

découvre alors, si l'on a eu réellement affaire à du sang, des milliers de cristaux d'hémine.

MM. Scriba, Simon et Büchner, qui ont répété les expériences de M. Brücke, les ont trouvées parfaitement exactes. L'extrait d'une tache de sang, même assez petite, formée sur un morceau de toile de chanvre, sur du coton, du bois ou du métal, laisse apercevoir, au microscope, des milliers de cristaux d'hémine. D'après ces expérimentateurs, l'addition du sel marin n'est nécessaire que dans certains cas, et l'on peut se dispenser de l'évaporation dans le vide ou au bain-marie; mais pour obtenir des cristaux très-nets, il est toujours utile d'évaporer lentement et avec précaution, à une température de 40 à 60° centigrades. Lorsque les taches de sang sont encore assez fraîches, ou simplement desséchées sans avoir été lavées, on opère plus rapidement en faisant bouillir les taches conjointement avec la toile, le tissu de laine ou de coton ou le bois sur lesquels elles se trouvent, avec un peu d'acide acétique monohydraté dans un petit matras; on évapore ensuite à siccité quelques gouttes de la solution sur un verre de montre placé sur un bain de sable moyennement chaud (à 60° centigr.), et l'on examine le résidu au microscope.

Lorsque les taches de sang sont déjà anciennes ou qu'elles ont été partiellement lavées avec de l'eau, qui a pu enlever les sels contenus dans le sang, l'addition d'un peu de sel marin, avant l'évaporation à siccité, est indispensable, et pour cette raison, il vaut mieux l'employer de prime abord dans les recherches médico-légales, surtout lorsqu'on n'a que peu de matière à sa disposition.

ART DES CONSTRUCTIONS.

1

Les Travaux du pont de Kehl sur le Rhin.

Les travaux que la compagnie du chemin de fer de l'Est fait exécuter pour la jonction des lignes françaises avec les chemins allemands, et le pont qu'il s'agissait de jeter sur le Rhin, entre Strasbourg et Kehl, ont amené la réalisation pratiquée d'un système tout nouveau pour la fondation des piles au fond des fleuves, système qui est destiné à faire époque dans les annales de l'art. Nous allons essayer de faire comprendre la nature particulière de cette entreprise, les obstacles qu'elle a dû rencontrer et les progrès qu'elle doit imprimer à l'art des constructions.

Depuis plusieurs années la compagnie de l'Est poursuivait des négociations pour obtenir des États allemands l'autorisation de construire un pont sur le Rhin, entre Strasbourg et Kehl. Ce n'est pas sans de longs pourparlers que la diète consentit à ce travail et autorisa le duché de Bade à y prendre part. L'Allemagne finit pourtant par comprendre qu'elle n'aurait rien à redouter de ce traité d'union commercial jeté entre les deux nations que séparent les eaux du Rhin, et le 7 septembre 1857, une convention internationale fut conclue entre le duché de Bade et la France pour régler toute la marche de ce grand travail.

Le 2 juin 1858, un projet définitif fut adopté en com-

mun par les ingénieurs français et badois. Il était stipulé dans ce projet, que les ingénieurs français se chargeaient de fonder les piles et les culées du pont, qui aurait 225 mètres de longueur, et que le tablier et la superstructure de pont seraient l'œuvre des ingénieurs badois. ¹ La dépense totale devait être supportée à part égale par les deux parties intéressées.

En revendiquant la tâche qui consiste à jeter les fondations du pont de Kehl, les ingénieurs français se montraient fidèles au caractère de notre nation, qui aime à réclamer en tout la tâche difficile et glorieuse. En effet, bâtir sur le fond du Rhin les piles et culées d'un pont fixe, c'était une tâche dont les difficultés peuvent être aisément comprises.

Nos lecteurs savent qu'on ne peut citer que le pont de Cologne comme pont fixe sur tout le trajet du Rhin allemand. Les obstacles politiques n'ont pas été les seuls à empêcher la jonction plus fréquente des deux rives française et germanique. Le fond du Rhin est un gravier, et l'épaisseur de cette couche est si considérable, qu'il a été jusqu'ici impossible de la déterminer. On a poussé des sondages jusqu'à 80 mètres de profondeur sans trouver autre chose que du gravier. Ce gravier est si mouvant, surtout dans les parties qui présentent un courant rapide et qui opposent un obstacle à l'écoulement des eaux, qu'on voit se produire sur le fond du Rhin des affouillements qui peuvent aller jusqu'à 15 et 20 mètres de profondeur. L'expérience a fait reconnaître que, pour bâtir

1. A l'époque de la guerre d'Italie, cette circonstance que les ingénieurs français devaient construire les piles de maçonnerie et les ingénieurs allemands le tablier du pont, a fait naître le quatrain suivant :

Le pont fixe du Rhin sera bien fait, je crois,
Car on a confié chaque œuvre aux plus habiles :
L'Allemagne fournit le bois,
La France se charge des piles.

sur le lit de ce fleuve des fondations résistantes, il faut leur donner 20 mètres de profondeur. On voit, d'après ces conditions, quels obstacles nos ingénieurs avaient à surmonter pour l'édification du pont de Kehl.

Ces obstacles étaient tels que l'on n'a osé se fier à aucun des systèmes qui ont été employés jusqu'ici pour l'établissement des piles de pont.

Bien que le pont de Cologne soit construit sur de simples pilotis, on ne pouvait songer à adopter, à Kehl, ce système de construction. Mais il était une autre méthode qui pouvait à la rigueur inspirer toute sécurité. Nous voulons parler du système de fondation tubulaire, plus généralement connu sous le nom de *méthode anglaise*, bien qu'il ait été imaginé par un Français, M. Trigert, qui l'appliqua, pour la première fois, dans les terrains aquifères du bord de la Loire. Cette méthode a été employée plusieurs fois à de grandes constructions : en Angleterre, pour la fondation des piles du pont de Rochester; en France, pour le pont du Rhône, sur le chemin de fer de Lyon; pour celui de Moulins, sur l'Allier; enfin, tout récemment, en Hongrie, au pont de Lzegedin, sur la Theiss ¹.

1. M. Prat a donné, dans le *Messager de l'Allier*, lors de la construction du pont tubulaire de Moulins, l'aperçu historique suivant de la découverte du système de fondation des piles de pont par l'air comprimé.

« Vers 1845, dit M. Prat, un ingénieur français, M. Trigert, chargé de l'établissement et de l'exploitation des houillères de Chalonnes (Maine-et-Loire), situées dans une île de la Loire, se servit d'un procédé tout nouveau pour se mettre à l'abri de l'invasion des eaux dans le forage des puits d'extraction et dans l'exploitation même de la mine. Dès que les puits furent arrivés au niveau de l'eau, il y fit descendre un tube en fonte formé d'anneaux cylindriques de un à un mètre et demi de rayon, boulonnés entre eux; après avoir établi sur sa partie supérieure un appareil, auquel on a donné le nom de *sas-à-air*, il y comprima de l'air au moyen d'une machine soufflante; cet air, agissant comme un piston, repoussa l'eau qui se trouvait à la partie inférieure du tube, par-dessous ses bords, et les ouvriers descendus au fond du puits purent y continuer leur travail de forage, sans être incommodés par les eaux.

Mais à mesure que cette opération se continuait, le tube descendait

Ce système consiste à faire descendre sur le lit du fleuve de vastes tubes de fonte ouverts à leur partie inférieure qui repose sur le fond du fleuve, et fermés à leur partie supérieure, à peu près comme un verre à boire. Dans ce cylindre, on envoie, au moyen d'une large ouverture pratiquée à sa partie supérieure, et qui est surmontée d'un tube ou cheminée, de l'air comprimé qui, par sa pression, chasse l'eau et prend sa place. Dès lors, des ouvriers peuvent descendre à l'intérieur de ce cylindre, arriver sur le lit du fleuve et le creuser; pour enlever les déblais, on leur fait suivre le même chemin. A mesure que le forage avance, on rajoute par la partie supérieure de nouveaux anneaux au cylindre métallique, jusqu'à ce que l'on soit

et on y ajoutait de nouveaux anneaux par sa partie supérieure. C'est ainsi qu'on est arrivé à dépasser les couches aquifères du lit de la Loire, et qu'aujourd'hui on extrait continuellement des masses de charbon de cette mine ouverte au milieu des eaux.

En 1852, un ingénieur anglais, M. Cubbit, chargé de la direction des travaux du pont de Rochester (comté de Kent), se rappelant les résultats remarquables obtenus par l'emploi de l'air comprimé dans les mines de Châlonnes, eut l'idée, non plus d'enfoncer ses pilots comme l'avait fait M. Pons au moyen du vide, mais bien au moyen de l'air comprimé. Je n'indiquerai pas ici ses procédés qui sont à peu de chose près ceux employés au pont de Moulins.

Le pont de Rochester, tout en maçonnerie, repose sur deux piles; chacune d'elles est établie sur une plate-forme soutenue par quatorze pilots en fonte de deux mètres de diamètre et remplis de béton. Les fondations de ce pont ont jusqu'à dix-huit mètres de profondeur.

Enfin, il y a deux ans, dans la construction du pont de Mâcon, on modifia un peu ce système: le diamètre des pilots fut porté jusqu'à trois mètres; on réduisit leur nombre à trois par pile, et enfin, au lieu de les arrêter au niveau de l'étiage pour y asseoir les maçonneries, on les éleva jusqu'à hauteur du tablier qu'ils soutiennent, en en faisant de véritables colonnes remplies de béton et reliées entre elles par des panneaux en fonte.

Le primitif pilot en bois est devenu pilot en fonte; puis augmentant sans cesse de diamètre, il est devenu colonne et pile. L'opinion publique en France, toujours prévenue en faveur de l'industrie étrangère, et surtout britannique, s'est donc trompée, comme elle l'a fait souvent en accordant à nos voisins d'outre-Manche la priorité dans la découverte de ces nouveaux procédés, alors qu'ils sont dus à un Français, M. Trigert. »

arrivé à la profondeur désirée. Cette profondeur atteinte, on remplit, à ciel ouvert, avec du béton, l'excavation pratiquée dans le fleuve, et l'on obtient ainsi une fondation, partie en métal, partie en béton, sur laquelle on construit ensuite la maçonnerie des piles. Il faut employer un certain nombre de ces tubes de fonte pour construire une pile de pont.

Ce système de fondation aurait pu, à la rigueur, être suivi pour le pont du Rhin. Mais on aurait été entraîné ainsi à employer un grand nombre de tubes, surtout pour les deux piles extrêmes (culées), qui doivent avoir chacune 23 mètres de longueur sur 5^m,8 de largeur à leur base. Et comme ces tubes ne peuvent être enfoncés que successivement, il aurait fallu consacrer au moins trois années au travail de la fondation des piles.

Telles sont les considérations diverses qui amenèrent les ingénieurs du chemin de fer de l'Est à chercher un système nouveau pour la fondation des piles du pont de Kehl. C'est à M. Fleur Saint-Denis, ingénieur principal, que revient l'idée du système tout nouveau auquel on a eu recours, et qui, grâce au concours des autres ingénieurs attachés à la direction supérieure ou à l'exécution des travaux, a rapidement dépassé toutes les espérances que l'on en avait conçues¹.

Le système imaginé par M. Fleur Saint-Denis et qu'il a mis à exécution avec le plus complet bonheur, sous la direction de M. Vuignier, ingénieur en chef du chemin de fer de l'Est, est un perfectionnement vraiment capital de la méthode dite *anglaise*, c'est-à-dire de la fondation tubu-

1. Le personnel dirigeant les travaux du pont de Kehl est ainsi composé: MM. Vuignier, ingénieur en chef, Fleur Saint-Denis, ingénieur principal; M. de Sapel, ingénieur ordinaire, MM. Joyaut et de France, chefs de section. Le service des machines, représentant plus de 170 chevaux-vapeur, est dirigé par M. Maréchal, inspecteur du matériel de la Compagnie de l'Est.

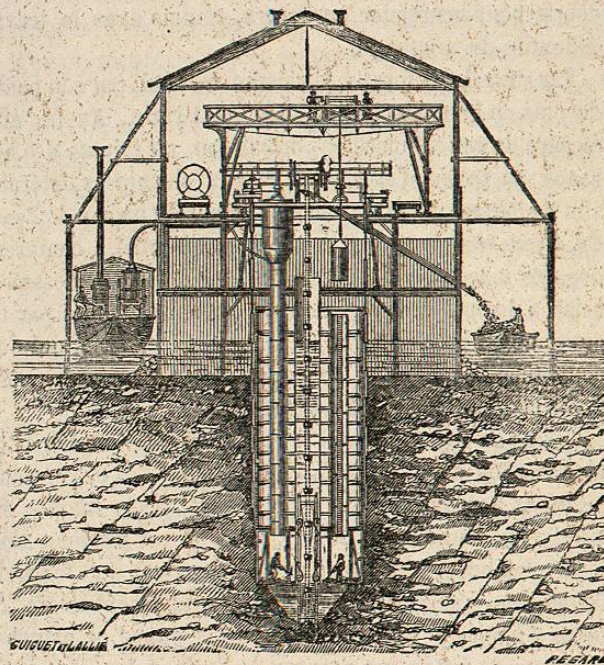
laire. Au lieu de faire passer par la même route, c'est-à-dire par le tube contenant l'air comprimé, et les ouvriers et les déblais, ce qui allongé considérablement les manœuvres, M. Fleur Saint-Denis n'introduit l'air comprimé que dans le tube où doivent travailler les ouvriers, et il fait élever les déblais provenant du creusement par une *noria* (puits à roues) qui se meut tout simplement au milieu de l'eau. Voici les dispositions pratiques par lesquelles cette belle idée a été mise à exécution sur le Rhin.

On a fait descendre sur le lit du fleuve quatre caissons de tôle, ayant chacun 7 mètres de largeur, 5^m,80 de longueur 3^m,60 de hauteur. C'est sur ces quatre caissons que l'on a bâti les 20 mètres de fondation que doit avoir chaque pile. Mais comment peut-on faire descendre ces quatre caissons à la profondeur de 20 mètres dans le lit du fleuve, pour bâtir par-dessus les fondations? Considérons, pour le comprendre, un seul de ces quatre caissons, puisque les opérations sont les mêmes pour chacun d'eux.

Chaque caisson est fermé à sa partie supérieure, et ouvert à sa partie inférieure qui repose sur le lit du fleuve. Il est muni de trois ouvertures surmontées chacune d'un tube vertical, c'est-à-dire de trois cheminées. La cheminée du milieu a 1 mètre 5 de diamètre, et se prolonge, à travers l'intérieur du caisson, jusqu'à sa partie inférieure, c'est-à-dire qu'elle est en contact avec le gravier du fleuve. Elle est occupée par l'eau, et dans son intérieur se meut la *noria*, qui doit extraire et amener au dehors le gravier provenant du creusement. Les deux cheminées latérales ont 1 mètre de diamètre; c'est dans cet espace que l'on envoie l'air comprimé; c'est par là que s'introduisent les ouvriers employés à creuser le sol.

Voici maintenant la marche générale du travail. La figure suivante, qui représente l'élevation de l'une des têtes du pont et la coupe transversale d'une pile, facilitera l'intelligence de cet exposé.

Le caisson, avec les dispositions que nous venons de faire connaître, c'est-à-dire avec son tuyau central plein d'eau, consacré à l'extraction des déblais, et ses deux cheminées latérales plus petites, destinées à se remplir d'air comprimé et à recevoir les ouvriers, est descendu au fond du fleuve au moyen de quatre puissantes vis, de manière



à venir reposer sur le fond. Par l'une des cheminées latérales, on envoie, dans l'intérieur du caisson, de l'air comprimé, qui, en raison de sa pression plus forte que celle de l'eau, chasse l'eau de l'intérieur de ce caisson et prend sa place. Dès lors, les ouvriers peuvent pénétrer dans le caisson, qui ne contient plus que de l'air comprimé; ils y descendent par l'une des deux cheminées latérales.

Une *chambre d'entrée*, munie de soupapes, permet aux ouvriers de s'introduire dans l'intérieur de la cheminée et du caisson, sans donner issue à l'air comprimé qui les remplit. Arrivés dans le caisson, autrement dit sur le lit du fleuve, ils y creusent le sol et jettent le gravier extrait, sous l'orifice de débouchement du tuyau central, à l'intérieur duquel joue la *noria*, qui recueille incessamment ces débris pour les rejeter au dehors, comme dans le travail ordinaire du dragage.

Par suite de ce forage, le caisson descend, par son poids, de plus en plus dans l'intérieur du terrain. Au fur et à mesure de cet enfoncement du caisson, on rajoute des anneaux au tuyau d'extraction et aux cheminées latérales afin de les maintenir toujours au-dessus du niveau de l'eau. En même temps, et c'est ici le point essentiel à comprendre, des maçons, placés à l'extérieur, jettent par-dessus le caisson des pelletées de béton qui sont maintenues par un coulage ou enveloppe en bois. Cette maçonnerie, qui doit constituer la fondation de la pile, facilite encore par son poids la descente de tout le système.

C'est par ce moyen que le caisson de tôle s'enfonce de plus en plus dans les profondeurs du sol, se recouvrant, au fur et à mesure de son enfoncement, d'une colonne solide de maçonnerie en béton. Quand on est parvenu ainsi à la profondeur de 20 mètres au-dessous du fond du fleuve, on s'arrête : les ouvriers remplissent alors de béton l'intérieur même du caisson, et quand ce plancher intérieur de béton est parvenu à l'orifice des cheminées latérales, ils se retirent sans le moindre danger par cette cheminée. On a, de cette manière, construit une colonne de maçonnerie de béton de 20 mètres de profondeur ayant à sa base le caisson métallique, rempli lui-même de béton.

Le même travail ayant été fait simultanément pour les quatre caissons qui doivent composer l'une des piles du pont, la pile se trouve ainsi construite en totalité.

Telle est, dans son ensemble, la méthode vraiment remarquable qui a été mise à exécution pour l'édification du pont de Kehl. On comprend toute la supériorité que présente ce système sur la *méthode anglaise*, c'est-à-dire les fondations tubulaires. Au lieu d'enfoncer les tubes successivement, ce qui aurait entraîné de grandes longueurs, on enfonce les quatre caissons simultanément, et le travail se fait ainsi d'un seul coup. C'est encore un perfectionnement bien important pour la facilité des travaux, que d'avoir séparé le tuyau servant à l'extraction des matériaux, de celui qui sert à introduire les ouvriers. Le travail est ainsi beaucoup accéléré ; et cela, d'autant plus que, comme il existe deux cheminées pour l'introduction des ouvriers, l'une reste toujours en fonction, tandis que l'autre se trouve en réparation ou exhaussement.

Au mois de mai 1859, les quatre caissons sur lesquels devait s'élever la pile-culée de la rive française étaient déjà enfoncés à 14 mètres de profondeur au-dessous du fond du fleuve. La pile-culée de la rive badoise fut attaquée dans le mois suivant ; on obtint ainsi, pour ces piles-culées, deux massifs de maçonnerie et de béton ayant chacun 7 mètres de large, 23 mètres de long et hauts de 20 mètres. C'est sur ces blocs que l'on montera les supports du tablier, qui seront en granit des Vosges et de la forêt Noire.

D'après le projet international, c'est-à-dire la convention entre la compagnie de l'Est et celle des chemins de fer badois, les piles extrêmes, ou culées, devaient seules être exécutées en maçonnerie : les deux piles intermédiaires pouvaient être construites dans le système des tubes en fonte, en fondation comme en élévation. Mais on a reconnu en entrant dans les détails pratiques, que des tubes en fonte, employés en élévation pour construire les piles intermédiaires, auraient un aspect peu architectonique avec les piles-culées construites en maçonnerie ; on a donc pris

le parti de construire les quatre piles dans le même système.

En résumé, le pont du Rhin sera composé de cinq travées. Les deux travées extrêmes, touchant aux rives française et badoise, et qui seront longues de 26 mètres chacune, seront mobiles, c'est-à-dire constitueront deux espèces de *ponts tournants*, qui permettront d'interrompre, quand on le voudra, le passage et la circulation sur le pont. La politique allemande, qui a prévu le cas de guerre, a exigé cette disposition; mais le bon sens des deux peuples la rendra inutile. D'ailleurs, avec les moyens de guerre que la France possède actuellement, ce n'est pas le passage d'un fleuve, même le Rhin, qui l'empêcherait d'aller chercher ses ennemis sur une rive opposée.

Les trois travées fixes ont chacune 56 mètres de longueur, ce qui, avec la hauteur des piles de granit qui supporteront le tablier, porte à 225 mètres la longueur totale du pont du Rhin.

Les travées fixes seront composées de trois *fermes* en treillis de fer; les ponts tournants seront composés de trois *fermes*, en tôle pleine de 60 mètres de longueur chacune.

Ce pont donnera passage à deux voies ferrées. Il portera, de chaque côté, deux passerelles qui pourront servir aux piétons. Rien n'eût été plus facile que d'établir, au lieu de cette double passerelle à l'usage exclusif des piétons, un passage pour les voitures; mais la Confédération germanique s'y est formellement opposée; et c'est encore là un bien fâcheux témoignage de l'inexplicable défiance de l'Allemagne contre ses voisins.

Tous les travaux, dont nous venons de présenter l'ensemble, ont continué de marcher pendant toute l'année 1859 avec la plus grande régularité dans le chantier de la rive française du Rhin, qui occupait six cents ouvriers. Trois machines à vapeur, placées sur des bateaux, manœuvraient les machines soufflantes qui envoyaient l'air

comprimé à l'intérieur des caissons et des cheminées latérales. Des tuyaux en caoutchouc, renforcés par plusieurs enveloppes concentriques de toile, dirigeaient l'air à l'intérieur des caissons. Une autre machine à vapeur faisait marcher les *norias* qui extrayaient le gravier du fond du Rhin. Enfin, des pompes à eau étaient prêtes à arrêter tout commencement d'incendie, et il fallut déjà y recourir plus d'une fois.

La figure qui sert de frontispice à ce volume et qui représente la coupe longitudinale de l'une des piles, permet de saisir l'ensemble des opérations qui viennent d'être décrites.

Nous avons voulu juger par nous-même de l'influence que doit exercer sur les ouvriers le séjour dans l'air comprimé, et, au mois d'avril 1859, dans une visite de ces beaux chantiers à laquelle la compagnie des chemins de fer de l'Est avait convié un certain nombre d'ingénieurs et de publicistes, nous sommes descendu, en compagnie de quelques personnes, dans l'intérieur de la cheminée et du caisson, qui se trouvait alors à 14 mètres au-dessous du lit du fleuve.

Un séjour de trois quarts d'heure dans cette atmosphère ne nous fit ressentir aucune impression particulière. Seulement, à mesure que l'air comprimé s'accumule, par le jeu des machines soufflantes, dans le long boyau qui vous sert de prison, on éprouve dans les oreilles une légère douleur, qui provient de ce que la membrane de la caisse du tympan est distendue, du dehors en dedans, par la différence de pression entre l'air comprimé à 2 atmosphères $1/4$ qui se trouve à l'extérieur, et l'air à la pression naturelle de l'atmosphère qui occupe, dans l'oreille interne, l'intérieur de la caisse du tympan.

La respiration ni la circulation ne sont sensiblement modifiées dans l'air comprimé. Nous nous attendions à constater plus d'intensité dans les sons ou dans les