
QUATRIÈME PARTIE.

CHAPITRE IX.

*Sur les moyens de faire la charpente de la même travée
en fer.*

L'OBJET de ce chapitre est de démontrer les avantages qu'il y auroit de remplacer les bois de charpente par des fers dans la construction des ouvrages publics, comme dans celle des édifices domestiques.

Ce problème est nécessairement un de ceux qui doit intéresser le plus la société, si on considère que la dévastation prochaine des forêts du royaume, d'où on ne cesse d'extraire des bois pour les grandes constructions que les progrès de la population, du commerce & de la marine sollicitent en concurrence, obligera incessamment à cette conversion.

M. de Réaumur & M. de Buffon avoient déjà réclamé, dans les mémoires de l'académie des sciences de Paris, (années 1721 & 1739) contre le dépérissement des forêts & contre la cherté des bois; mais M. de Telles d'Acoftat, qui s'est occupé de cet objet en dernier lieu par état, & en citoyen sans doute, a démontré de plus (a) qu'il ne restoit

(a) Considérations sur la population, par M. Moheaud.

plus que douze cent mille voies de bois de chauffage en France au-delà de la consommation annuelle de ce royaume ; en sorte que si on suppose que chaque famille en consomme douze voies par année , suivant un régime moyen , il s'ensuit que lorsqu'il y aura cent mille familles de plus dans l'état , ce qui ne peut pas tarder sous un gouvernement actif , il y aura équilibre entre la végétation & la consommation de cette production , qui doit être considérée cependant comme un des premiers besoins de notre existence.

Je n'ignore pas que des artistes , auxquels on doit savoir gré , se sont déjà occupés des mêmes moyens , soit dans cet objet économique , soit dans celui de garantir nos édifices des incendies , & il en existe même des exemples (a) ; mais on ne voit point qu'aucuns d'eux soient entrés dans des détails ni dans des démonstrations qui indiquent des limites mathématiques auxquelles on puisse s'arrêter pour les proportions qui doivent convenir à la statique & aux causes physiques dont cette question est compliquée ; en sorte que jusqu'ici on ne peut regarder ces productions que comme des excursions de génie , qui doivent être circonscrites par la théorie & par l'expérience.

Une des raisons qu'on pourroit opposer à ce système , seroit peut-être la crainte du renchérissement qu'il opéreroit sur les fers par le débit extraordinaire de cette matière ; mais la balance se trouve précisément à côté.

(a) La manécanterie , ou école des enfants de chœur à Lyon.

Le prix des fers est nécessairement subordonné à celui des bois, puisque c'est avec ceux-ci qu'on fabrique les autres : or, si par cette conversion on peut faire une telle économie sur les bois, qu'on en emploie huit à dix fois moins, il est évident qu'elle influera sur les fers dans la même proportion.

Au surplus, les nouvelles mines de fer & de charbons de terre qu'on découvre tous les jours, & les canaux dont on s'occupe pour le transport de ces matières pesantes, laissent entrevoir que la valeur de ces fers pourra rester dans la balance actuelle, indépendamment de leur débit, puisque dès aujourd'hui même on fait que la France est fournie de manufactures de fers qui s'étendent bien au-delà de sa consommation.

Une autre opinion qui paroîtroit encore militer contre le fer employé comme support, seroit peut-être fondée sur ce qu'il plie beaucoup plus que le bois, parce qu'on en jugeroit sans doute par celui des premiers calibres qu'on fait agir en même temps comme tirants, en lui donnant une tension qui, en anticipant sur son adhérence absolue, diminue d'autant sa résistance transversale.

En effet, les fers d'un pouce, comparés au bois du même calibre, plient en raison de leurs masses sous la même longueur, & ces masses sont entr'elles comme 8 & 1 ; de sorte que si la résistance du fer ne croissoit ensuite que suivant la même loi des bois, sa flexibilité suivroit constamment le même rapport ; mais si au contraire cette résistance augmente dans l'ordre d'une progression qui soit transcendante, il doit arriver que lorsque le fer, huit fois plus pesant que le bois,

fera aussi huit fois plus fort ; le fer & le bois dans l'état où leurs résistances seront identiques , & où les volumes seront en raison des masses , ne fléchiront pas plus l'un que l'autre.

Je commencerai donc par rapporter les expériences sur lesquelles cette démonstration doit être fondée ; & attendu que les bois sont l'objet que je dois comparer aux fers, j'établirai le rapport qui subsiste entre leurs forces , autant que les circonstances physiques peuvent permettre d'accorder ces expériences avec les principes rigoureux de la géométrie.

Les fers dont je me suis servi étoient des forges de Bourgogne , dont le pied cube a pesé , pour ceux en barre , 504 livres poids de marc , & 540 livres pour ceux en verge qui proviennent de fers plats refendus , mieux corroyés sans doute , la différence étant comme 4 onces $\frac{2}{3}$ & comme 5 onces pour un pouce cube , & les bois que j'ai employés étoient de chêne assez sec , dont le pied cube pesoit 63 livres ; ce qui revient à 4 gros $\frac{2}{3}$ par pouce cube.

On compte ordinairement le pied cube de fer de France pour 548 livres , & le pied cube de bois pour 70 livres ; mais il est question ici de se réduire aux faits qui proviennent des causes de la différente densité de ces matières.

Au surplus , le fer en général étant huit fois plus pesant que le bois , en suivant la même proportion de leur adhérence absolue , il est indifférent que le bois pese plus ou moins de 70 livres , si le poids du fer est dans le même rapport.

Sur la force & la résistance transversale du fer employé comme support.

P R E M I E R E E X P É R I E N C E.

(1). Une barre de fer de 10 pieds de longueur & d'un pouce en carré, du poids de 36 livres, a courbé de 4 lignes sous sa propre masse, du double sous une charge additionnelle de 36 livres, & de 18 lignes sous une charge de 144 livres, y compris son propre poids, en sorte que les courbures ont été dans la raison des charges.

(2). Si on excède cette dernière résistance, les fleches cessent de croître en proportion exacte des charges, parce que le ressort qui se trouve épuisé à ce degré de tension ne peut plus renvoyer la barre jusqu'à ce qu'elle coïncide avec sa courbure spontanée; en sorte qu'on doit regarder ce dernier effort comme le maximum de sa résistance transversale, dans la circonstance où la barre doit être employée droite comme support.

S E C O N D E E X P É R I E N C E.

(3). Une barre de la même longueur que la précédente & de la même largeur, mais dont l'épaisseur n'étoit que de 6 lignes & le poids de 18 livres, a courbé de 3 pouces sous sa propre masse, & de 6 pouces sous une charge additionnelle de 18 livres, faisant en tout 36 livres.

T R O I S I E M E E X P É R I E N C E .

(4). Une barre de même calibre que celle de la première expérience, mais d'une longueur double, & du poids de 72 livres, composée de deux barreaux soudés ensemble, dont le plus long étoit de 15 pieds, a courbé de 6 pouces sous sa masse, & elle n'a pu porter le double ensuite, sans que sa fleche n'ait été disproportionnelle.

Q U A T R I E M E E X P É R I E N C E .

(5). Une verge de fer carrée, du calibre de 3 lignes, & de trois pieds de longueur entre ses appuis, a porté jusqu'à 12 livres dans l'ordre des charges & des fleches indiquées par la table qui suit; & cette verge, qui contenoit 2 pouces & $\frac{1}{4}$ cubes, a pesé 11 onces 3 gros, ce qui revient à peu près à 540 livres le pied cube; ce qui indique que les fers d'un petit volume doivent peser plus que les gros.

Charges.	Fleches.	O B S E R V A T I O N .	Charges.	Fleches.
liv.	pd. p. lig.	Cette verge ayant été ensuite arrêtée par ses bouts avec des clavettes en forme de clefs, non chassées de force, a donné sous les mêmes charges les fleches qui suivent.	liv.	pd. p. lig.
2	» 1 $\frac{3}{4}$		4	» 1 »
6	» 6 1		6	» 3 »
12	1 » »		12	» 6 »

CINQUIÈME EXPÉRIENCE.

(6). Une autre verge de la même longueur, mais d'un calibre double de 18 lignes en carré à la base & d'un poids double, a porté jusqu'à 48 livres dans l'ordre des charges & des fleches qui suivent.

Charges.	Fleches.	OBSERVATION.
liv. 8	pouc. lig. » 1 $\frac{1}{2}$	Cette verge ni la précédente n'ont pu porter au-delà des charges données, sans que les fleches n'aient été en disproportion avec les charges, en sorte qu'il paroît que c'est à cette limite de résistance qu'on doit s'arrêter.
31	» 7 »	
48	» 10 »	

(7). On voit par ces deux expériences, comme par les précédentes, que les charges étant en général comme les fleches, elles se trouvent ici dans le rapport de 81 à 324 d'une expérience à l'autre, ou comme les épaisseurs élevées à la troisieme puissance, multipliées par les largeurs lorsqu'elles sont inégales, & que ces fleches d'ailleurs sont en raison inverse des épaisseurs.

(8). Les expériences faites sur les bois, démontrent au contraire que les fleches des courbures n'augmentent pas dans la même proportion que les charges; en telle sorte, que lorsque la progression de ces fleches est comme 2, 4, 8, les charges sont comme 1 $\frac{1}{2}$, 2 $\frac{1}{4}$ & 3 $\frac{1}{8}$.

(9). La quatrieme expérience fait connoître en outre que

lorsque les fers sont fixés par leurs bouts, sans que pour cela la tension soit forcée de manière à anticiper sur leur adhérence absolue, leur force augmente du double, puisque les fleches de leurs courbures qui sont proportionnelles aux charges, se réduisent à la moitié par l'effet de cette tension.

(10). Or, on fait que la résistance des bois n'augmente que du tiers en pareille situation.

R É S U M É D E C E S E X P É R I E N C E S .

(11). Ces expériences démontrent donc, premièrement, que, considérant ces fers comme n'ayant aucune pesanteur, leur résistance augmente comme les fleches de leurs courbures, lorsque leurs longueurs & leurs calibres sont égaux.

(12). Secondement, que ce n'est qu'au maximum du ressort de ces fers que ces fleches & les résistances cessent d'être ordonnées; d'où il suit que c'est à cette limite qu'ils doivent être regardés comme rompus, quoique sans crics ni fissures à la partie convexe de leurs courbures.

(13). Troisièmement, que leurs résistances étant comme leurs épaisseurs sous des fleches qui sont en raison inverse de ces épaisseurs élevées à la troisième puissance, ces résistances feront, *vice versa*, comme ces épaisseurs élevées de même à la troisième puissance, lorsque les fleches feront entr'elles en raison inverse simple de ces épaisseurs, si les longueurs sont égales d'ailleurs.

(14). Quatrièmement, que si les largeurs sont inégales, ces résistances augmentent comme ces largeurs, les fleches restant toujours dans la raison inverse des épaisseurs.

(15). Cinquièmement, que lorsque les longueurs sont inégales, les calibres étant égaux d'ailleurs, les résistances sont en raison inverse des longueurs exactes, & les fleches des courbures, comme les carrés de ces longueurs.

(16). Sixièmement, que les longueurs étant inégales, si les fleches des courbures étoient dans le rapport de ces longueurs comme dans les expériences faites sur la force des bois, ces fleches seroient dans les fers comme les carrés des épaisseurs inverses, & les résistances en raison directe de ces épaisseurs élevées à la quatrième puissance, en sorte qu'elles deviendront en raison inverse du carré des longueurs; d'où il suit qu'au lieu d'être doubles d'une longueur à l'autre, ces résistances seroient quadruples, & qu'enfin la résistance des fers, comparée à celle des bois, est telle que pour qu'elle soit en raison inverse des longueurs, il faut que les fleches des courbures soient réciproquement entr'elles comme les carrés de ces longueurs; d'où on doit conclure que sous des longueurs & des calibres égaux, ces résistances augmentent, ainsi qu'on l'a dit, comme les épaisseurs élevées à la troisième puissance.

(17). Septièmement, que si la force des fers est dans la raison inverse des longueurs sans aucun retranchement, tandis que celle des bois est soumise à une modification, celle des fers en acquiert encore un accroissement sur celle des bois, tel qu'on ne peut avoir d'échelle commune pour les intensités de ces résistances que sous des mêmes longueurs.

(18). Huitièmement, qu'il suit de ces données que la

force que le fer acquiert depuis un pouce de calibre jusqu'à 8 pouces d'épaisseur, si la largeur reste la même, est dans l'ordre de la progression suivante, 1, 8, 64, 512, tandis que celle des bois est comme 1, 4, 16, 64, & qu'enfin à 32 pouces d'épaisseur, si la largeur est de 16 pouces, les deux expressions de ces résistances sont comme 1 & 32; mais que faisant entrer le poids du fer dans ce rapport d'intensité, il faut le distraire de la résistance donnée dans le rapport de cette résistance à la pesanteur qui se trouve donnée aussi par l'expérience, dans laquelle expérience ce rapport est comme 4 à 1.

(19). La force du fer dans une barre de 10 pieds & d'un pouce de calibre, est donc quadruple de celle du bois de même grosseur, ou comme 4 est à 1; & ensuite ces forces augmentant, la première, comme son épaisseur élevée à la troisième puissance, & la seconde, comme le carré de cette épaisseur; si les largeurs restent les mêmes, elles sont à 2 pouces d'épaisseur, comme 8 est à 4, ou comme 2 est à 1, lequel rapport étant multiplié par le premier, devient comme 8 à 1.

(20). D'où il suit que si une pièce de bois de 10 pieds de longueur, de 4 pouces de largeur & de 8 pouces d'épaisseur porte 9216 livres, suivant l'expérience donnée, une barre de fer de même calibre portera 294912 livres, ou 32 fois autant, dont il faudra distraire, comme on vient de le dire, un quart à cause du poids du fer, il restera 221184 livres pour la résistance de cette barre; de manière que pour que

ces deux forces soient identiques, il faudra que l'épaisseur du bois qui doit faire équilibre, soit de 27 pouces $\frac{1}{2}$, & sa largeur de 13 pouces 6 lignes $\frac{1}{2}$.

(21). Il n'y aura donc aucun inconvénient à réduire l'épaisseur des courbes de la travée, de 450 pieds, à 8 pouces, francs d'entaille, & leur largeur à 4 pouces, dans l'hypothèse où ces courbes seroient remplacées par des fers assemblés & engrenés de la même manière, d'autant que leur résistance n'étant pas subordonnée à la même incohérence que celle des bois dans le rapport de leurs longueurs, la balance sera encore en faveur des fers, ces résistances étant proportionnelles d'ailleurs, soit que ces bois & ces fers soient droits ou courbés par contraction; de manière qu'il ne doit y avoir de variable que ce qui peut dépendre des causes physiques inhérentes à chaque matière.

(22). Pour confirmer le résultat des expériences sur lesquelles ceci est fondé, je suppose encore qu'il soit question de trouver la résistance problématique de la verge de la quatrième expérience qui a été donnée de 2 livres, en la comparant à celle de la première expérience qui a été fixée à 144 livres sous une fleche de 18 lignes, en sorte que le tout soit dans une juste proportion.

(23). Il faut pour cela d'abord augmenter la charge donnée de 144 livres dans la raison inverse des longueurs, & la résistance de la barre sera de 480 livres à 3 pieds de longueur; & comme les charges ou les résistances sont entr'elles comme les troisièmes puissances de leurs épaisseurs multipliées par

leurs largeurs , ou comme les quatriemes puissances lorsque leurs épaisseurs & leurs largeurs sont égales , celle de la verge sera d'une livre 14 onces , ou de 2 livres , auxquelles il faudra ajouter son propre poids pour en tirer les conséquences qui s'ensuivent ; car en faisant abstraction des pesanteurs , ce n'est plus le minimum d'une expérience comparé au maximum de l'autre.

Si nous rapportons ensuite la résistance de cette verge de fer à celle d'une pareille verge de bois , les expériences & les regles qui en sont tirées , apprendront que la dernière doit rompre précisément sous une charge d'une livre 14 onces ou 2 livres , & que partant , la résistance de ces deux verges est égale sous ce calibre (a).

(24). Or , suivant ce qui a été établi précédemment (18) , pour que la résistance du fer soit quadruple de celle du bois sous le calibre d'un pouce , il faut que ces résistances soient égales sous celui de 3 lignes , qui est le premier terme des deux progressions divergentes.

(25). Il suit donc de là que la résistance posée par la première expérience , est la limite de celle des fers comparée à celle des bois au moment de leur rupture.

(26). Nous avons démontré d'ailleurs que lorsqu'on courboit les bois par contraction , ou par une charge propre à leur

(a) Les expériences sur la force transversale des bois , donnent 37 livres pour la force d'un barreau de 18 pouces de longueur & de 6 lignes en carré ; il en résulte 15 livres pour 3 pieds de longueur , & une livre 14 onces pour la même longueur sous un calibre de 3 lignes.

faire acquérir une courbure donnée, leur résistance augmentoit au-delà du quadruple de celle de cette charge, si en les retenant dans cet état de courbure on les renversoit ensuite verticalement en les faisant tourner sur leur axe, & qu'au surplus, l'excès de cette résistance au-delà du quadruple, étoit le produit de la différence de la résistance de la moitié de la corde comparée à la corde entière, en supposant la courbure peu différente de cette corde.

(27). Mais comme les expériences qui précèdent démontrent que cette résistance dans les fers a plus d'intensité, il arrive qu'elle devient sextuple par l'addition de cette différence.

(28). Nous avons fait connoître ensuite que dans les expériences où les bois sont assemblés & engrenés par superposition, ils acquéroient la même force que celle des bois pleins, considérés sous leurs dimensions entières : or, les expériences faites sur les fers, donnent précisément le même rapport ; en sorte que la question ainsi rappelée, si la fleche de la barre de 10 pieds de longueur (*premiere expérience*) est de 18 lignes, & que la cerche des courbes de la travée de 450 pieds soit de 20 lignes pour 30 pieds, cette fleche rendue proportionnelle pour la continuité de la courbe, fera de 6 lignes un peu plus pour la barre de 10 pieds.

(29). Et comme les charges sont proportionnelles à ces fleches, on ne pourra prendre que le tiers de la résistance donnée de 221184 livres (20), qui est de 73728 livres, qu'il faudra encore réduire dans le rapport de la longueur inversé

de 10 pieds à celle de 114 pieds, à laquelle on s'est arrêté pour la travée de 450 pieds (a); il viendra 6467 livres, qu'il est question actuellement de multiplier par 6 (28), on aura 38802 livres.

(30). Et comme la quatrième expérience a démontré que lorsque la force des bois acquiert un tiers de plus quand ils sont arrêtés par leurs bouts, les fers, fixés de la même manière, acquierent le double sans anticiper sur leur adhérence absolue; il s'en suit qu'on doit doubler la force résultante des règles qui précédent, & que partant, cette force qui étoit de 38802 livres, sera de 77604 livres pour une seule courbe; ensuite, de 155208 livres pour les deux courbes ensemble d'intrados & d'extrados; & enfin, de 776040 livres pour les cinq fermes de la travée, sans y comprendre la résistance due à l'énergie du système des voussoirs qui sont pénétrés par ces courbes, & sans qu'il soit nécessaire d'apporter à ce résultat d'autre modification que celle qui a été opérée par la diffraction du poids des fers, attendu que la nature de cette matière, autrement homogène, la met à l'abri des hasards de l'inconsistance dont on craint les événements dans les bois.

(31). Or, la somme de résistance qui a été posée pour les courbes de la même travée, étant de 584975 livres, il en résulte que celle qui se trouve donnée par les fers, est excédente du quart environ; de manière que, retranchant cet excès, si on le veut, pour ce que les qualités du fer peuvent

(a) Chapitre VIII, paragraphe 43.

avoir d'occulte, il devient démontré que les résistances sont égales de chaque part.

(32). Il paroît donc qu'en remplaçant tous les bois de cette travée par des fers forgés, dans les mêmes proportions, en employant même des fers de fonte adoucie pour tous les liens, on peut réduire au quart toutes les dimensions d'équarriffages de ces bois convertis en fer, si ce n'est que les madriers doivent subsister en bois dans l'un comme dans l'autre cas.

(33). Il reste sur cette sorte de construction une attention à y ajouter, qui paroît avoir échappée à ceux qui se sont occupés des mêmes moyens de faire des charpentes en fer.

(34). Cette attention consiste en ce qu'il est de la plus grande importance de placer par interception du plomb en lames entre toutes les pieces assemblées par superposition, & du cuivre entre les points des abouts, pour que la compression se fasse uniformément, & sans ce frémissement qu'il est difficile autrement d'éviter dans le mouvement simultané des corps élastiques (a).

(35). Il résultera donc de la réduction des grosseurs de ces bois convertis en fer, que les volumes de ces matieres seront entr'eux comme 16 à 1; en sorte que si le fer pese huit fois plus que le bois, il devient évident que la charge de la charpente en fer pese moitié moins que celle en bois, ce qui

(a) On fait que l'extension du cuivre & celle du fer sont comme 5 à 3 pour une égale longueur.

peut influer de beaucoup sur l'économie de la dépense des culées, sur celles du levage, des échafauds & des cintres de première nécessité pour ces constructions; & si une partie de ces fers est en fonte, comme on l'a indiqué, le poids de cette partie diminuera encore d'un tiers, puisqu'on fait que pour avoir un millier de fer battu, il faut 1500 livres de fonte.

(36). On pourroit objecter, à l'égard de la différence de la pesanteur de ces deux charpentes, que les osculations des masses étant plus sensibles dans les petites que dans les grandes, celles en fer subiroient un plus grand écartement dans les vibrations qui proviendroient de la même commotion.

(37). En effet, si ces osculations sont entr'elles en raison inverse des masses dans les corps tendus (a), elles seront ici : : $\sqrt{2} : \sqrt{1}$.

(38). Mais si les moyens qu'on emploie pour résister à cet écartement sont les mêmes pour une masse comme pour l'autre, ces résistances seront aussi en raison inverse de ces masses, en sorte que le tout restera en équilibre.

(39). Il ne reste donc plus à ajouter aux moyens de pouvoir remplacer les bois par des fers, que celui de les préserver de la rouille; mais comme on est instruit aujourd'hui de ce secret, rien, à ce qu'il semble, ne peut plus s'opposer à cette conversion pour les constructions essentiellement dans lesquelles on est obligé d'entasser des forêts entières.

(40). A l'égard de l'inconvénient physique de l'extension

(a) Newton, Taylor, Bernoulli, Euler & Diderot, sur la théorie des fons.

de ce métal lorsqu'il est étendu sur une grande longueur, & qui se borne néanmoins à deux tiers de lignes par toise à l'exposition de la plus grande chaleur, on a pu remarquer que la précaution de garnir les abouts des pièces en cuivre est précisément propre à prêter à cet allongement, & qu'on doit en attendre d'autant plus de succès, que ces fers se retirent toujours moins qu'ils ne se distendent.

(41). Au surplus, comme la plus grande longueur des pièces qui se trouveroient employées dans ces charpentes, peut se réduire à 20 pieds, ce rallongement, qui se borneroit à 2 lignes, ne s'étendrait que d'une ligne respectivement sur chaque joint; & si on considère d'ailleurs que ces fers exposés à de grands courants d'air sont abrités par-là de la chaleur qui provoque cette extension, l'effet doit en être bien modifié.

(42). D'après ces principes, & dans l'hypothèse où la charpente d'une travée semblable de 450 pieds, peut être convertie en fer, il reste donc démontré qu'elle sera toujours d'autant plus forte, que les rayons des arcs de ces travées seront plus petits, puisque les fleches qui en mesureront les courbures seront plus hautes, & qu'enfin les forces augmenteront dans la raison inverse des ouvertures, & dans la raison directe de la hauteur de ces fleches, si les calibres restent les mêmes; d'où il suit, par exemple, qu'une travée de 300 pieds, dont la montée seroit de 15 pieds, seroit de deux tiers environ plus forte que celle de 450 pieds.

*Balance de la dépense des bois & des fers pour la travée
de 450 pieds.*

(43). Il est évident que si on ne donne aux fers, qu'on pourroit substituer aux bois dans cette travée, que le quart des grosseurs de ces derniers, le volume de ces fers se réduira au feizieme de celui des bois, qui montoit à 57287 pieds cubes; mais comme les madriers doivent subsister dans l'un & l'autre cas, & qu'ils produisent à part 9632 pieds cubes qu'il faut distraire des 57287 pieds ci-dessus, il reste 47655 pieds pour ces bois, dont le poids a été donné de 72 livres, (chapitre VI) & dont le feizieme est de 2978 pieds pour les fers, dont le bois a été aussi posé de 540 livres, abstraction faite ici des écrous & des têtes des vis & boulons.

(44). En adaptant donc à ces deux matieres les prix qui ont été fixés pour chacune d'elle, on aura pour la valeur des bois 238275 livres, & pour celle des fers 522639 livres; ce qui donne un peu plus du double, & moins si on emploie des fers fondus pour les liens & les guettes, comme on l'a indiqué.

(45). On peut donc juger d'après cette analyse, suffisamment étendue, de l'importance qu'il y auroit de substituer de même ces fers aux bois qu'on emploie aux combles des bâtimens & même aux planchers; on auroit l'avantage de plus de n'être point occupé de la sollicitude des incendies ou factices, ou spontanées, en remarquant de plus que l'abus de la matiere, dans les grosseurs exubérantes de ces bois pour

les édifices domestiques, étant toujours d'autant plus grand que ces édifices sont plus rétrécis, il arrive qu'on emploie 20 à 30 pieds cubes de bois, où un pied cube de fer suffiroit, en réduisant le calibre de ces fers au sixieme de l'équarrissage de ces bois ; de sorte que ces disproportions, les frais d'entretien qui se répètent continuellement, l'excès de pesanteur des charpentes en bois, l'obscurité qu'elles ajoutent aux membres peu éclairés, tous ces motifs compensés avec la premiere mise des fers, dont les parties qui n'ont qu'une résistance virtuelle pourroient être en fonte, il devient aisé de prouver & de se convaincre que si l'une des deux dépenses est plus forte que l'autre, c'est nécessairement la premiere.

J'ajoute ici au surplus les desseins & les prospectus de ces constructions, qui serviront à confirmer cette assertion.

Il reste à déterminer la force longitudinale de ces fers lorsqu'ils agissent debout.

Comme il ne peut se faire qu'une partie des pieces qu'on emploie dans ces charpentes métalliques n'agissent longitudinalement sous les différentes inclinaisons données par la projection de leurs assemblages, j'ai cherché à déterminer leur force dans la situation perpendiculaire, pour en conclure l'appréciation de leur résistance relative, d'après les mêmes principes que ceux qui ont été posés au chapitre VII pour celle des bois debout ou inclinés, & les expériences m'ont fait connoître que cette force suivoit précisément la même loi que celle de ces bois employés de la même maniere.

SIXIÈME EXPÉRIENCE.

J'ai pris d'abord une règle de bois de chêne sec de 5 pieds de longueur, jaugée sur 8 lignes de largeur & 3 lignes d'épaisseur, dont le poids étoit de 4 onces $\frac{1}{2}$, revenant à 60 livres le pied cube environ, & dont la courbure spontanée (*a*) étoit de 6 lignes.

Cette règle ainsi arrêtée par l'un de ses bouts, & tirée horizontalement avec une corde qui passoit sur une poulie évidée, de 16 pouces de diamètre & dont l'essieu avoit 3 lignes, n'a pu être redressée jusqu'au contact de son axe que par un poids de 544 onces.

La résistance que le poids de cette règle a opposé à cette tension, s'est donc trouvée égale à 120 fois ce poids, en sorte que le frottement a été de 4 onces.

Il suit de là que si on nomme *a*, le poids tendant = 540 onces; *b*, le poids tendu = 4 onces $\frac{1}{2}$; *c*, la longueur de la règle = 60 pouces; & *d*, la hauteur de la fleche = 6 lignes, la formule géométrique sera $\frac{bc}{d} = a$; ce qui indique que pour avoir le poids tendant, il faut multiplier le poids tendu, ou la pesanteur de la règle, par sa longueur, & diviser le produit par la hauteur de la fleche de la courbure.

(*a*) J'appelle courbure spontanée, celle que prend une règle ou un barreau posé de niveau sous leur propre poids, sans addition d'autre charge, cette règle & ce barreau supposés droits lorsqu'ils sont suspendus perpendiculairement.

SEPTIÈME EXPÉRIENCE.

J'ai pris ensuite la même barre de fer de 20 pieds de longueur & d'un pouce de calibre, qui a servi à la troisieme des expériences qui précédent, & dont la courbure étoit de 6 pouces; elle n'a pu être redressée de la même maniere que par un poids de 2880 livres, par le moyen d'un treuil, après la distraction du frottement, ce poids de 2880 livres étant égal à 40 fois le poids de la barre, qui étoit de 72 livres, ou comme $\frac{c}{d}$.

On a donc de la même maniere le poids tendant ou comprimant d'une barre de même calibre, mais dont la longueur n'est que de 10 pieds, & la pesanteur de 36 livres, suivant la premiere expérience; car, si sa courbure donne 4 lignes $\frac{1}{2}$ de fleche comme dans la premiere des expériences qui précédent, ce poids fera de 11520 livres, & partant, quadruple de 2880 livres.

Ainsi la résistance longitudinale du fer augmente donc en raison inverse du carré de la longueur.

Elle augmente aussi comme l'épaisseur élevée à la quatrieme puissance.

Car, puisqu'une barre de 10 pieds de longueur, mais dont l'épaisseur n'est que de 6 lignes & le poids de 18 livres, donne 3 pouces de courbure par la seconde expérience, cette tension exigera 720 livres de force.

Donc celle qui précède sera 16 fois plus forte; ce qui paroît suffisamment démontré, puisque, soit que ces pieces soient tendues ou comprimées, l'action est égale à la réaction.

PROSPECTUS

D'un projet de pont de charpente en fer, de 300 pieds d'ouverture, d'un seul jet.

Dimensions des fers de cette travée, suivant le dessin ci-joint.

<i>Indication des pieces.</i>	<i>Leurs longueurs.</i>	<i>Leurs calibres.</i>	<i>Leur produit en pieds cubes.</i>
FERS FORGÉS.			
<i>Un pendantif.</i>			
Les quatre courbes ensemble,	345 pi.	30 lig. & 12 lig.	5 pi. 11 po. 10 lig.
Les tirants ensemble,	169	2 po. & 9 lig.	1 9 1
Les montants ensemble, . . .	27	2 po. & 12 lig.	» 4 6
Les consoles ensemble,	130	2 po. & 30 lig.	3 7 4
Total d'un pendantif,			14 pi. 1 po. 5 lig.
Pour trois pendantifs semblables,			42 4 3
Total des quatre pendantifs,			56 pi. 5 po. 8 lig.
<i>Suite des fers forgés.</i>			
Une courbe avec ses portées,	308 pi.	4 po. & 8 po.	68 pi. 5 po. 4 lig.
Pour neuf semblables,			616 » »
Les moises jusque sur les mardriers,	2805	} 3 po. & 7 po.	449 2 »
Les prolongements de celles en garde-fous,	275		
Les tirants traversiers,	815	3 po. & 2 po.	33 11 6
Les tirants croisés,	280	2 po. & 9 lig.	3 » »
Les boutteroues,	170	18 lig. & 18 lig.	
Les poutres ensemble,	940	3 po. & 5 po.	97 11 »
Total des fers forgés,			1327 pi. 7 po. 4 lig.

Les 1327 pieds 7 pouces 4 lignes cubes de fers forgés, à 540 livres le pied cube, donnent le poids de 716910 livres, lesquelles, à 7 sous la livre posés, font la somme de 250918 livres 10 sous.

Indication des pièces.	Leurs lon- gueurs.		Leurs cali- bres.		Leur produit en pieds cubes.		
	pieds.	pouc.	pouc.	pouc.	pieds.	pouc.	lig.
FERS DE FONTE.							
<i>Les garde-fous.</i>							
Le développement des panneaux entre les moises prolongées,	1260	»	2	& 2	35	»	»
Autant pour l'autre tête,	.....	.....	.....	.....	35	»	»
Un tympan développé,	140	»	3	& 3	8	9	»
Pour neuf semblables, . . . . .	.....	.....	.....	.....	78	9	»
Les guettes croisées entre les courbes d'une tête,	840	»	3	& 3	52	6	»
Pour quatre semblables, . . . . .	.....	.....	.....	.....	210	»	»
Le garde-terre des deux bor- dages,	600	»	2	& 6	50	»	»
Les lisses ensemble,	600	»	2	& 2	16	8	»
Les contrevents intermédiaires des entrevous de bordages & étréfillons busqués,	857	3	3	& 3	106	6	9

Total des fers de fonte, 593 pi. 2 po. 9 lig.

Les 593 pieds 2 pouces 9 lignes cubes, à 360 livres, poids de roi, font 213562 livres, lesquelles, à raison de 4 sous la livre, font 42712 livres 8 sous.

B A L A N C E.

Les fers forgés pesent	Poids.
Les fers de fonte pesent	716910 l.
	213562
(a) Total du poids de la travée, non compris les madriers,	930472 l.

Prix de ces fers ensemble.

Les fers forgés montent à	250918 l. 10 s.
Les fers de fonte, à	42712 8
Total du prix de ces fers,	293630 l. 18 s.

On ne fait point état ici des cuivres pour les joints des abouts des pièces qui agissent par compression, non plus que des plombs en lames pour les joints de super & de contra-position, qu'on évalue, avec ceux de la platte-forme du pavé & de la chaussée, à 20000 livres.

(a) Le poids des fers du pont de 400 pieds, qui a été présenté au roi, est de 600 milliers; il faut distraire du nôtre les pendantifs, reste 900 milliers, & partant, un tiers en sus pour ce pont de 300 pieds.

Démonstration de la force des fers de cette travée.

Suivant les expériences renfermées dans ce mémoire, chapitre VIII, la rupture d'une pareille travée devant se faire aux trois quarts de la courbe d'intrados, à compter des naissances, la corde de l'arc restante est de 75 pieds, en la considérant comme sensiblement égale au développement de cet arc; en sorte que, dans cette hypothèse, la fleche a 11 pouces 3 lignes de hauteur.

Or, ces fleches pouvant être considérées dans les expériences comme proportionnelles au développement de ces arcs, l'analogie donne 18 lignes pour celle d'une courbe semblable qui auroit 10 pieds de développement; ce qui est précisément conforme à la première expérience du chapitre IX, qui établit que la résistance d'un barreau de 10 pieds de longueur & d'un pouce de calibre semblablement courbé, est de 144 livres.

D'autre part, la force augmentant, suivant les mêmes expériences, comme l'épaisseur élevée à la troisième puissance, & celle de la courbe étant donnée ici de 8 pouces par la superposition des trois pièces engrenées dont elle est composée, si un pouce de calibre donne 144 livres pour un barreau de 10 pieds, 512 pouces (qui est le produit de 8 pouces élevés à la troisième puissance) donneront 73728 liv. pour un pouce de largeur, lequel produit étant multiplié par 4 pouces de largeur, qui est celle de cette courbe à la douelle, donnera 294912 livres.

Ainsi une bande de cette courbe d'intrados, qui auroit 10 pieds de longueur, 4 pouces de largeur, & 8 pouces d'épaisseur ou hauteur, & dont la fleche seroit de 18 lignes, doit donc porter 294912 livres.

Mais cette force devant diminuer dans la raison inverse des longueurs, elle se réduira (de 10 à 75 pieds) à 39321 livres.

Mais à cause de la continuité d'adhérence au point de rupture, les mêmes expériences ayant fait connoître que cette force augmente du double, il s'ensuit qu'elle sera de 78642 livres.

D'un autre côté, ces expériences, & la théorie qui s'y trouve conforme, démontrent que lorsque ces courbures, ainsi acquises, sont renversées verticalement sur leur axe, la force dont elles sont capables dans cet état, est six fois plus grande.

La force d'une courbe d'intrados de cette travée entre les deux points de rupture indiqués, sera donc de 471852 livres, & on aura pour les 5 courbes semblables, 2,359260 livres; de sorte qu'une telle résistance dispense d'une recherche plus étendue pour la solution de ce problème, puisque le surplus du concours de cette résistance, qui doit provenir de la courbe d'extrados & de l'énergie du système des voussoirs qui se trouvent pénétrés par ces deux courbes, étant exubérant, on ne peut le regarder que comme un surcroît de force, qui étant néanmoins à peu près égal à la première résistance donnée, n'est appliqué ici qu'à la modification qu'on peut y apporter.

Moyennant quoi la somme totale de la force de la partie active de cette travée sur la partie passive, posée comme immuable, peut être évaluée à 4 millions de livres; de sorte que, quelque retranchement qu'on apporte à ce calcul pour l'affaiblir, d'après les causes occultes, il ne peut se faire qu'après toute distraction, il n'en reste 2 millions pour l'équivalent de la résistance effective, qui se trouve, moyennant cela, environ vingt fois plus grande que la charge.

