière à lui donner une pente douce de 3 à 4 de base pour 1 de hauteur, et on établit un perré dessus. Il faut établir ces barrages de façon que, dans le bief qu'ils déterminent, la vitesse de l'eau soit à peu près nulle, ou, en autres termes, de manière que la crête d'un barrage soit de niveau avec le pied du barrage immédiatement en amont.

Lorsque la profondeur des ravins dépasse 1 mètre ou 1m,50, on établit deux rangées de piquets et deux clayonnages, à la distance de 1 mètre l'un de l'autre, et l'on remplit l'espace compris avec des gazons ou de la glaise bien pilonnée; on place ensuite des terres et un perré en amont, comme dans le cas précédent, mais sur la crête formant déversoir on pave avec de forts blocs de pierre.

C'est en amont de quelques-uns de ces barrages que sont placés les fossés transversaux destinés à faire écouler une partie de l'eau du ravin.

Il n'est pas rare que des travaux de ce genre, faits par un

propriétaire sur la partie inférieure d'un ravin, l'aient en peu d'années presque comblé avec les matériaux enlevés à la partie supérieure, qui étaient retenus dans les biefs.

Si le ravin ne faisait que commencer, on pourrait, au lieu des barrages dont nous venons de parler, y établir de grosses pierres qui feraient le même office. Ces travaux sont tous fort utiles; mais, ce qu'il y a de plus important, c'est de ne pas perdre de temps pour les exécuter, car les ravages des ravins marchent avec une rapidité étonnante, et il faudra dans quelques années de fortes sommes pour réparer un mal qu'on aurait pu prévenir à bien peu de frais.

Souvent aussi des commencements de ravins se présentent dans des prés inclinés; il ne faut alors pas tarder à les remplir de bonne terre et à gazonner la surface ainsi régalée avec de bons gazons retenus par des piquets, qu'on peut arracher une fois que les gazons sont enracinés.

Nous avons remarqué que, dans les terres et les prés, ces ravins augmentent de longueur en marchant de l'aval à l'amont. Lorsqu'ils sont déjà assez profonds pour qu'on ne puisse penser à les combler et à en gazonner la surface, et qu'on doit employer le moyen des barrages ci-dessus, il faudra, avec grand soin, fortifier le commencement pour en arrêter les progrès. Dans ce but, nous y avons souvent établi un clayonnage semi-circulaire avec sa concavité tournée vers l'aval, et nous avons fait des perrés sur le fond du ravin, sur une certaine longueur, et un gazonnement sur ses berges bien dressées et talutées. Cet ouvrage nous a réussi au domaine du Genêt, en Touraine.

Dans le cas où les ravins sont très-profonds et qu'on ne peut plus penser à les faire combler par les matières charriées par l'eau, on peut en tirer un bon parti, en coupant les berges en pente douce, en les semant en herbe ou en bois et en faisant avec des pierres sèches un perré sous forme de caniveau au milieu. Ce travail nous a presque toujours réussi. Si la pierre était rare, il faudrait laisser le fond naturel en terre, mais le couper tous les 8 ou 10 mètres par des clayonnages faits par des piquets bien enfoncés; le clayonnage ne devrait sortir du sol que de 20 à 30 centimètres.

Dans aucun cas, on ne devrait se dispenser d'établir les fossés latéraux à faible pente, qui, diminuant la quantité d'eau qui se ramasse dans le ravin, diminuent en même temps les chances de dégradations.

Passons maintenant aux torrents proprement dits.

L'ingénieur *Surell* les définit « des cours d'eau qui affouillent dans une partie déterminée de leurs cours, qui déposent, dans une autre partie, et qui divaguent par suite de ces dépôts. » Cette définition nous paraît parfaitement cadrer à tous les fleuves, à toutes les rivières.

L'ingénieur *Gros* dit plus exactement que ce sont des cours d'eau dont les crues sont subites et violentes, les pentes considérables et irrégulières, et qui le plus souvent divaguent dans une partie de leur cours, par suite du dépôt des matières de transport.

Avec *de Gasparin* (1), nous trouvons cette définition meilleure que la précédente; mais à quoi bon définir les torrents, puisqu'on ne peut fixer la limite qui les sépare des rivières. Disons donc seulement que les torrents sont des rivières d'un courant rapide.

Les travaux à faire dans les torrents participent de ceux des ravins et de ceux des rivières. Il faut, en effet, défendre leurs berges des corrosions qui sont d'autant plus dangereuses et plus fréquentes que le courant est plus rapide, plus resserré et moins direct, tandis que les matériaux charriés atteignent souvent de grandes dimensions. Il faut, en outre, au moyen de digues, garantir les terrains environnants des inondations, et il faut enfin, par des ouvrages particuliers, prévenir ou, du moins, amoindrir les affouillements profonds (2).

Lorsqu'on n'a pas habité les montagnes, on ne se fait pas une idée de la violence des torrents et de la rapidité avec laquelle montent leurs crues.

Il faut donc que les ouvrages de défense aient une solidité proportionnée aux chocs et aux pressions auxquels ils doivent résister. Heureusement, les matériaux se trouvent assez facilement et à proximité, mais, généralement, les chemins sont très-mauvais, et on ne peut les transporter qu'à dos de mulet, ce qui souvent empêche d'en employer de dimensions convenables.

(1) Journal d'Agriculture pratique, mars 1847.

(2) Malheureusement, tout ceci est souvent insuffisant. Voici comment s'exprime un savant ingénieur :

« En définitive, tout système de défense, quel qu'il soit, qui n'empêchera pas d'abord les affouillements dans la montagne, demeurera toujours incomplet, et cela par une raison simple et sans réplique : C'est que les matières, une fois mises en mouvement, doivent nécessairement se déposer quelque part, à moins qu'on ne les suppose solubles dans l'eau ou susceptibles de s'évaporer. De là cette conclusion importante : Que le champ des défenses doit être transporté dans les bassins de réception. » (*Surell*, Etudes sur les torrents, p. 158.)

Passons maintenant à décrire quelques-uns des ouvrages de défense spécialement employés sur les torrents.

Si, pour les fleuves, il peut être souvent utile d'en rectifier le cours pour augmenter leurs pentes, il en est tout autrement des torrents, qui ont toujours des pentes trop fortes.

Pour diminuer ces pentes, on y établit souvent des barrages qui les partagent en longs biefs d'une pente moins prononcée. On choisit, pour l'établissement de ces barrages, les endroits où les torrents se trouvent rétrécis entre deux rochers ou deux rives escarpées, pour diminuer ainsi la dépense. Les barrages sont à déversoirs sans pertuis et faits en gros blocs de pierre, compris entre un gril en charpente placé sur des pilotis, lorsque le sol permet leur enfoncement; mais, comme souvent on trouve le roc à une petite profondeur, on fait alors les barrages en véritable maçonnerie couronnée de grandes dalles. La paroi en aval en est toujours verticale, pour amoindrir la vitesse de l'eau par la chute. Nous avons aussi vu sur les torrents très-étroits des barrages faits avec des troncs d'arbres placés horizontalement les uns au-dessus des autres et contenus entre deux rangées de piquets placées transversalement à la rivière.

Les habitants des montagnes sont extrêmement adroits pour choisir l'emplacement de ces barrages, ce qui n'empêche pas qu'ils ne soient souvent emportés ou tournés par le torrent, dans un moment de crue. L'effet de ces barrages est d'élever le niveau de l'eau en amont; aussi on préfère les multiplier plutôt que de leur donner une grande élévation; nous en avons vu de 4 et même de 6 mètres de haut, mais le plus grand nombre ne dépasse pas 2 mètres. Les fascines et les paniers de graviers n'y sont presque jamais employés, car ils résisteraient difficilement à l'impétuosité de l'eau.

L'élévation du niveau produite par le barrage nécessite des digues latérales pour défendre les champs voisins des inondations, qui sont toujours nuisibles, parce que les torrents charrient et déposent des graviers et même de très-grosses pierres.

Ces digues doivent être d'une très-grande force, plus encore pour résister aux chocs qu'à une grande pression. C'est pour elles qu'il faudrait éviter avec grand soin les coudes brusques; mais, malheureusement, cela n'est pas toujours praticable, attendu les directions très-sinueuses qu'affectent

ces cours d'eau. Il faut aussi avoir grand soin de bien enraciner leurs têtes dans des terrains solides, qui les empêchent d'être tournées par l'eau. Pour la confection de ces digues, on emploie la terre et les graviers qu'on trouve dans le lit, mais on les fortifie toujours par des enrochements à la base et par des perrés sur les talus. Les enrochements devraient être maintenus par de forts piquets placés en quinconce, car les grosses pierres qui les forment pourraient encore être emportées par l'eau.

Nous avons déjà parlé des digues en maçonnerie, mais nous avons vu aussi des digues faites avec des gros arbres placés les branches en bas, dans une position inclinée, et soutenus par d'autres arbres et une digue en gravier, recouverte par un enrochement.

Les plantations et, à plus forte raison, les gazonnements ne réussissent que fort médiocrement, emportés qu'ils sont par un courant très-rapide et dégradés par les cailloux roulés.

Pour la consolidation des rives, on se règle sur ce que nous avons dit dans le chapitre précédent, par rapport aux rivières, mais on observera de faire toujours des ouvrages très-solides pour pouvoir résister.

Nous avons souvent vu des digues faites exclusivement avec des cailloux roulés d'assez grande dimension, qui n'empêchaient pas l'eau de les traverser, mais qui la filtraient, pour ainsi dire. De cette manière, les terres étaient inondées, mais elles ne risquaient pas d'être ensablées ou couvertes de gravier. Ces digues très-économiques sont faites par les paysans, souvent pour voler au torrent une partie de son lit. Elles sont fréquemment emportées, mais cela ne les décourage pas, et ils les rétablissent après la crue. Elles sont souvent la cause de grandes dégradations sur la rive opposée, et il est à regretter que des règlements assez sévères n'en interdisent pas l'établissement toutes les fois qu'elles peuvent être nuisibles.

On établit également sur les torrents des éperons pour éloigner d'une rive attaquée le thalweg, mais, comme leur effet est de rétrécir un lit qui est déjà presque toujours trop étroit, il s'ensuit que souvent ils ne sont utiles à une des rives qu'en endommageant l'autre. Nous en avons pourtant vu quelque fois qui ont produit de bons effets.

Le caractère principal des ouvrages faits sur les torrents est d'être temporaires, car il est fort rare qu'ils soient d'une longue durée, mais cela n'empêche pas l'emploi des matériaux

d'assez grandes dimensions qu'on a généralement sous la main ; ainsi, les épis ou éperons sont ordinairement en enrochements contenus par des pieux, ou, pour le moins, en sable, couverts en tous sens par des perrés.

Nous ne pouvons mieux terminer ce chapitre qu'en empruntant à un rapport de *de Gasparin*, fait à l'Institut, en 1847, un bref aperçu sur les moyens généraux de diminuer les ravages des torrents, proposés par *Surell* et *Gros*. Voici comment s'exprime le savant académicien :

« Le côté pratique de l'étude des torrents, c'est la recherche des moyens de parvenir à leur extinction ou à leur conversion en cours d'eau inoffensifs. M. *Surell*, après avoir indiqué les divers procédés palliatifs usités pour les combattre, les digues longitudinales, les épis, les murs de chute, a montré leur peu d'efficacité dans la partie inclinée du lit des torrents. En effet, le premier moyen est insuffisant, parce que, si les eaux ne peuvent renverser la digue, elles agissent avec plus de force sur le fond du lit, l'affouillent et amènent la chute des murs privés de leur base ; les murs de chute ont l'inconvénient d'être très-coûteux, à cause de leur multiplicité nécessaire, si la pente du torrent est considérable. Aussi, dans la partie supérieure des torrents, *M. Surell* met-il toute sa confiance dans le boisement du sol, qui arrête ou modère les affouillements, soit en retenant les terrains par l'enchevêtrement des racines des arbres, soit en divisant et en modérant la course des filets d'eau et en prévenant leur réunion. Toute la seconde partie de l'ouvrage de M. *Surell* est consacrée à l'exposition de son système, qui consiste à tracer sur les deux rives du torrent une zône continue boisée, qui en suivra tous les détours et qui, ayant 40 mètres de largeur dans le bas, s'étendra progressivement jusqu'à embrasser un espace de 400 à 500 mètres, enveloppant toutes les branches de torrent et leur points d'origine.

» M. *Gros* montre que ce système n'est pas généralement applicable (1) et qu'en particulier, il ne pourrait l'être aux torrents à bassins escarpés, à canal de réception, entourés de débris et ayant une pente de 45 degrés dans une marne nue et friable, sur laquelle toute végétation est impossible. Il pense qu'il n'y a qu'un seul remède praticable pour parvenir à leur extinction ; c'est celui qui a été indiqué par la nature,

(1) Nous le croyons aussi généralement insuffisant, à moins qu'on n'augmente de beaucoup l'étendue des reboisements.

la création artificielle d'un plan incliné de débris venant se rattacher à la base de l'escarpement, et qui change complétement la nature du canal de réception (1).

» La pratique de cette opération sera peut-être moins facile que sa théorie. Les barrages, composés de fortes pièces de bois implantées perpendiculairement dans le sol, au moyen d'une maçonnerie solide, consolidés par des arcs-boutants aussi encastrés dans le sol et reliés par des traverses horizontales, devront traverser tout le bassin où se forme le canal de réception. On les commencera vers le haut, et on les multipliera successivement en avançant vers le bas, par des lignes parallèles jusqu'à ce qu'on arrive à la partie du lit où les pentes s'affaiblissent et où l'action de l'eau est naturellement modérée. Ces barrages transversaux retiendront les débris provenant des éboulements, les empêcheront de gagner le bas du canal de réception, et formeront peu à peu le lit artificiel de blocs, qui devra prévenir pour l'avenir la formation des lits de déjections. Malheureusement, les communes seules peuvent se croire intéressées à prévenir les ravages de ces torrents, et la difficulté de cette opération, mise en regard avec leur misère, ferait craindre que les raisons financières ne fussent le principal obstacle que l'on rencontrerait. Mais l'expérience mérite d'être faite, et l'on doit faire des vœux pour que l'extinction de l'un des torrents qui désolent la vallée de Graisivaudon soit confiée à M. *Gros*. Les résultats de cette première tentative conduiraient peut-être à généraliser une semblable opération dans un pays comme le Dauphiné, qui a déjà tant souffert des torrents à lit de déjection, mais qui pourrait encore sauver de si beaux territoires par leur extinction. »

Nous faisons aussi des vœux pour que l'Etat puisse et veuille s'occuper de cette question ; mais, en attendant que les méthodes ci-dessus relatées, ou d'autres nouvelles, aient reçu la confirmation de la pratique, nous nous en tenons aux ouvrages ordinaires, souvent impuissants, mais qui sont les seuls à la portée des particuliers.

Huerne de Pommeuse pense que lorsqu'on endigue un torrent, il faut se garder de lui donner trop de largeur, qui, d'après son expérience, aurait de très-graves inconvénients.

(1) Ces débris, accumulés à la sortie du bassin de réception semblable à un amphithéâtre, réussissent, d'après les observations de l'auteur, à régulariser, en le divisant et subdivisant en un nombre infini de filets, le cours du torrent et l'empêchent, en même temps, de charrier les matériaux d'un grand volume qu'il prend au pied de l'escarpement. En est-il entièrement ainsi ? Il est permis d'en douter.

Le même auteur cite plusieurs exemples frappants du peu de largeur qu'on peut donner aux lits encaissés des grands torrents. Parmi ces exemples nous relaterons celui du Drac, très-fort torrent qui prend naissance dans les Hautes-Alpes et qui verse ses eaux dans l'Isère, en aval de Grenoble. Dans ses crues, il débite 4,000 mètres cubes par seconde. En aval du pont de Clain, d'une seule arche de 47 mètres d'ouverture, il a une pente de 3 mètres par kilomètre et un lit de 130 mètres de largeur, compris entre deux digues insubmersibles, et, en amont de ce pont, où sa pente est de 4 à 5 mètres par kilomètre, il occupe une largeur de 2 à 3,000 mètres.

La question de l'endiguement des torrents ne peut être résolue d'une manière générale, puisqu'elle dépend, avant tout, des circonstances locales extrêmement variables. C'est à l'ingénieur à faire une étude approfondie du terrain et du cours d'eau, et à rédiger son projet suivant ses observations.

DEUXIÈME PARTIE.

EAUX STAGNANTES.

Un pays sauvage et marécageux, couvert de roseaux, inaccessible aux troupeaux, repaire d'oiseaux aquatiques, abandonné à quelques misérables pêcheurs, une fois délivré des eaux sous lesquelles il était noyé, ouvre son sein, reçoit de précieuses semences, se couvre de précieuses dépouilles, donne la vie à de nombreux bestiaux, fait les délices et procure l'abondance de l'homme industrieux qui l'a fertilisé; de nouvelles familles s'y établissent et s'y multiplient, et la nature se montre d'autant plus empressée et plus magnifique à récompenser leurs travaux, qu'elle avait longtemps, malgré elle, renfermé ses trésors dans un sein stérile et glacé par les eaux.

DUBUAT.

CHAPITRE PREMIER.

NOTIONS SUR LE DESSÉCHEMENT DES GRANDS MARAIS.

Nous avons déjà parlé avec détail dans un des chapitres précédents de l'assainissement des terres marécageuses ou trop humides, qui sont le fait des propriétaires, il ne nous reste plus à parler dans celui-ci que des desséchements des grands marais ou des lacs, qui ne peuvent être entrepris que par l'Etat ou de puissantes compagnies. Il va sans dire qu'on devra appliquer aux études de ce genre, les connaissances hydrauliques dont nous avons donné un résumé dans le Chapitre 1er du Livre III, à la 3e Partie qui traite des eaux courantes. Les desséchements dont nous devons nous occuper peuvent avoir lieu sur de très-vastes étendues de terrain, comme les marais Pontins, ou une partie des maremmes de la Toscane; ils peuvent avoir aussi pour but le desséchement de grands étangs salés ou d'eau douce, comme le lac de Harlem dans les Pays-Bas et l'étang de Cabestang en France.

L'ingénieur chargé des travaux de ce genre doit commencer par se procurer, au moyen de nivellements exacts et mul-

tipliés, le relief complet du terrain sur lequel il doit opérer; soit en levant le plan par des courbes de niveau, soit par des profils rapprochés et rapportés tous au même plan de niveau. Il doit étudier également la nature physique du sol et sa constitution géologique. Il doit enfin, par des jaugeages, se rendre bien compte de la quantité d'eau qu'amènent dans le terrain à dessécher les cours d'eau qui y débouchent dans les différentes saisons de l'année, et déterminer, par des observations météorologiques, la quantité d'eau pluviale qui s'y réunit directement. Ce n'est qu'après avoir réuni ces éléments importants qu'il pourra commencer à projeter les travaux de desséchement.

On peut avoir à dessécher des marais véritables, ou bien des lacs ou étangs d'eau douce, ou d'eau salée. Les terrains à dessécher peuvent être plus élevés, ou à un niveau inférieur à celui du récipient qui doit en recevoir les eaux. Dans chaque cas, il faut avoir recours à des moyens différents, que nous allons brièvement passer en revue.

Un marais est produit par les eaux pluviales qui ne s'écoulent pas assez rapidement, ou par un épanchement des eaux d'une rivière, ou bien enfin par des suintements, ou des fontenages qui sourdent à la surface.

Si par un nivellement exact on a acquis la certitude qu'on peut rejoindre, avec un canal en pente, soit une rivière, soit la mer, de manière à faire couler les eaux, nous pensons qu'on doit préférer ce moyen de desséchement à tous les autres. Il est également applicable à l'assainissement des marais ou au desséchement des étangs.

En connaissant, par des jaugeages exacts, la quantité d'eau qui est versée dans les diverses saisons, dans le terrain à dessécher, par les ruisseaux et rivières qui y débouchent; en connaissant en même temps par des observations udométriques celle qui peut être fournie par les pluies d'orages (1), on aura la quantité d'eau qui doit pouvoir s'écouler par les canaux de desséchement, et au moyen des formules que nous avons données plus haut on calculera leurs dimensions.

Le tracé de ces canaux de desséchement demande beaucoup

(1) Il faut pour cela connaître la tranche d'eau maximum qui tombe en un jour, et la surface qui verse ses eaux dans le bassin du marais; enfin connaître par approximation la quantité d'eau absorbée par les terres, ou, ce qui revient au même, le rapport entre la pluie tombée et la quantité d'eau qui coule à la surface. Cette dernière quantité est très-variable, et on ne peut espérer de la déterminer exactement.

de soin et d'intelligence, car les pentes sont généralement minimes, et il faut en profiter adroitement.

Le récipient dans lequel on doit envoyer les eaux nuisibles, que ce soit une rivière ou la mer, ne présente pas un niveau constant, car une rivière a des crues, et la mer des marées dans l'Océan, ou des orages dans la Méditerranée. Si le fond du marais est plus élevé que la surface des hautes eaux, on n'a pas de difficulté à l'assainir, mais s'il est plus élevé seulement que ses basses eaux, l'opération devient plus difficile, quoique dans le plus grand nombre des cas elle soit encore exécutable. Tout du reste dépend de la différence de niveau et de la plus ou moins grande facilité de donner de l'écoulement à une grande quantité d'eau.

Comme il est utile d'avoir le moins d'eau possible à évacuer, il faut par des travaux faits en dehors du marais n'y laisser arriver d'eau que celle pour laquelle on ne peut pas faire autrement. A première vue on pourrait penser qu'il conviendrait de réunir toutes les eaux dans la partie la plus basse où on leur creuserait un canal, qui, prolongé, servirait à leur sortie. L'expérience prouve que, toutes les fois qu'on a voulu agir ainsi, on s'est préparé de graves embarras, et souvent des difficultés insurmontables, par l'accumulation des eaux à évacuer.

Dans quelque cas particulier et pour des marais de peu d'étendue, cette méthode serait peut-être applicable, mais dans la généralité des cas il faut y renoncer, malgré les simplifications de tracé qu'elle paraît présenter.

Si le marais est inondé par une rivière qui s'y épanche, ce qui n'a que trop souvent lieu, il faut creuser un lit à cette rivière en dehors du marais; mais malheureusement cela n'est pas toujours possible. Somme toute, il est utile de soutenir la rivière avec une faible pente jusqu'à la sortie du marais pour avoir là une chute et se débarrasser de son eau sans que par son gonflement elle fasse opposition à la sortie de l'eau stagnante.

Lorsqu'on ne peut pas détourner la rivière en lui creusant un nouveau lit en dehors du marais, il faut l'isoler avec des digues de manière à ce qu'elle ne puisse plus l'inonder. Cette opération est scabreuse, car, malgré le talent des ingénieurs français et étrangers qui ont étudié ces questions, nous sommes encore sur ce sujet dans l'enfance de l'art. En effet, on ne peut pas encore prédire avec certitude de quelle

manière se comportera un cours d'eau qu'on encaisse ainsi. Tantôt il creusera son fond et se donnera un plus grand tirant d'eau, comme il est arrivé à la Clyde en aval de Glasgow (1); tantôt le fond s'élevera par des dépôts de graviers comme ceux de l'Arno à Florence (2), ou par des dépôts de sables et limons, comme quelques branches du Rhin en Hollande. Les formules que nous avons données plus haut pour les eaux courantes ne sont pas bien souvent applicables aux grandes rivières, et nous conseillons de ne s'en servir qu'avec la plus grande prudence.

Bien souvent des travaux antérieurs peuvent guider l'ingénieur dans l'appréciation des effets que les travaux projetés produiront, on ne doit jamais négliger de se procurer tous les renseignements possibles sur ce sujet.

L'encaissement d'une rivière, la réunion de plusieurs cours d'eau dans un lit commun, le redressement d'un fleuve et l'augmentation ou la diminution de sa pente, sont des opérations dont on ne peut généralement pas prévoir le résultat d'une manière certaine, et auxquelles il faut pourtant avoir souvent recours.

C'est ici, nous le pensons, l'endroit où exposer les diverses théories émises sur ce sujet, car le plus souvent les opérations de ce genre ont pour but de dessécher des marais existants, ou d'empêcher la formation de nouveaux marais.

En Italie, on s'est beaucoup occupé de cette question, et déjà du temps de Galilée les savants en étaient saisis.

Galilée, dans son discours sur la rivière de Bisenzio, soutient, en appliquant la théorie des plans inclinés et de la chute des corps graves, que les vitesses demeurent les mêmes dans deux canaux de différentes longueurs et tortuosités, pourvu qu'en définitive ils aient la même hauteur de chute. Il admet également que lorsque la pente diminue dans le lit d'une rivière, la vitesse ne diminue pas, mais qu'en vertu de la vitesse acquise elle se continue la même (3).

Viviani, disciple de Galilée et son successeur dans la surintendance des eaux en Toscane, n'a pas adopté les idées purement théoriques du maître, puisqu'il a fait exécuter dans le Bisenzio les mêmes redressements que Galilée avait désapprouvés. Son travail a eu une entière réussite.

Toricelli, dans ses écrits sur les étangs; *Guglielmini*, dans son ouvrage sur la mesure des eaux courantes; et le *P. Grandi*, dans son Traité sur le mouvement des eaux, se sont occupés de cette importante question.

Wolf l'a également traitée dans le théorème 29 de son Hydrostatique; mais ces savants n'ont pas toujours été d'accord.

Le savant vénitien *Zendrini*, dans son Traité sur les lois et les phénomènes des eaux, cite beaucoup d'expériences de l'exactitude desquelles il est aujourd'hui permis de douter, puisque celles du Chapitre V de la deuxième partie de son livre serviraient à prouver que la vitesse des filets fluides va en augmentant en partant de la surface et en allant vers le fond, tandis que nous savons que le contraire a lieu.

Lorsque deux rivières se réunissent, *Guglielmini* a pensé pouvoir déduire la vitesse de l'eau, après leur réunion, de l'application du principe de la composition du mouvement(1).

Pitot a adopté le même principe, en tenant compte de la quantité de mouvement, de manière que pour avoir la vitesse commune des rivières réunies, il divisait la somme des quantités de mouvement avant la réunion par la somme de leurs quantités d'eau (2).

Le *P. Grandi*, dans les Chap. IV et V du premier livre de son Traité, a cherché à appuyer ce principe par des expériences, et *Genneté* (3) a soutenu théoriquement et par des expériences faites sur une petite échelle, que la réunion de plusieurs cours d'eau en un seul, ou la séparation d'un cours d'eau en plusieurs branches, ne changeait pas les sections d'une manière sensible, et qu'il était conséquemment inutile de faire des coupures dans un fleuve pour diminuer la hauteur des crues dans la partie d'aval. Les expériences de *Genneté* ont été reprises à Ferrare en 1762 et en 1766, et à Rome en 1763; mais elles sont loin d'avoir donné les mêmes résultats. Malgré cela, le *P. Frisi* (4) adopte les conclusions de *Genneté*, en s'appuyant sur ce que, d'après ses observations,

(1) Rapport des commissaires à la reine d'Angleterre, du 8 juillet 1845.
(2) *Frisi*, Traité des rivières et des torrents.
(3) E qui voglio mettere in considerazione, come il temere, che un acqua corrente nel passare per una parte del suo canale, la quale avesse minor pendenza, che le parti precedenti, possa ritardare il suo corso e farla rigonfiare, e finalmente farla traboccare, è se non m'inganno, timor soverchio e vano, perchè io stimo che non solo la minor pendenza non ritardi l'impeto concepito nella precedente maggiore, ma che neanche il puro livello sia bastante a ritardarlo. (Opere di *Galileo Galilei*, V. I, p. 295, Milano, 1832.)

(1) Proposition IV, ch. 8, de son ouvrage sur la nature des rivières.
(2) Mémoires de l'Académie des Sciences de Paris, 1738.
(3) Lettres à un magistrat hollandais.
(4) Traité des rivières et des torrents.

le Reno reçoit la Sammoggia, sans qu'il y ait différence sensible dans l'amplitude des sections. Il est évident que cette théorie, admise d'une manière générale, conduirait à des résultats absurdes; car on pourrait, sans changer les sections, centupler la quantité d'eau d'une rivière, ce qui est inadmissible, mais elle nous paraît vraie, en ce que retranchant par une coupure le tiers, par exemple, de l'eau d'une rivière, la section reste beaucoup plus forte que les 2/3 de ce qu'elle était.

Le peu d'utilité des coupures pour diminuer la hauteur des eaux dans les grandes crues, a du reste été admis par tous les hydrauliciens italiens. Nous citerons le *P. Castelli, Guglielmini, Eustache Monfredi, Thomas Penelli*, et le *P. Frisi*, qui s'exprime ainsi (1) :

« En résumant le tout, il est très-certain que la hauteur des rivières réunies augmente dans une raison beaucoup moindre que celle du corps d'eau dont elles sont accrues; et que souvent, avec un accroissement considérable de la quantité d'eau, on n'obtient pas une augmentation sensible de hauteur, d'où il résulte que, dans ce cas, la vitesse de l'eau augmente sensiblement en raison de sa quantité. »

Bien plus modernement, l'ingénieur *Lespinasse* a traité ce sujet dans un savant Mémoire sur la jonction et la séparation des rivières, publié dans les Mémoires de l'Académie de Toulouse, T. II, p. 115 et suivantes.

Ce qu'il y a de certain, c'est que le redressement des rivières et les coupures ont rarement produit les effets qu'on s'en était promis, et que la Hollande et la haute Italie pourraient en fournir de nombreux exemples. Mais, il est également certain que les redressements de quelques rivières ont produit de graves dérangements dans leur régime, en augmentant la vitesse de l'eau et en faisant dégrader le lit, dont les matériaux déposés en aval ont obstrue le lit et rendu dangereuse, pour les campagnes environnantes, une rivière qui était d'abord inoffensive. Nous dirons donc sur ce sujet bien ardu avec *Frisi* (2) :

« Si l'on veut s'assurer de ce qui pourra arriver à l'avenir, indépendamment de toute théorie, quelle qu'elle soit, il faut attentivement considérer ce qui est déjà arrivé par le passé. »

(1) Traité des rivières et des torrents, L. II.
(2) Ouvrage cité.

Les ingénieurs italiens, dans le Bas-Pô (1) et dans ses affluents; les ingénieurs hollandais, dans le Bas-Rhin, ont fait de ces travaux de redressement, de creusement de nouveaux lits et de coupures, pour diminuer l'effet des crues sur une très-large échelle; mais les résultats n'ont pas toujours confirmé les vues du constructeur, et cette difficile question reste encore dans le vague.

Revenons, après cette digression, au desséchement des étangs, des lacs et des marais.

Nous avons dit que si une rivière les traversait, il était utile de lui creuser un nouveau lit en dehors du terrain à dessécher, pour se débarrasser ainsi de ses eaux, et n'avoir plus à évacuer que les eaux pluviales et de source (2).

Cela n'est pas toujours praticable; aussi faut-il souvent se contenter de lui établir un lit endigué dans le marais, pour mettre à l'abri de ses crues la partie qu'on veut dessécher.

Quelquefois on l'encaisse entre deux digues insubmersibles; quelquefois on fait d'abord deux digues insubmersibles aux eaux ordinaires, et plus loin deux nouvelles digues in-

(1) On peut consulter sur ce sujet un savant mémoire de *Lombardini* intitulé: Intorno al sistema idraulico del Po.

(2) « L'idée qui se présente d'abord d'ouvrir un canal principal à travers les parties les plus basses des marais à dessécher, est donc généralement la plus mauvaise, puisqu'elle aurait pour résultats de porter sur ces parties basses des eaux étrangères, qu'il faut au contraire en éloigner, et que l'on ne pourrait ensuite évacuer convenablement qu'en donnant au canal, ayant alors naturellement peu de pente, une grande section très-profonde, et en baissant considérablement le seuil du débouché des marais; ce qui amènerait des difficultés immenses en pure perte, puisqu'on peut les éviter en se pénétrant bien de l'idée principale, que nous avons exprimée ci-dessus, qui est d'isoler autant que possible des marais les eaux affluentes qui les inondent.

« Cette idée capitale, qui n'a pas malheureusement toujours été mise en pratique, a été très-bien sentie en 1642 par *Jean de Van-Ens*, hollandais, conseiller de Louis XIII, et auteur du desséchement des marais d'Arles. Il a conduit, à travers les marais, jusqu'à l'étang du Galéjan, communiquant avec la mer, le cours d'eau considérable appelé Vigueirat, débitant environ 25 mètres cubes d'eau par seconde dans le Crau, et a créé à cet effet un grand canal en remblais de 39,000 mètres de longueur, ayant 0 m. 10 de pente par 1,000 mètres; il a fait passer sous ce canal, de la rive droite à la rive gauche, par des aqueducs à syphon, appelés *nocs* en hollandais et *botte* en italien, différents petits canaux d'écoulement qu'il a fait déboucher plus ou moins loin, suivant les cas, dans un second grand canal nommé vidange, ayant 38,000 m. de longueur, sur une pente beaucoup plus faible que celle du Vigueirat, se développant sur la ligne du thalweg, débouchant aussi dans l'étang du Galéjan, et débitant dans les plus grandes eaux jusqu'à 35 mètres cubes par seconde à sa partie inférieure.

« Il s'est aussi ménagé la faculté de jeter en plusieurs points, à sa volonté, tout ou partie des eaux du Vigueirat dans le Rhône ou dans la vidange, et celles de la vidange dans le Rhône; enfin, pour mieux abaisser les eaux de plusieurs petits lacs et autres parties basses, il a ouvert différents petits canaux qu'il n'a point évacués immédiatement sur la vidange, mais bien à 4 ou 5,000 mètres en aval, en se réservant de les y verser à volonté en chemin, au moyen de martellières ou petites écluses à vannes. Si tous ces travaux ne produisent plus aujourd'hui leur effet, il ne faut point en accuser le génie de *Van-Ens*, mais la négligence qu'on a mise à entretenir son œuvre admirable. » (*Huerne de Pommeuse.*)

submersibles aux plus grandes crues. Le choix entre ces deux méthodes dépend de la portée et de la vitesse de la rivière ; la seconde paraît préférable pour les rivières à fortes crues, particulièrement lorsque le fond du marais est affouillable.

Quoique nous ayons dit qu'il convient de donner une chute à l'eau de la rivière à la sortie du marais, il est évident qu'on ne doit pas sortir de certaines limites, sans quoi il faudrait des ouvrages d'art pour que la chute ne fasse pas ravin, et l'expérience prouve qu'ils ne sont pas d'une grande durée, et que le ravin finit par s'établir en avançant de l'aval vers l'amont. Cet effet s'est produit dans le lit de plusieurs rivières du Bolonais, et spécialement dans l'*Idice*, à son embouchure factice dans le fossé Bénédictin (1).

Les dimensions à donner à ces nouveaux lits des rivières ainsi limités, dépendent évidemment de la quantité de l'eau à laquelle ils doivent livrer passage, et de la vitesse qu'elle y prendra en raison de la pente et de la vitesse acquise antérieurement ; mais on doit remarquer que, lorsque la rivière reçoit des affluents importants en amont, il arrive souvent que les crues n'ont lieu que successivement, et qu'il n'est pas nécessaire de donner au nouveau lit une section capable d'évacuer toutes les eaux à la fois.

Du reste, tout ce que nous venons de dire n'est que des généralités, dont l'ingénieur habile pourra profiter, mais qui ne constituent pas de ces règles pratiques immédiatement applicables dans des cas donnés. Pour la construction des digues, nous n'ajouterons rien à ce que nous en avons dit dans le chapitre précédent, et le lecteur pourra trouver des détails nombreux sur ce sujet dans la collection lithographique de l'École des ponts-et-chaussées, et dans l'Architecture hydraulique de *Bélidor*.

Une fois qu'on s'est débarrassé des eaux de rivière, il reste à faire évacuer les eaux de source et les eaux pluviales.

C'est pour ces dernières que les fossés de ceinture sont d'une grande utilité, puisqu'ils ne laissent arriver dans le marais que les eaux zénitales. Il ne faudra donc pas négliger de les creuser toutes les fois que le terrain s'y prête (2).

(1) Voyez *Frisi*, Traité des rivières et des torrents.

(2) « Les *canaux de ceinture*, que l'on recommande ordinairement dans les projets, sont rarement exécutables, parce que le périmètre qu'ils devraient parcourir est presque toujours trop irrégulier, et composé de contre-pentes plus ou moins rapides. Il faut donc renoncer à ces canaux et se contenter de ceindre les marais par de simples fossés. » (*Huerne de Pommeuse.*)

(1) Voyez, pour la construction des souterrains, l'ouvrage déjà cité de l'inspecteur *Minard*.

(2) *Huerne de Pommeuse* conseille de faire les canaux de décharge plus creux au milieu que sur les côtés, auprès des berges, pour qu'ils puissent mieux évacuer les vases.

(3) « Il est aujourd'hui prouvé que le desséchement de l'étang de Montady fut entrepris, vers le milieu du XIIIe siècle, par les propriétaires de cet étang, dont voici les noms : *Guillaume Raymond, seigneur de Colombier, Ermengand de Poilles, Berenger d'Aizone et Bernard Scot.* » (*Andréossy*, Histoire du canal du Midi, p. 293.)

Enfin, pour évacuer les eaux restantes, on a recours à un fossé, qui les amène dans un récipient inférieur.

Ce récipient peut être une rivière sujette à des crues, la mer sujette également à des exhaussements, soit par les marées, soit par les orages, ou enfin un lac, qui conserve un niveau à peu près stable.

Il est évident qu'un canal de décharge, moins il prendra de développement pour une chute donnée, plus il aura de pente, et par conséquent plus facilement il évacuera les eaux.

On doit donc chercher un récipient aussi rapproché que possible, pour diminuer la dépense, et aussi en contre-bas que possible, pour donner un facile écoulement aux eaux.

Le canal de décharge peut être fait à ciel ouvert sur toute sa longueur ; mais, lorsqu'il s'agit de dessécher des lacs ou des étangs, il arrive souvent qu'on le fait en aqueduc souterrain dans les parties où la tranchée serait trop considérable (1).

Ce canal (2) doit recueillir toutes les eaux qui lui sont fournies par des fossés secondaires qui les reçoivent, à leur tour, des rigoles de troisième ordre.

La disposition de ces fossés et rigoles dépend évidemment de la forme topographique du sol à dessécher, et on peut dire, en général, qu'ils doivent occuper tous les petits thalwegs des vallées ; mais cette règle n'est pas tellement fixe qu'on ne puisse s'en écarter dans des circonstances particulières.

Une disposition remarquable des fossés secondaires, est celle de l'étang de Montady, en Languedoc, f. 278, desséché vers le milieu du XIIIe siècle (3).

La surface de l'étang desséché est de 430 hectares, et les eaux en sont portées par dix fossés en forme de rayons, qui aboutissent dans un réservoir circulaire, nommé *redondel*,

dans le pays, qui est placé presqu'au centre de l'étang. C'est du redondel que part un fossé de décharge qui porte les eaux dans un aqueduc souterrain, qui passe à 30 mètres au-dessous de la montagne Encerune, et qui se continue en une rigole sinueuse et à ciel ouvert, qui débouche dans l'étang de Poilles.

Le canal de décharge doit, autant que faire se peut, déboucher dans un récipient placé de manière que, pendant ses plus grandes crues, son niveau supérieur soit en contre-bas des terrains à dessécher; et *Dubuat*, dans ses Principes d'Hydraulique (1), démontre bien clairement qu'il y a avantage à allonger ce canal pour porter son embouchure dans l'aval d'une rivière, de façon à obtenir ce résultat.

C'est là le cas le plus simple, car le desséchement complet se trouve assuré en tous temps par les lois mêmes de la nature, qui veulent que les fluides s'écoulent vers les endroits les plus bas.

Il ne faut pourtant pas renoncer à dessécher les marais dans les cas où cette disposition ne serait pas praticable; car il suffit généralement, pour la réussite, que la surface des eaux moyennes du récipient se trouve plus basse que le fond des terrains à dessécher. Il faut seulement alors adopter des dispositions, et construire des ouvrages appropriés aux circonstances, à l'embouchure du canal de décharge.

Il est évident qu'on ne doit pas laisser refluer les eaux des crues dans le terrain desséché, et pour cela il faut endiguer le fossé de décharge, et le garnir de portes ou vannes qui le ferment, lorsque l'écoulement de l'eau s'y établirait en sens inverse.

Ces vannes sont quelquefois manœuvrées par des gardes; mais, souvent aussi, elles sont construites de façon qu'elles s'ouvrent et se ferment seules, suivant la différence de niveau de l'eau intérieure et extérieure. Nous en donnons quelques exemples aux f. 264, 265, 266, 248, 250.

Ceci est applicable également aux canaux qui débouchent dans les rivières, et à ceux qui versent leurs eaux dans la mer; mais, dans ce dernier cas, il faut éviter d'exposer les portes busquées ou les clapets au choc des vagues, qui les détruiraient en très peu de temps

Est-il utile de réunir en un seul tous les canaux d'écoulement, plutôt que de les faire aboutir séparément au récipient

(1) T. I, p. 275.

qui doit en recevoir les eaux? Ce doute, posé par *Guglielmini* (1), nous paraît résolu par *Venturoli* (2), qui démontre que la largeur du fossé qui convient pour rendre inoffensive l'union de deux canaux de décharge, sera toujours moindre que la somme des largeurs qu'ils devraient avoir pour arriver séparés à leur embouchure.

Il est un autre moyen de dessécher les marais, qui consiste à en élever le fond, de manière à le rendre insubmersible, et à lui procurer un écoulement facile des eaux qu'il reçoit.

En certaines circonstances, il peut être utile de faire ce travail de main d'homme, soit en apportant des terres, soit en creusant de grands fossés qui recueillent les eaux, et dont les déblais servent à relever la surface qui reste. Cette méthode, que nous avons appliquée en petit à Lamotte-Beuvron (3), et qui a réussi sur une grande échelle pour dessécher à Saint-Omer une grande étendue de terrain, qui était couverte, il y a quelques cinquante ans, de plus de $0^m,50$ d'eau, ne peut que rarement se pratiquer d'une manière économique et avantageuse.

Il faut alors avoir recours à d'autres moyens suggérés par la nature, qui est en cela notre institutrice.

Les plantations très-multipliées peuvent être utiles de deux manières sur ces terrains aquatiques entrecoupés de fossés, soit d'abord en facilitant l'évaporation, puisqu'on suppose qu'en moyenne un saule de dix ans évapore 3 kilogrammes d'eau en 24 heures (4), soit en élevant le fond par les détritus des feuilles et des branches qui tombent chaque année. Ce dernier résultat serait mieux atteint par les plantes herbacées que par les arbres, mais ces derniers donnent un produit, et on les préfère généralement pour cela. Ces détritus donnent d'ailleurs un sol de mauvaise nature et souvent tourbeux.

On peut également venir en aide à cette méthode, par celle des colmatages dont nous allons parler, et, de cette manière, obtenir des résultats plus rapides que si on employait l'une ou l'autre séparément. Un des ingénieurs les plus distingués de l'Italie, notre savant ami *Ignazio Michela*, pense

(1) Natura dei fiumi, chap. IX.
(2) Elementi di meccanica e d'idraulica, T. II, p. 278.
(3) Voyez f. 46.
(4) *Sganzin*, Cours de Construction, T. II, p. 153.

que la réunion des deux méthodes est presque toujours préférable.

Les desséchements par colmatage nous ont été, comme nous le disions, enseignés par la nature. On peut voir dans *Frisi* (1) que, dans le Bolonais, lorsqu'un torrent change naturellement de lit, il se fait une coupure dans ses berges, et qu'il se répand dans les campagnes d'un niveau inférieur, et qu'ensuite, avec le temps, les troubles et les graviers qu'il charrie élèvent, en se déposant, le niveau de ces campagnes, de manière qu'il arrive un moment auquel le torrent se creuse dans ses propres alluvions un nouveau lit, et les terrains environnants deviennent insubmersibles.

L'opération du colmatage consiste donc à aider la nature dans ces importants dépôts. Nous n'ajouterons pas grand'chose à ce que nous avons dit sur le colmatage dans le livre précédent, car toute la différence consiste dans l'échelle sur laquelle on exécute les travaux.

Nous ferons seulement remarquer qu'il importe de ne recevoir dans les terrains à colmater, du moins pour les dernières couches, que des troubles ténus, car les graviers presque purs donneraient une bien médiocre terre arable; mais que, si on combine le colmatage avec la méthode des fossés, on peut admettre les graviers qui, dans le fond de ces mêmes fossés, formeront un remplissage utile et rapide. Il peut être alors utile de déplacer, après un certain temps, les fossés, pour que la couche de gravier s'étende uniformément sous toute la surface. La seule difficulté qu'on rencontre, pour appliquer cette méthode, consiste en ce que l'eau, en se répandant dans ces fossés, conserve difficilement assez de vitesse pour charrier le gravier partout, de manière qu'il s'accumule en certains points, tandis que d'autres ne reçoivent que des limons, et que d'autres, enfin, ne reçoivent que des eaux presque pures. On remédie, du moins en partie, à cet inconvénient, en partageant le terrain à colmater en plusieurs parties, séparées par des digues, dans lesquelles on introduit les alluvions successivement, et à tour de rôle. Moins chaque section est grande, plus facilement on parvient à répartir uniformément les alluvions.

L'addition des fossés, dont nous avons déjà parlé, augmente certainement les dépenses, mais elle peut devenir économique en certaines circonstances, car elle permet d'avoir un produit immédiat par les arbres qu'on peut planter sur les terres des fossés rejetées de côté.

(1) Trattato dei fiumi e torrenti.

La rapidité avec laquelle on réussit à dessécher un terrain par le colmatage, dépend de la quantité de matières que charrie la rivière dont on emploie les eaux. L'opération est généralement fort lente, particulièrement près de l'embouchure des grands fleuves, où les matières charriées ne sont plus que de très-fins limons. Le Rhône, dans la Camargue, ne charrie que 1/1700 de troubles pour 1 de volume d'eau.

Du reste, nous ne conseillons le colmatage que pour les marais dont on veut élever d'une petite hauteur la surface du sol. Pour les grands étangs, cette méthode serait d'une lenteur désespérante. En 1804, *Andréossy* (1) avait le plus bel espoir pour le desséchement par colmatage de l'étang de Capestang, dont nous donnons le plan f. 270.

Pourtant, malgré l'énorme quantité de limon que charrie l'Aude, cette opération n'est pas encore bien avancée, et les entrepreneurs ont fait, en résumé, une fort mauvaise affaire.

Nous croyons devoir extraire, pour finir ce que nous avons à dire sur ce sujet, le passage suivant des *Souvenirs* polytechniques de *Goury*, dans lequel il décrit les colmatages de la vallée de Chiana, en Toscane.

« Les petits torrents tributaires de la Chiana, en fonctionnant dans les colmatages, remplissent un double objet; ils y déposent les troubles qui bonifient le sol; et ils ne se versent que clarifiés dans le récipient inférieur, et ne contribuent pas à l'encombrer.

« Chaque *colmata* a généralement deux enceintes particulières formées par des digues en terre, ou par des clayonnages, parois en bois, etc., etc. On élèvera celles-ci en raison de l'avancement de la colmata. Ces enceintes sont de grandeurs différentes, à raison du volume des eaux du torrent; on y conduit ce dernier après avoir fait gonfler ses eaux par un barrage. Le canal de dérivation se divise, à son entrée dans l'enceinte, en plusieurs fossés divergents, qui distribuent régulièrement le limon sur toute la surface. Les eaux passent de la première à la seconde, et de celle-ci au canal de fuite, par le moyen de deux *filtres*, ou déversoirs en clayonnages, qui présentent une vanne dans la partie la plus basse de leur développement. Cette vanne sert à mettre les enceintes à sec, quand le torrent n'est plus trouble. L'on obtient ainsi des

(1) Histoire du canal du Midi.

fourrages en été, et l'air n'est pas corrompu par des eaux stagnantes.

« Des expériences faites dans la Maremme Toscane, aux rives du fleuve-torrent l'*Ombrone*, à différentes périodes de ses crues, ont donné pour mesure de l'atterrissement de 1730 à 1753 de la hauteur de l'eau. Lorsqu'on fait agir de grands torrents de cette espèce, il faut que la pente du canal de dérivation soit très-forte jusqu'aux enceintes à colmater, pour qu'il ne s'atterrisse pas lui-même. Il faut encore choisir entre les périodes des crues, s'il y a quelque moyen de régler le volume des crues. Ainsi, sur l'Ombrone, on opérait entre 2,5 et 4 pieds de crue du fleuve. On doit enfin dériver les eaux de *fond à gueule-bée*, et jamais de surface (1), et intercepter la dérivation lorsque la crue diminuant, le courant entraînerait plutôt que d'accroître les alluvions récentes. Lorsqu'il s'agit de dessécher un lac, un vaste marais, l'on doit commencer par en élever et reculer graduellement la lisière, afin d'obtenir des bonifications plus promptes, sans altérer la profondeur des eaux de l'enceinte à colmater. Celles-ci deviendraient plus insalubres par la corruption rapide des végétaux aquatiques, et pourrait même perdre ses *émissaires* naturels d'eau, si l'on abandonnait aux vagues l'introduction des troubles.

« En 1809, on exécutait une colmata de 8,500 ares; cette opération, entreprise par l'Ordre de Saint-Etienne, et par voie d'échange de terrains, avait coûté 314,000 fr., y compris 20,500 fr. pour travaux d'art. A ce prix, on transformait, dans le cours de huit années, en terres labourables valant 212,000 fr., 85 hectares de mauvais terrains. Le rapport de la dépense et du produit des colmates est à peu près le même. Le résultat prouve que les entreprises de cette nature, sommairement onéreuses, ne peuvent être faites que par de grands propriétaires ou par l'Etat, et moins dans la vue de profits prochains, que sous les rapports généraux de salubrité, population et industrie. »

Le savant ingénieur nous permettra de ne pas être de son avis sur ce dernier point. Les résultats qu'il nous donne ne prouvent pas que l'opération citée ait été conduite d'une manière éclairée et économique, ce qu'il est permis de mettre en

(1) Nous avons vu au livre précédent que cette règle n'est nullement générale, et qu'au contraire il peut être utile de prendre l'eau à la surface pour n'avoir que des troubles limoneux.

doute, lorsqu'on pense que les dépenses étaient supportées par une société, et que l'œil du maître ne dirigeait pas les travaux. Il n'en serait d'ailleurs pas ainsi, que cela ne prouverait pas autre chose, si ce n'est que toutes les opérations de ce genre ne sont pas également profitables, et qu'il en est qui peuvent devenir onéreuses, ce que nous sommes loin de contester.

Après ce temps, le grand-duc de Toscane a fait de grandes colmates dans la Maremme, qui ont en partie réussi, en partie échoué.

D'autres opérations de ce genre ont été heureusement entreprises dans la province de Naples, sous la direction de l'ingénieur Charles Afan de Riviera. Le projet en est expliqué dans un opuscule publié par cet ingénieur en 1838 (1).

Lorsqu'aucun de ces moyens ne peut être appliqué au desséchement des marais, on peut encore avoir recours aux puits absorbants dont nous avons déjà parlé. On prétend que la plaine des Paluns, près Marseille, a été desséchée de cette façon par le roi René (2).

Ces puits absorbants, qu'on nomme *embugs* dans le pays, sont entourés de murs en pierres sèches qui filtrent les colatures avant de les laisser pénétrer dans le sol. Malgré cela, nous pensons que ces bois-tout présentent une ressource fort incertaine pour le desséchement des grands marais, et nous ne saurions, en général, avoir une bien grande foi dans leur succès.

On peut consulter à leur sujet les Annales des ponts et chaussées de 1833 et de 1835.

Une méthode qui ne nous paraît également applicable qu'aux marais de peu d'étendue, consiste à creuser dans la partie la plus basse du terrain un bassin destiné à ramasser les eaux, qui s'étendraient, sans cela, sur une plus grande surface.

Tous ces moyens dont nous venons de parler peuvent être employés concurremment dans le même marais, suivant les circonstances et la disposition des pentes; c'est à l'ingénieur à aviser à la manière d'atteindre son but avec la moindre dépense.

Restent enfin les moyens artificiels d'élever l'eau d'un ter-

(1) Memoria sui mezzi di ritrarre il massimo profitto dal lago Salpi coordinando quest' impresa a quella più vasta di bonificare e migliorare la pianura della Capitanata.

(2) *Héricart de Thury*, Considérations, etc., p. 128.

rain submergé pour la verser dans un récipient dont le niveau est plus élevé que celui des terres à dessécher.

Ici plus qu'ailleurs, il convient, par des fossés de ceinture, etc., de diminuer autant que possible la quantité d'eau à évacuer, car cela donne lieu à une dépense continue. Il est également nécessaire d'entourer le marais par des digues bien établies, sans quoi l'eau qu'on en sort d'un côté pourrait rentrer par un autre et produire l'effet contraire du tonneau des Danaïdes.

Quant à l'emploi des machines, nous renvoyons à ce que nous en avons dit aux Chapitres I et II de la quatrième partie du Livre III, en observant, toutefois, que rarement ces opérations sont réellement profitables, à moins d'un extrême bon marché de la houille, ou d'un climat qui permette d'employer le vent comme force motrice.

Du reste, ce genre de travaux, exécutés en grand en Hollande (1) pour conquérir sur la mer d'immenses étendues de terrain, sera mieux décrit dans le chapitre suivant. Finissons donc celui-ci par avertir que, dans les opérations de ce genre, on arrive quelquefois à des déboires qu'on ne pouvait pas prévoir d'avance.

Cela a lieu lorsque, dans un terrain perméable, l'eau du récipient s'infiltre dans le marais au fur et à mesure qu'on le vide, de manière à y maintenir à peu près le même niveau. Dans ce cas, on perdrait tout l'argent qu'on y emploierait, et ce qu'il y a de mieux à faire, c'est de renoncer à l'entreprise.

Un fait semblable à celui qu'on vient d'énoncer s'est présenté dans une partie du canal du Rhône au Rhin, partie dans laquelle il y avait une perte énorme par les infiltrations pendant les étiages du Rhin, et des infiltrations en sens inverse, pendant les crues du fleuve.

Citons enfin un passage extrêmement juste de *Sganzin* (2) :

« On voit, par tout ce qui précède, que le problème des desséchements est un des plus épineux à résoudre, parce qu'il se complique de considérations de salubrité publique, d'économie politique, indépendamment de celles relatives à l'agriculture, à la navigation, et indépendamment des difficultés

(1) Nous citerons, avec *Huerne de Pommeuse*, comme exemple, le lac Burmster, près du canal d'Amsterdam au Helder, et dont la superficie est de 10,000 hectares environ. Ce lac a été desséché avec des machines, quoique son fond soit à 5 mètres au-dessous des basses mers.

(2) Cours de Construction, T. II, p. 138.

de l'exécution technique. Ainsi, il faut d'abord analyser les causes principales de la submersion et de l'infertilité des marais, et quand cette recherche pénible aura été faite, il y aura, pour modifier l'état présent des choses, à choisir entre une foule de combinaisons qui satisferont mieux à certaines conditions et moins bien à d'autres : les unes exigeront des dépenses premières plus fortes, mais en dispensant ultérieurement d'une partie des frais journaliers; dans d'autres combinaisons, les rapports des dépenses seront en sens inverse. Dans chaque catégorie, il y aura ensuite à placer en regard les dépenses de toute nature avec les *résultats qu'elles produiront*, etc. »

Malheureusement les opérations de ce genre ont rarement réussi en France, et nous pensons qu'on doit en chercher la cause dans un certain goût du grandiose, qui préside toujours à la rédaction des projets.

Depuis Louis XIV, nous avons des routes, royales par leur largeur, mais moins bonnes que celles d'autres pays, moins sensibles à la gloire de perdre ainsi inutilement leur terrain. L'économie est la dernière chose à laquelle on pense dans un pays où généralement c'est l'Etat qui se charge de l'exécution de tous les grands travaux; c'est là une faute dans laquelle tombent bien moins souvent les ingénieurs anglais et américains.

On trouvera d'excellentes indications sur le desséchement des marais dans le Mémoire si remarquable de *de Prony* (1) sur les marais Pontins, et on ne pourra étudier à fond cette question qu'en compulsant les relations et descriptions de travaux de ce genre dont la réussite a couronné l'entreprise.

(1) *Navier* en a donné un extrait dans les Annales de physique et de chimie, T. IX, an. 1819.

ZARAGOZA - GRANJA ESCUELA DE AGRICULTURA

CHAPITRE II.

NOTIONS SUR LES RELAIS DE MER ET LES TERRAINS SUBMERGÉS PAR L'EAU SALÉE.

Les lais et relais de la mer consistent dans les parties littorales de la terre ferme, qui sont alternativement couvertes et délaissées par les flots.

Ils sont considérés comme des dépendances du domaine public (1). Mais l'Etat les vend, soit aux enchères, soit à l'amiable, ou il les concède même gratuitement, et alors ils deviennent une propriété particulière.

Du reste, nous ne nous occupons aucunement, dans cet ouvrage, de la législation des eaux, car il nous semble que les ouvrages de *Nadault de Buffon* et d'*Adrien* et *Aristide Dumont* sont assez complets pour éclairer l'ingénieur et l'agriculteur sur cette matière.

Si nous avons emprunté au code notre définition des relais de mer, c'est qu'elle nous paraît exacte et concise, et qu'elle a en même temps l'avantage d'être légale.

Pour conquérir les relais de mer à l'agriculture, il faut les soustraire aux inondations. Cette opération a donc beaucoup de rapports avec l'endiguage des rivières, avec lequel elle se confond souvent, dans les delta des fleuves sujets aux marées.

Pour défendre efficacement ces terrains, il faut d'abord se faire une idée bien nette de leur formation, et, en second lieu, étudier l'action et les mouvements de la mer, qui tend à les envahir.

Il y a dans la mer trois mouvements bien distincts : ceux qui proviennent des vagues, ceux qui sont l'effet des courants, et les mouvements diurnes des marées. Des atterrissements en sont la conséquence, et les terrains qui en proviennent peuvent être plus ou moins fertiles, suivant la nature des matériaux déposés ; infertiles lorsque ce ne sont que des galets roulés, et d'une grande fertilité, lorsque ce sont des vases mêlées de détritus de plantes et d'animaux marins.

Nous avons vu qu'à l'embouchure de quelques rivières de la Grande-Bretagne, les troubles charriés par les marées

(1) Code civil, art. 538.

montantes sont assez fertilisants pour qu'on les emploie dans un genre particulier de colmatage qu'on nomme warping.

Les vents qui sont la cause des vagues sont réguliers, à des époques déterminées, sous les Tropiques ; mais sur nos côtes ils ne suivent pas une direction régulière. On ne peut rien prévoir sur leur direction ou sur leur force, ce qui n'empêche pas qu'il n'y ait pour chaque localité des vents *régnants*, c'est-à-dire qui soufflent plus souvent que les autres, et des vents qui produisent généralement les tempêtes. Ces vents sont, pour la Manche et les côtes Nord de la Bretagne, ceux de sud-ouest et d'ouest ; pour les côtes Sud de la Bretagne et les côtes Ouest de la France, les vents Ouest et Sud ; pour les côtes de la Méditerranée, enfin, le *Libeccio* ou sud-ouest, le *Mistral* ou nord-est, et le vent du sud.

La direction générale du vent dans les pays de plaine est descendante et fait, avec l'horizon, un angle d'environ 18°.

Si le vent souffle dans le sens d'un cours d'eau ou en sens contraire ; s'il souffle sur une surface d'eau tranquille, il produit des dépressions et des gonflements qu'on nomme ondes, lames ou vagues. Ses effets peuvent se compliquer par des changements subits de direction, lorsqu'il vient frapper une mer déjà agitée en sens contraire : on dit alors que la mer devient très-houleuse.

Le tableau suivant donne une idée de la vitesse et de la force des vents (1) :

(1) Annuaire du Bureau des longitudes, 1818.

QUALIFICATION DU VENT.	VITESSE par seconde.	EFFORT DU VENT dans le sens de sa direction sur une surface normale et par mètre carré.
	mètres.	kilog.
Brise légère.	0.50	0.027
Brise douce.	1.00	0.1086
Vent médiocre.	2.00	0.4344
Vent assez fort.	5.50	5.285
Vent fort.	10.00	10.856
Vent très-fort.	20.00	43.44
Tempête.	22.50	55.00
Grande tempête.	27.00	79.20
Ouragan.	30.00	140.74
Ouragan qui renverse les édifices et déracine les arbres.	45.00	220.00

La force du vent est plus intense qu'on ne le supposerait d'abord ; pour en donner une idée, *Francklin* rapporte que, dans une pièce d'eau large de 13,500 mètres, et profonde d'environ $0^m,90$, un fort vent mit à sec une partie, en élevant d'une égale quantité le niveau de la partie opposée.

Le vent agit également sur les sables, et les fait progressivement marcher dans sa direction, comme cela a lieu dans les dunes.

La théorie des ondulations et des vagues est encore couverte d'obscurité, et il ne peut entrer dans notre sujet de la donner et de la discuter ici. On trouvera des explications savantes, mais souvent contradictoires, dans *Brémontier* (1), *Poncelet* (2), *Virla* (2) et *Emy* (3).

Les ondes qui se manifestent dans une eau courante n'en arrêtent pas le cours, et il peut arriver qu'une onde paraisse marcher vers l'amont, tandis qu'en réalité elle marche vers l'aval. Mais, suivant le colonel *Emy*, il arrive quelquefois

(1) Recherches sur le mouvement des ondes.
(2) Articles insérés dans les Annales des ponts-et-chaussées en 1831 et 1835.
(3) Mouvement des oudes et Ann. des ponts-et-chaussées, 1837.

qu'à l'embouchure des fleuves, la vitesse des ondes marines arrête le courant et forme un bourrelet immobile, suivant lequel l'eau s'écoule.

Les ondes liquides peuvent s'infléchir ou être réfléchies comme les ondes sonores.

Les anciens ingénieurs pensaient que l'agitation de la mer ne descendait pas à une grande profondeur au-dessous du niveau de la mer calme, à 5 mètres au plus ; mais des observations modernes prouvent que cette opinion était erronée.

D'après *Brémontier*, elle descend jusqu'à 160 mètres au banc de Terre-Neuve.

Suivant *Sganzin*, la hauteur ordinaire entre le sommet et le creux des vagues, se développant librement, est de 4 à 5 mètres près de Cherbourg, de 6 à 7 mètres dans le Golfe de Gascogne, de 3 à $4^m,50$ dans la Méditerranée, et de $2^m,60$ dans le Lac de Genève.

La largeur des vagues a été bien moins observée avec exactitude.

Suivant *Brémontier*, la distance entre deux creux est de deux fois la hauteur du sommet au-dessus du creux.

Suivant l'ingénieur *Vionnais*, les vagues de la baie de St-Jean-de-Luz ont, dans les tempêtes, des amplitudes de 300 à 400 mètres, et des vitesses d'oscillation de 13 et 20 mètres par seconde (1).

Lorsque les ondes rencontrent des obstacles, des rochers sous-marins, des récifs, etc., le phénomène se complique. Les ondes sont souvent raccourcies et agissent d'une manière différente.

Si les vagues frappent une surface abrupte et verticale, les flots se dressent verticalement à de grandes hauteurs, c'est ce qui a lieu dans le lac de Wollenstadt en Suisse.

Lorsque cette paroi se termine à une hauteur donnée, la vague peut être raccourcie en partie et en partie la surmonter.

Pour les surfaces à pentes douces, les phénomènes sont différents. La sommité des vagues atteint une plus grande élévation que si la côte était abrupte. La sur-élévation croît d'un flot à l'autre jusqu'à ce que le dernier flot présente presqu'un plan vertical vers la plage ; il déferlera alors, et la lame déferlée, dite lame de retour, redescend la plage, ren-

(1) *Sganzin*, Cours de Construction, T. II, p. 176.

contre une nouvelle lame qui remonte, et rend plus aiguë la forme du nouveau flot, qui se brise à son tour.

Nous ne parlerons pas des lames sourdes de *Brémontier* et des flots de fond dont le colonel *Emy* a établi l'existence dans son ouvrage sur le mouvement des ondes; car, malgré la justesse apparente de sa théorie, on ne peut encore dire qu'elle soit acceptée par les savants et les ingénieurs, qui l'ont en partie combattue avec beaucoup de vivacité (1).

Quoi qu'il en soit de cette théorie, il est certain que les enrochements, établis comme défense au pied des digues, à la mer, ont souvent été nuisibles, en servant comme de béliers pour les détruire.

L'action des vagues est immense en intensité et en étendue. Pour en donner une idée, nous allons copier textuellement un passage du *colonel Emy* (2) :

« Ce sont enfin des flots de fond qui entraînèrent des pierres pesant 150 à 1,200 livres, que Bremontier avait placées sur la berme du chenal de Saint-Jean-de-Luz, pour éprouver de combien elles seraient déplacées, suivant lui, par les vagues; il trouva qu'elles avaient été poussées de plusieurs pieds, la mer étant calme. Des effets autrement surprenants ont été produits au même lieu, et par la même cause, pendant une tempête qui dura du 30 novembre au 5 décembre 1822.

» Pour arrêter les progrès de la mer, qui menaçait d'envahir la ville de Saint-Jean-de-Luz depuis 1726, et dont les lames franchissaient les quais, renversaient les maisons ou les remplissaient de sables et de galets, on construisit en 1747 un mur de 460 mètres de longueur entre la ville et la plage : ce mur fut abattu par la mer en 1782. Il est probable que ses fondations, assises sur le sable, ont été sapées par les affouillements que les flots de fond auront fait à son pied. On lui substitua sur le bourrelet AOE, f. 296, que la mer avait élevé, une estacade, et ensuite une digue, formée d'un massif en terre argileuse mêlée de sable, enveloppée d'une croûte de maçonnerie, genre de construction dont il existe d'autres exemples (3). Des travaux, faits à diverses époques, avaient

(1) Voyez des articles des ingénieurs *Duleau* et *Virla*, Ann. des ponts-et-chaussées, 1832, 1835, 1837 et 1838.

(2) Du mouvement des ondes et des travaux hydrauliques maritimes. p. 69.

(3) La digue ou déversoir du Vadrineau, à Metz, qui soutient un bras de la Moselle, exhaussée de 2 à 3 mètres pour fournir une chute à des moulins situés dans la ville, est un massif de sable enveloppé d'une croûte de maçonnerie d'environ 1 m. 12 d'épaisseur.

donné à cette digue un profil ABCDEF. On l'avait perfectionnée, en réparant des dégâts causés par le coup de mer du 26 avril 1822 : huit contre-forts de $1^{m},50$ d'épaisseur, espacés de 20 à 25 mètres, et fondés par gradins LM, avaient été construits dans le massif en terre, remblayé et damé avec beaucoup de soin; le talus AB, incliné d'environ $23^{d}\frac{1}{2}$ était revêtu d'une maçonnerie d'un mètre d'épaisseur, dont le parement en pavé était formé de grandes pierres de taille plates, liées par l'appareil aux chaînes, également en pierres de taille, correspondantes aux contre-forts. Enfin, un enrochement G, en très-gros fragments de rochers, contenus dans un encaissement en pilotis, et un second enrochement H, également en gros blocs, maintenus par des files de pieux, avaient été ajoutés au pied de la digue sur la partie la plus exposée de son développement, et paraissaient compléter cette construction, exécutée avec une rare perfection, et qui semblait pouvoir défier les plus violentes tempêtes. Cependant, celle du 30 novembre au 5 décembre 1822 a tout détruit. L'effet de cette tempête extraordinaire est esquissé dans la figure.

» D'énormes flots de fond, tels que celui indiqué en N, qui remontèrent la baie de Saint-Jean-de-Luz, vinrent heurter les enrochements; l'ébranlement violent des blocs brisa les encaissements, et ces mêmes blocs en furent arrachés. Quoique leur volume fût de 1^{mmm} à $1^{mmm},50$, et leur poids d'environ 4,000 kilogrammes chacun, ils furent, pour la plupart, jetés à 6 mètres au moins de hauteur sur le talus AB, et même jusque sur la haute berme en B, d'où ils roulaient en bondissant pour descendre. Ils étaient bientôt repoussés par de nouveaux flots de fond, qu'aucun obstacle n'arrêtait, et qui semblaient dans leur fureur se jouer de ces masses énormes, et n'agir que sur de légers ballots. La croûte de maçonnerie fut bientôt déchirée de toutes parts; ses débris fournirent de nouveaux moyens de destruction, et la ruine de toute la digue s'ensuivit. Ce récit peut paraître exagéré : il est cependant fort au-dessous de l'effrayant et admirable spectacle de ce grand désastre.

» Avant que le talus de fond fût détruit, quelques flots de fond vinrent, en brisant, le frapper vers son milieu K, et furent réfléchis en belles gerbes P, qui franchissaient la digue

en entraînant de grosses pierres, qu'elles lançaient à une grande distance du côté de la ville. La tourmente, qui se prolongea jusqu'au 5 décembre, dispersa les décombres, et enfouit dans le sable jusques aux plus gros blocs de l'enrochement. Non-seulement après la tempête la digue avait disparu sur une longueur de 140 mètres, mais on ne retrouva aucun de ses débris. »

Nous avons rapporté tout au long ce passage, tout autant pour donner une idée de la puissance des vagues, que pour montrer comment les plus gros matériaux ne sont pas toujours une défense, qu'on trouverait peut-être mieux dans l'étude approfondie de la forme et de l'inclinaison a donner au talus extérieur des digues.

L'ingénieur *Virla* pense que l'effort des vagues de Cherbourg peut se comparer, sous le rapport de la pression, à l'action d'une colonne d'eau de $3^m,60$, multipliée par la surface choquée.

Sganzin rapporte qu'on a remarqué à Cherbourg que les aspérités des enrochements, étendus sur une plage inclinée, usaient le mouvement des vagues, amortissaient leur vitesse, et diminuaient leur ascension.

On trouvera, dans la Mécanique céleste de *de La Place*, la théorie mathématique des marées, dont les résultats sont reproduits dans la Connaissance des temps et dans l'Annuaire du bureau des longitudes.

Nous allons extraire quelques notions importantes sur les marées, du Dictionnaire des travaux publics, rédigé par le *chevalier Tarbé de Vauxclairs*, inspecteur-général des ponts-et-chaussées.

« On distingue la marée montante et la marée descendante. C'est la même chose que flux et reflux, flot et jusant. Les marées sont peu sensibles dans la Méditerranée (1). Elles sont au contraire très-fortes dans l'Océan; mais elles y varient considérablement de hauteur, selon que les ports sont plus ou moins exposés à l'action des vents, et surtout à la direction des courants. Dans chaque port, on connaît le maximum moyen des marées en vive eau, et le minimum d'ascension moyenne en morte eau. La mer se retire ou s'abaisse moins

(1) Il résulte d'observations faites dans le port de Gênes, que les changements de niveau de la mer sont inverses des hauteurs barométriques, mais que les marées lunaires et solaires ne sont pas sensibles. (Descrizione di Genova e del Genovesato, T. I, p. 101.)

en morte eau qu'en vive eau, et c'est par cette raison que pour les fondations d'ouvrages à la mer il faut, autant que possible, profiter des vives eaux : alors on travaille, même pendant la nuit et à la lueur des flambeaux, pendant les heures de basse mer. C'est ce qu'on appelle marées de nuit.

» Les marées des nouvelles lunes sont un peu plus grandes que celles des pleines lunes ; mais la différence est petite.

» Pour déterminer exactement l'heure de la haute mer, on observe la hauteur à laquelle la mer se trouve à telle minute un peu avant le plein. On observe également, un peu après le plein, l'instant où la marée est redescendue à cette première hauteur, et le milieu entre les deux instants donne exactement l'heure de la marée (1).

» La mer s'élève et inonde nos rivages deux fois dans l'espace de vingt-quatre heures trois quarts. Les deux marées retardent d'un jour à l'autre, comme le passage de la lune au méridien.

» On appelle flux ou flot la marée montante; reflux, ebe, ou jusant, la marée descendante.

» Les plus grandes marées s'appellent grandes malines, vives eaux, gros de l'eau. Les plus petites marées s'appellent mortes eaux.

» Au bout d'une lunaison ou d'un retour de la lune au soleil, les marées reviennent à peu près à la même heure.

» Le flux est plus grand dans les sisigies, c'est-à-dire dans les nouvelles et pleines lunes, et plus petit dans les quadratures, c'est-à-dire lorsque la lune est dans son premier et dernier quartier.

» Dans les sisigies, la marée totale est la somme des deux effets de la lune et du soleil. Dans les quadratures, elle en est la différence

» Les marées retardent tous les jours à peu près comme la lune.

» La haute mer n'arrive pas au moment même où la lune passe au méridien et domine sur nous. C'est un effet de l'inertie des eaux, de leur résistance et du frottement. Ainsi, il n'est pas étonnant que la mer continue de monter, même après que la force de la lune a cessé d'augmenter.

» L'heure de la marée, pour le jour de la nouvelle lune, se nomme l'heure du port ou l'établissement du port.

(1) Il faut prendre les observations assez près du plein, car le temps de l'ascension diffère toujours plus ou moins de celui de la descente.

» Le flot fait environ vingt lieues par heure sur les côtes de France. La grande marée n'arrive jamais le jour même de la sisigie; c'est en général trente-six heures après, et quelquefois plus. On observe le même retard pour les quadratures.

» Les marées sont plus fortes quand la lune est périgée que quand elle est apogée. La hauteur de la mer, à Brest, dans les sisigies périgées, surpasse de plus de cinq pieds la hauteur dans les sisigies apogées. Cent quarante observations ont été conformes à ce résultat.

» La différence moyenne entre une nouvelle lune et une pleine lune, est de quatorze jours dix-huit heures vingt-deux minutes une seconde quarante-quatre tierces, ce qui produit les cinquante-sept marées dans un mois lunaire, ou une révolution synodique de vingt-neuf jours et demi.

» Les retardements dans l'intervalle des marées varient de trente-cinq à quatre-vingt-cinq minutes.

» L'heure de la marée dans les quadratures n'est pas aussi constante et aussi réglée que celle des sisigies.

» Plus on avance vers les pôles, plus la différence de hauteur entre deux marées consécutives d'un même jour va en augmentant.

» Outre la différence qu'il y a entre les deux marées consécutives d'un même jour, il y en a une autre entre les deux parties d'une même marée, qui consiste en ce que la mer met plus de temps à descendre qu'à monter.

» Les observations faites sur les marées des équinoxes donnent des résultats si différents qu'ils ne peuvent pas appuyer le système des grandes marées équinoxiales. Cependant, l'opinion des marins est tellement accréditée à cet égard, que ne pouvant expliquer ces hautes marées par l'influence de la lune et du soleil, on les attribue assez généralement aux vents ordinaires de l'équinoxe, surtout quand ils concourent avec la sisigie et le périgée de la lune.

» Les marins citent souvent la marée extraordinaire du 4 octobre 1724, et le coup de vent de la Saint-François du 4 octobre 1765.

» Les marins ont l'opinion générale que les marées de nuit montent plus que celles de jour.

» Les pêcheurs annoncent souvent que la mer sera très-haute, quand ils ont remarqué que le jusant descendait plus bas qu'à l'ordinaire. Il paraît donc que la hauteur totale d'une marée doit se mesurer depuis le bas du premier établissement de la mer jusqu'au sommet de l'élévation suivante, c'est-à-dire depuis le plus bas du jusant jusqu'au sommet de la mer étale.

» Une marée totale est la différence de la haute à la basse mer pendant la même marée.

» Le 23 août 1724, à Portsmouth, la marée, après avoir monté pendant une heure et demie, s'arrêta, baissa pendant près de trois quarts d'heure, et remonta ensuite à l'ordinaire. Des observations analogues ont été faites sur les côtes de France à d'autres époques.

» La montée naturelle des eaux est double de la descente; par exemple, quand il y a vingt-un pieds de marée dans les sisigies à Brest, la mer descend de sept pieds au-dessous du niveau naturel, et monte de quatorze pieds au-dessus.

» Les marées les plus fortes que l'on connaisse, sont celles de la Manche, à Saint-Malo. On y observe quelquefois quarante-cinq pieds de différence entre la basse mer et la pleine mer. A Dieppe, cette différence est ordinairement de trente pieds dans les vives eaux. »

Dans quelques localités, le mouvement ascendant et le mouvement descendant de la mer sont séparés par *une étale*, ou état stationnaire, qui dure quelquefois plus de deux heures.

On peut citer pour exemple Honfleur, le Hâvre, et d'autres points de la même côte.

La forme des côtes influe beaucoup sur l'étendue des marées comme sur l'intensité des vagues.

Dans un détroit resserré, les dénivellations des rives sont généralement plus fortes que celles du milieu.

Lorsque les ondulations des marées rencontrent des obstacles qui les dérangent, il se produit des courants plus ou moins rapides. Leur direction peut varier pendant la période diurne, et même ils peuvent avancer d'abord et puis rétrograder.

Les vitesses des courants périodiques de flot et de jusant sont variables, et en général plus grandes lorsque les dénivellations de la marée ont été plus fortes.

En certains endroits elles sont de plus de 4^m par seconde, dans d'autres de $1^m,50$.

A l'embouchure des rivières, les effets des marées sont plus compliqués. Quelquefois la mer continue à déverser dans le fleuve même à marée baissante, et d'autres fois les eaux des

fleuves continuent à se verser dans la mer, même après que le flot commence à monter. L'embouchure de l'Adour qui est en entonnoir, avec la partie rétrécie tournée vers la mer, présente le premier phénomène, puisque l'eau des marées, ne pouvant pas s'introduire en assez grande quantité pour remplir le bassin du fleuve, forme pendant la durée du flot un bourrelet à son entrée. La différence de niveau aux sisigies a été trouvée par l'ingénieur hydrographe *Mounier*, de $1^{m},300$.

Dans la Gironde, les marées sont plus fortes dans l'intérieur et jusqu'à Bordeaux, qu'à Royan, près l'embouchure, et qu'à La Tour-de-Cordouan, qui se trouve à l'embouchure même.

Nous citons ces faits, dont on trouvera une explication accompagnée d'autres faits analogues, dans *Sganzin*, Cours de Construction, T. II, et dans un Mémoire de l'ingénieur hydrographe *Daussy*, inséré dans la Connaissance des temps de 1837.

Un phénomène particulier se présente dans quelques rivières et prend des noms différents dans divers pays. En France, il a lieu dans la Seine et dans la Dordogne, et on le nomme *mascaret*.

Le mascaret consiste en deux, trois, et quelquefois quatre flots très-élevés, qui annoncent l'arrivée de la mer ascendante, et qui se suivent en barrant toute la largeur du fleuve et remontant son cours jusqu'à une grande distance. Ils bouillonnent souvent à leur sommet, font entendre un bruit effrayant, et renversent tout ce qu'ils rencontrent, surtout sur les rives et sur les bancs de sable. L'ingénieur *Virla* en a donné une explication dans les Annales des ponts-et-chaussées de 1835, et le *colonel Emy* dans son ouvrage sur le mouvement des ondes (1).

Outre les mouvements de la mer produits par les vagues et les marées, outre les courants et les remous qui en sont la conséquence, et qui varient pour chaque localité, il existe des courants généraux et permanents dont la cause n'est pas encore bien connue.

Nous ne parlerons pas du grand courant de l'Océan, qui

(1) « Le mascaret de la Dordogne parcourt environ 2 lieues du développement de la rivière, de Saint-Pardon à Libourne, en 33 ou 34 minutes, ce qui répond à une vitesse moyenne d'environ 4 m. 50 par seconde. Cette vitesse est beaucoup moins grande que celle du flot de Royan à Bordeaux, qui, d'après les observations de *Bremontier*, est moyennement de 7 m. 65 par seconde. » (*Emy*, Mouvement des ondes, p. 79.)

fait à peu près le tour du globe ; mais nous dirons qu'un courant part du cap Finistère, au sud du golfe de Gascogne, longe les côtes de l'Espagne et du Portugal, et entre dans la Méditerranée par le détroit de Gibraltar.

Dans le fond du golfe de Gascogne, on a signalé un courant marchant du sud au nord depuis Saint-Jean-de-Luz jusqu'à Bordeaux. Sur les côtes de la Biscaye, un autre courant se dirige de l'ouest à l'est.

Enfin, dans la Méditerranée, un courant littoral marche toujours de la gauche à la droite en regardant la mer ; il est fort lent, puisque sa vitesse n'est que de 6 à 7 centimètres par seconde ; sa largeur est à peu près de 5,000 mètres.

On croit aussi avoir remarqué au détroit de Gibraltar deux courants opposés, l'un à la surface qui porte les eaux de l'Océan dans la Méditerranée, et l'autre sous-marin qui suit une route inverse (1).

Passons maintenant à donner un léger aperçu de l'action des mouvements de la mer sur les côtes, des détériorations et des atterrissements qu'ils produisent.

S'il est difficile de prévoir d'une manière tant soi peu assurée la forme définitive que doit prendre le lit d'un fleuve, il est bien plus difficile d'avancer quelque chose sur la forme des rives de la mer, où les mouvements des eaux proviennent de causes si diverses et si complexes, et où la puissance des vagues est immense par son intensité, et la puissance des courants très-efficace par sa continuité.

Cependant, malgré la variété dans la direction des vents, il est certain que pour chaque plage il y a une tendance soit vers l'érosion, soit vers l'ensablement, et à la fin, vers une forme stable dans laquelle l'action des vagues ne se fait plus sentir que dans certaines limites. C'est donc plus par une observation attentive d'une plage, que par des règles *a priori* qu'on peut juger, et, jusqu'à un certain point, prévoir la manière dont elle doit être modifiée par les tempêtes et les grosses mers.

En plusieurs points des côtes, la mer gagne sur la terre, et en d'autres points elle se retire.

Il paraît indubitable que des soulèvements de côtes d'une longue étendue ont fait et font probablement encore surgir de l'eau des plages entières qui s'élèvent peu à peu, mais lentement, au-dessus de leur niveau ; mais en dehors de ces puis-

(1) Voyez le Mémoire sur les ensablements de *Mercadier*.

sants moyens de la nature, dont l'étude appartient à la géologie, l'action seule des eaux, aidée par celle de l'atmosphère et de certains agents chimiques et physiques, détruit les rivages de la mer et accumule les détritus sur d'autres points.

Les dégradations des rives sont plus prononcées dans celles qui sont drésées ou acores, comme on les nomme en terme de marine; mais il est aussi des plages à talus très-doux qui sont journellement corrodées par la mer, qui avance peu à peu vers l'intérieur des terres; il est vrai pourtant de dire que les plages qui s'atterrissent sont en plus grand nombre que celles-ci.

Les vagues sont la principale cause de destruction des rivages; mais elles sont aidées dans les falaises d'une faible consistance par la gelée qui en fait exfolier une partie tous les ans. Leurs effets, sur les côtes susceptibles d'érosion, ont été décrits avec soin par *Lamblardie le père* (1). Suivant cet ingénieur, la côte au nord du Hâvre, sur à peu près 224,000 mètres de longueur, perd annuellement une couche verticale d'une épaisseur moyenne de $0^m,33$, dont les fragments roulés par les vagues sont réduits en galets arrondis.

Il résulterait de ces observations, que les côtes de la mer susceptibles d'érosions, présentent, dans leur partie placée au-dessus du niveau des hautes mers ordinaires calmes, un arc de cycloïde de hauteur variable suivant l'intensité des vagues, et qui arrive jusqu'à 4 mètres; un talus, plus ou moins allongé, tangent à la courbe, la réunit au fond de la mer au niveau des plus basses mers. L'inclinaison de ce talus est très-variable, mais le plus souvent il se rapproche de 7 de base pour 1 de hauteur.

En contre-bas du niveau des basses mers la pente s'adoucit généralement et prend quelquefois jusqu'à 30 de base pour 1 de hauteur, à moins que le fond ne soit en vase, cas dans lequel le talus devient presque abrupte au-dessous de ce niveau. On remarque les mêmes formes dans des amas de galets, que la mer entasse elle-même dans certaines zônes des côtes.

Dans le lac de Genève, auprès de Vevay, le talus du rivage se compose de sable fin; et il est de 10 de base pour 1 de hauteur, jusqu'à 2 mètres ou $2^m,30$ au-dessous des plus basses eaux; plus bas il n'est que de 2 de base pour 1 de hauteur, c'est-à-dire le talus que prend naturellement le sable dans une eau tranquille (1).

(1) Mémoire sur les côtes de la Haute-Normandie.

Les alluvions de la mer ou les dépôts de galets, qui s'établissent aux pieds des falaises en suivent généralement les contours; mais, lorsque amoncelés dans une baie, ils n'ont d'autre soutien que des alluvions antérieures peu résistantes, *Lamblardie père* a remarqué que les vagues les disposent en plan, suivant une ligne courbe dont la concavité est tournée vers la mer du côté du vent régnant, et qui se rapproche d'un arc de chaînette.

La locomotion des détritus n'a pas lieu lorsque la direction des vagues est perpendiculaire à une côte; si elle lui était parallèle il y aurait translation, mais non pas corrosion, d'où il s'ensuit que lorsque le vent fait un angle de 45° avec la côte, les galets cheminent avec la plus grande vitesse. Ces idées théoriques paraissent prouvées également par les observations de *Lamblardie* sur les côtes de Normandie, et de *Zendrini* dans l'Adriatique. On peut en tirer pour conséquence que, si l'angle est rentrant et avec sa bissectrice à peu près dirigée suivant les vents régnants, il se remplira à partir de son sommet où s'accumuleront les alluvions, et, s'il est saillant avec la même direction, les galets chemineront le long de ses côtés vers la base.

Il est évident que lorsque les courants ont lieu dans le sens des vents régnants, la marche des alluvions est plus rapide que lorsque ces deux forces agissent en sens contraire. Dans ce dernier cas il peut y avoir arrêt de mouvement, et en conséquence dépôt des alluvions.

Si la côte forme, en rentrant, une baie tranquille, les alluvions s'y déposeront, soit temporairement, soit d'une manière stable, suivant que l'agitation de l'eau pourra les reprendre dans d'autres directions de vents, ou que la stagnation des eaux aura lieu par tous les vents.

Un obstacle en saillie arrêtera les alluvions du côté d'où elles viennent, un atterrissement aura lieu qui augmentera jusqu'à ce que le courant, passant au dehors de la pointe saillante de l'obstacle, les alluvions pourront continuer leur marche.

Les alluvions se composent de galets plus ou moins gros, de sables et, enfin, de vases, suivant le temps que les matériaux sont restés exposés à l'action des vagues. *Lamblardie*

(1) *Syanzin*, Cours de Construction, T. II, p. 203.

rapporte (1) qu'à Cette des blocs de marbre dur que plusieurs bœufs ont peine à traîner de la carrière à la jetée, sont bientôt réduits, par le roulis des flots, en galets de la grosseur du poing.

A l'embouchure des fleuves, les effets des courants marins se compliquent de ceux des eaux douces, et les alluvions sont augmentées par les matériaux charriés par la rivière. Il se forme de grands dépôts et des barres qui font souvent changer la direction du fleuve, et qui en déplacent peu à peu l'embouchure.

Nous ne pouvons pas entrer ici dans le détail de ces phénomènes compliqués, et différents pour les diverses rivières. Il faudra, pour les étudier, avoir recours aux ouvrages spéciaux, que des savants ingénieurs Français et Italiens ont écrits sur ce sujet important.

Qu'il nous suffise d'observer que des dépôts marins peuvent avoir lieu plus ou moins avant dans le lit des fleuves, et que les atterrissements des fleuves s'étendent toujours plus avant dans la mer pour former des delta, marécageux d'abord, mais d'une grande fertilité dès qu'ils ont acquis assez d'élévation pour être livrés à la culture.

Les barres qui se forment à l'embouchure des fleuves séparent souvent de la mer de grands lacs d'eau salée, qui ne se comblent ensuite que très-lentement, car la mer n'y entre que rarement dans les plus grands orages, et les ensablements sont arrêtés par la barre. C'est ainsi que s'est, peu à peu, formée la Camargue à l'embouchure du Rhône, de même que les deltas du Pô et du Nil. D'après *de Prony*, les alluvions du Pô avancent annuellement vers la mer de 70 mètres en moyenne.

En résumé, par rapport à l'agriculture il y a des ensablements et des envasements qui élèvent peu à peu le niveau des plages, et les rendent, enfin, propres à la culture en les élevant assez pour les mettre à l'abri des hautes mers. De grandes étendues de terres n'ont pas d'autre origine, et, sans citer la Hollande, on peut dire qu'une partie du bas Poitou est ainsi l'ouvrage des flots, de même que tout le delta de l'Egypte l'est des flots et des atterrissements du Nil.

Pour être cultivés, ces terrains n'ont pas besoin d'être parvenus à leur dernier niveau d'élévation. Dès qu'ils sont supérieurs à celui de la basse mer, on peut les enceindre de digues,

(1) Mémoire cité, Dictionnaire des sciences naturelles par les professeurs du Jardin du roi, T. XVIII, p. 92.

empêcher la haute mer de les couvrir, les dessécher et les cultiver.

On appelle lais et relais de mer, les terrains que la mer couvre et découvre alternativement. Lorsqu'ils sont murs, c'est-à-dire qu'une végétation vigoureuse, quoique de mauvaises plantes, s'y est établie, on les garantit par des digues, et on les cultive.

Dans la Flandre on nomme Schoores ces terrains non encore endigués, et Polders ceux qui sont endigués. Lorsque les schoores sont murs, on se presse de les changer en polders par les travaux nécessaires.

Dans le nord de la France on appelle les polders des Watringues.

Tous les atterrissements de la mer ne sont pas également fertiles. Il y en a même de complètement stériles formés de galets purs ; il ne faut donc pas croire que l'opération de les enceindre sera partout également profitable (1).

Dans quelques parties de la Hollande, on n'attend même pas pour enceindre les schoores que leur niveau soit assez élevé au-dessus de celui des basses mers, pour que l'assainissement par des canaux en devienne possible ; on a alors recours à des chapelets ou à des pompes mues par des moulins à vent, ou, en quelques endroits, même par des machines à vapeur. De là un territoire plus bas que le niveau de la mer, et qui menace à chaque orage d'être englouti par la rupture d'une digue, comme cela a déjà eu lieu en partie.

Il est évident que, sans l'action de l'homme toujours pressé de jouir, le niveau du sol se serait peu à peu élevé, et que l'on aurait évité ce danger incessant et maintenant sans remède.

On ne doit pas induire de ce que nous venons de dire, que nous conseillons de ne pas endiguer les relais de mer, mais on doit y voir combien il importe d'attendre pour le faire qu'ils soient murs, et que les dangers auxquels on s'ex-

(1) « Les premières récoltes dans les schoores endigués, sur les bords de l'Escaut, réussissent si bien, que des Hollandais accourent dès qu'il y a un endiguement achevé, font à leurs frais le défrichement, et donnent jusqu'à trois et quatre cents francs de loyer par hectare pour les premières années. Ils y sèment du lin et réalisent, à ce qu'il paraît, d'énormes bénéfices lorsqu'il réussit. Quelques propriétaires préfèrent exploiter pour leur compte cette première fertilité. Ordinairement, ils sèment du colza deux années de suite ; ils prétendent avoir encore plus de profit qu'en cédant aux Hollandais. Après les premières récoltes, les schoores entrent dans la catégorie des meilleures terres à froment et à fourrage, selon la nature du sol. » (*Baron de Rivière*, Maison rustique, T. I, p. 150.)

pose, soient grandement diminués par l'élévation de leur niveau.

Voici ce que dit sur ce sujet le *colonel Emy* (1), très-compétent sur cette matière :

« Les digues dont on entoure les relais de mer qu'on veut dessécher ne doivent point être placées immédiatement à la ligne de l'estran (2), parce que les atterrissements n'y ont point assez de consistance pour les supporter, et qu'il est nécessaire d'assurer aux canaux et rigoles de desséchement un écoulement rapide à mer basse. Mais une considération qui n'est pas toujours assez sentie, c'est qu'il est prudent de ne pas trop exposer les digues à l'action des vagues.

« Cette précaution que l'expérience a enseignée aux dépens des entrepreneurs de desséchement, est confirmée par la théorie des flots de fond. . . . . .

. . . . . .

» Les mêmes principes servent de règle dans la défense des atterrissements, de quelque nature qu'ils soient, lorsqu'ils sont parvenus au terme de leur accroissement, et que la mer tend à les détruire, soit parce que les flots de fond n'y apportent plus de matériaux, soit parce que des courants les atteignent et leur en enlèvent plus que les flots ne peuvent leur en fournir. Dans ces deux cas on oppose à la mer des digues de défense et de garantie, et c'est encore par des flots de fond qu'elles sont attaquées. Les premières revêtent les atterrissement qu'il faut défendre, et leur forment une enveloppe résistante ; celles de garantie n'ont pour objet que d'empêcher la haute mer de s'étendre sur les terres cultivées ; il convient de les placer à quelque distance des digues de défense, pour que les flots de fond ne leur parviennent qu'après qu'ils sont affaiblis par leur choc contre celles-ci, et par leur course sur l'espèce de plage élevée, qui forme le terrain laissé entre les deux digues. Il résulte de cette disposition un autre avantage, c'est qu'une dégradation étant faite à la digue de défense, elle n'atteint pas immédiatement la digue de garantie. »

On voit, avec raison, se reproduire ici les doubles lignes de digues submersibles et insubmersibles, dont nous avons parlé pour l'endiguement des rivières.

(1) Du Mouvement des ondes, p. 110.

(2) Synonyme de plage, partie qui est couverte par les basses marées en temps calme.

Les digues à la mer favorisent, lorsqu'elles sont bien établies, de nouveaux atterrissements, car les matières charriées se déposent à leurs pieds au lieu d'aller se répandre sur une grande surface, et l'élévation du sol est plus rapide d'abord. Il est pourtant évident que, comme généralement le fond de la mer devient de plus en plus profond, la rapidité des atterrissements doit aller en diminuant, et enfin cesser lorsque des nouveaux courants en s'établissant, par le changement de forme des côtes, les matières ne pourront plus se déposer, mais seront, au contraire, emportées.

En plan, la forme qu'il convient de donner aux digues est un peu concave du côté de la mer, mais on est rarement libre de la choisir, et il ne faut pas négliger de les appuyer à quelques points solides pour leur donner une forme plutôt qu'une autre. Ce qu'on doit éviter, ce sont les angles rentrants et prononcés, car les vagues peuvent y acquérir une très-grande force destructive.

Suivant beaucoup d'ingénieurs, la forme concave ne convient que lorsque la longueur de l'ouvrage est oblique relativement à la direction des vagues dans les tempêtes et à celle des courants, tandis qu'elle devrait être convexe pour résister convenablement à l'action normale des vagues. Nous pensons que cette dernière opinion se base principalement sur une comparaison des digues avec les voûtes, qui ne nous paraît pas juste.

Les ingénieurs ne sont pas non plus d'accord sur le profil des revêtements à la mer.

Nous n'avons pas à nous occuper des môles et des revêtements des ports ; nous n'envisageons ici que les digues devant servir à garantir des terrains mis en culture, et nous croyons que les longs talus allongés vers la mer sont à peu près toujours préférables, en vue de leur réussite en Hollande, en Flandre, dans le Bas-Poitou. Nous pensons ici, comme pour les étangs, que ce qu'il y a de mieux à faire, c'est de donner à la digue la forme qu'elle prendrait naturellement, soumise à l'action des vagues. Cette forme, f. 299, a été étudiée dans la Haute-Normandie par *Lamblardie* père, et dans la Basse-Normandie et la Bretagne par les ingénieurs *Potel* et *Mary*.

Le colonel *Emy* observe que les grands plans inclinés, très-allongés, sont, sans contredit, les surfaces qui présentent le moins d'obstacles à la mer, et qu'ils éprouvent d'autant moins de dégradations que leurs pentes sont plus douces. Ces dégra-

dations sont, à leur maximum, au niveau des moindres hautes mers de morte eau. Ces plans inclinés admettent l'emploi des matériaux les moins dispendieux; mais ils ne conviennent réellement que dans les plages susceptibles de s'atterrir, qui sont précisément celles dont l'agriculture s'empare et dont nous nous occupons.

Le colonel *Emy* a établi à Saint-Jean-de-Luz une plage artificielle en sable, f. 297, qui résiste fort bien sur une pente de 11 de base pour 1 de hauteur. La pente du talus dépend, du reste, de l'action des vagues qu'on peut observer sur les plages naturelles, et de la nature des matériaux employés.

Les grands plans inclinés entre les niveaux des hautes et basses mers, surmontés, au-dessus du premier de ces niveaux, d'une courbe cycloïdale, ont réussi dans la Manche et dans l'île de Ré, et au nouveau brise-lames isolé de Cette, dans la Méditerranée.

Les talus allongés ont le défaut d'élever à une plus grande hauteur le point culminant des vagues, et de leur faire atteindre ainsi des points qu'elles n'eussent pas frappés. Les enrochements sont préjudiciables lorsqu'ils se terminent par une partie abrupte; ils sont la cause des avaries éprouvées par les digues de St-Jean-de-Luz et de Cadix.

De même que dans les rivières, on emploie dans les ouvrages à la mer des épis saillants. *Montanari* a observé le premier qu'ils pouvaient être un bon moyen défensif et même réparateur des atterrissements attaqués par la mer. Il a remarqué, en effet, qu'une jetée perpendiculaire à une plage s'ensablait des deux côtés. Ce fait, admis généralement par *Emy*, paraît en opposition avec celui observé par *Lamblardie* père et par l'ingénieur *Frissart* (1), d'après lequel les épis déterminent une défense artificielle sur la plage en amont et occasionnent à la fois en aval des dégradations qui s'étendent souvent sur une grande longueur, et dont la profondeur peut dépasser la naissance de l'épi.

La direction des courants peut seule, ce nous semble, expliquer ces effets différents.

Les figures 295, 255, 254 donnent des exemples d'épis employés en France et en Hollande.

On les fait généralement dans une direction normale à la côte et submersibles aux hautes mers, en tout ou en partie, avec pente vers la mer. Leurs raccordements avec la côte

(1) Histoire du Hâvre, p. 117.

doivent être arrondis, pour former un enracinement en talus.

On les fait, suivant les matériaux qu'on emploie, avec des talus plus ou moins allongés.

Nous terminerons ce que nous avons à dire sur les épis par le passage suivant, extrait de *Sganzin* (1) :

« Les épis de 100 mètres de longueur, exécutés par l'ingénieur *Potel* à l'île de Ré, et qui ont été l'objet d'une notice fort intéressante, insérée par l'ingénieur *Mary* dans les Annales des ponts et chaussées de 1832, présentent, en plan et en coupe, les formes et système de construction indiqués f. 254. On voit que le talus à l'aval du cours des alluvions est très-allongé, pour empêcher les dégradations que la chute des vagues déterminerait de ce côté, après qu'elles auraient gonflé et déversé sur le couronnement.

» Le noyau de l'épi est en terre, ou rocaille, ou sable, revêtu d'une couche de terre glaise, dite *bris* ou bricq. Dans la partie la plus saillante de l'épi, vers le large, ce premier revêtissage n'est séparé des eaux que par un second en maçonnerie à pierres sèches. Mais, plus près de la rive, et dans la zône correspondante au niveau du plan moyen des marées et des hautes mers de morte eau, où la mer a le plus d'action, M. l'ingénieur Potel a recouvert la couche de *bris* par superpositions successives :

» 1° D'une couche de paille ou roseau de cinq centimètres;

» 2° De deux couches de fascines;

» 3° Sur ces couches, on a dressé des bandes verticales de tunages et clayonnages très-serrés, seulement à $0^m,20$ d'intervalle.

» En Flandre ou en Hollande, où il s'agit d'arrêter seulement la marche des vases et des sables, et principalement pour exhausser une plage naturelle très-allongée, les épis, suivant leur importance, se classent :

» 1° En *slyck-wangers* ou *amasseurs de boue*, qui, en travers, sont disposés suivant un arc de cercle de 2 à 3 mètres de coude, et de $0^m,25$ à $0^m,30$ de flèche, et sont formés d'un noyau de glaise, engagé dans la plage, et recouvert de fascines à plat; le tout est fixé au sol par des rangs de clayonnages, f. 256.

(1) Cours de Construction, T. II, p. 299.

» 2° En épis d'ensablement, à section triangulaire, arrondis à leur tête, ou musoir vers le large, plus élevés que les précédents, ayant 6 mètres de largeur à la base et $1^m,25$ de hauteur, non compris $0^m,30$ d'enracinement dans le sol. Ils se composent d'un rayon en terre glaise et de couches de fascines superposées et placées en retraite les unes sur les autres, la tête en dehors. Le tout est lié au sol par des lignes de clayonnage; mais, ici, les cases entre les lignes de tunages sont remplies de blocailles pour être mieux défendues contre les paquets de mer, f. 257.

» 3° En *Palhoolfd*, ou têtes à la mer, qui ont jusqu'à 150 à 200 mètres de longueur, et sont composées d'une ou de plusieurs lignes de pieux presque jointifs. Ces pieux, de 4 à 5 mètres de longueur, s'élèvent à $1^m,80$ ou $2^m,10$ au-dessus de la plage, et sont reliés par des ventrières. Sur toute l'étendue de l'ouvrage et sur les rives, s'étend un fascinage à plat, comme celui des slyck-wangers, afin d'éviter les affouillements, f. 258.

» Sur un fond de roches, les moyens indiqués ci-dessus ne conviendraient pas évidemment, et alors il faudrait recourir aux maçonneries en pierres sèches, qu'on pourra disposer comme il est indiqué f. 255 *bis*.

» M. l'ingénieur *Mary*, dans la notice indiquée ci-dessus, recommande avec raison, lorsque plusieurs épis doivent être établis sur le même côté, de commencer le travail par celui qui est en aval, relativement au point de départ des matières alluvionnaires, et de ne procéder à celui qui est immédiatement en amont de lui qu'après que le premier aura produit tout son effet; d'autant que la limite des dépôts obtenus déterminera la distance à laquelle les épis doivent être établis. »

Les matériaux à employer dans la construction des digues à la mer sont ceux qu'on peut se procurer le meilleur marché possible.

On n'emploiera donc que fort rarement la maçonnerie en pierre de taille, et même la maçonnerie en moellons et le béton.

Les digues seront, le plus souvent, en terre, avec ou sans revêtement en perrés, ou en pierres sèches, ou enfin en tunage, construites comme celles des rivières dont nous avons parlé plus haut.

Les fascinages à plat ou de soutènement, les tunages, les

plates-formes, etc., sont employés en Hollande, en Flandre et dans le Bas-Poitou, et sont d'une énorme ressource là où les autres matériaux manquent absolument ou sont fort rares. Ces travaux doivent leur réussite au grand soin avec lequel ils sont construits et entretenus, et à leur position sur des plages qui s'atterrissent naturellement.

On peut aussi dire que les talus très-allongés des revêtements et la grande hauteur de leur couronnement au-dessus de l'eau sont une condition de leur stabilité.

L'ingénieur *Plantier*, qui, à la pointe de Devin de l'île de Noirmoutier, a établi une digue d'après les projets de l'ingénieur en chef *Dan de la Vautrie*, en imitant les ouvrages du même genre qui défendent la pointe de West-Capell de l'île de Walcheren, croit avoir observé que ce genre de travail, qui réussit très-bien dans les pays froids et humides, est moins durable sur les côtes où l'ardeur du soleil dessèche promptement les bois de fascinage, et que, dans de telles localités, les ouvrages en pierre sont préférables.

Bélidor conseille, à raison, d'établir ces travaux de manière qu'ils soient immergés le plus possible, et que les parties immergées soient soustraites aux influences atmosphériques, autant que faire se peut.

Les constructions en bois seraient, en vue de l'économie et de la rapidité d'exécution, souvent adoptées pour les ouvrages à la mer; mais, malheureusement, sur plusieurs côtés, elles ne sont presque d'aucune durée; les vers marins les rongent, et, en trois ou quatre ans, elles sont détruites.

Nous ne parlerons pas des constructions en maçonnerie, qui nous paraissent sortir de notre cadre, et, quant aux perrés, nous renvoyons le lecteur à ce que nous en avons dit en parlant des rivières.

La paille elle-même a été employée par *Plantier* avec avantage dans ses ouvrages à la mer; on en verra un exemple dans la f. 229.

La dépense qu'occasionne toujours l'endiguement d'un polder est souvent fort élevée, et il ne faut pas se faire illusion sur les résultats obtenus ailleurs; il faut, avant de commencer, se rendre bien compte, par des devis exacts, de la dépense initiale et d'entretien que nécessiteront les travaux.

Quant à l'assainissement et à l'écoulement des eaux des polders, nous renvoyons à ce que nous avons dit sur les marais dans le chapitre précédent. Observons seulement ici que,

dans certaines localités, comme dans la Camargue, la terre fortement salée est infertile, à moins qu'on ne puisse la dessaler par des irrigations abondantes, moyen qui n'est lui-même souvent qu'un palliatif (1). Dans d'autres endroits, comme en Hollande et en Flandre, la salure de la terre n'est pas longtemps un obstacle à sa culture.

Le desséchement, enfin, des lacs salés, ne présente pas de différence avec celui des lacs d'eau douce.

Du reste, l'intérêt de l'agriculture n'est pas le seul à consulter dans les endiguements des polders, et l'Etat qui doit les concéder a également d'autres intérêts à sauvegarder, ce qui rend ces concessions moins fréquentes que l'état de nos côtes le ferait supposer d'abord.

(1) Nous avons entendu dire par *de Gasparin*, à la Société centrale d'Agriculture, que, dans la Camargue, la terre ne se dessale jamais complètement, et que peu de temps après les irrigations les plus abondantes, elle est aussi salée qu'auparavant, car le sel vient par des suintements souterrains à la surface.

Universidad de Navarra - Biblioteca de Humanidades - Instituto Cervantes - Zaragoza

IRRIGATION
ET ASSAINISSEM
DES TERRES

2

Z-1-349