The image shows the interior of the Pantheon in Paris, France. The central focus is the massive dome, which is covered in a grid of coffered panels. A large circular oculus at the top of the dome allows natural light to illuminate the interior. Below the dome, a series of Corinthian columns support the structure. The architecture is classical and grand. The text is overlaid on the image in a golden, serif font.

History of Concrete

A Tribute to Gilles CHANVILLARD

Paul ACKER
Marne-la-Vallée – July 2016

Gilles' Library

Marcus VITRUVIUS

80 ~ 15 BC



B.F. orest de BELIDOR

1698-1761



John SMEATON

1724-1792



Quincy GILLMORE

1825-1888



ARCHITECTVRE
ou Art. de bien bastir,
de Marc Vitruue Pollion Auteurs
ROMAIN ANTIQVE MIS DE LATIN EN
Francoys, par Ian Martin Secretaire de Mont-
feigneur le Cardinal de Lemoncourt.
ROY TRESCHRESTIEN HENRY II



A PARIS.

AVEC PRIVILEGE DV ROY.

On les vend chez Jacques Gazeau, en la rue faint
Iacques a l'Escu de Colongne.

M. D. XLVII

~ 20 BC

NEW-YORK
COLLEGE LIBRARY
ARCHITECTURE
HYDRAULIQUE.
SECONDE PARTIE
QUI COMPEND

L'ART DE DIRIGER LES EAUX
de la Mer & des Rivieres à l'avantage de la defenſe des
Places, du Commerce, & de l'Agriculture.

Par M. BELIDOR, Colonel d'Infanterie, Chevalier de l'Ordre
Militaire de Saint Louis, &c.

TOME SECOND.



A PARIS, RUE DAUPHINE,
Chez CHARLES-ANTOINE JOMBERT, Libraire du Roi pour l'Artillerie
& le Génie, à l'Image Notre-Dame.

M. D C C. LIII.

Avec Approbation & Privilège du Roi.

1753

PHARE D'ÉDYSTONE.
PRÉCIS HISTORIQUE
DE LA
CONSTRUCTION DU PHARE D'ÉDYSTONE,
PAR J. SMEATON,
INGÉNIEUR, MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ ROYALE DE LONDRES, EN 1751.
Extrait de la Bibliothèque britannique des Sciences et Arts de Londres, tome I^{er},
pages 89 et 611;
TRADUIT DE L'ANGLAIS, PAR M. A. PICTET, DE GENÈVE (1).

Le tems et l'industrie humaine, aiguillonnés par tous les motifs qui
peuvent la développer, ont amené l'art sublime de la navigation à un
degré voisin de la perfection absolue. Une tempête en pleine mer n'est,
pour le matelot expérimenté, qu'une occasion de déployer son adresse
à maîtriser l'élément dont il brave la fureur; mais c'est au voisinage de
la terre qu'arrive l'heure du danger. Lorsque cette terre est inhospita-
lière et bordée de brisans; lorsqu'une nuit profonde ajoute aux diffi-
cultés de la manœuvre toutes les anxiétés du doute, alors l'adresse, la

(1) J'ai cru devoir ajouter à la traduction faite par M. Pictet, cinq des principales
planches que j'ai fait graver sur les dessins de M. Smeaton, et dont je donne la des-
cription d'après celles qu'on trouve dans son grand ouvrage. On y verra les moyens
ingénieux employés par l'auteur à la construction de ce monument. L.S.

7

1791

PAPERS ON PRACTICAL ENGINEERING.
U. S. ENGINEER DEPARTMENT.
No. 9.
PRACTICAL TREATISE
ON
LIMES, HYDRAULIC CEMENTS,
AND
MORTARS.

CONTAINING REPORTS OF NUMEROUS EXPERIMENTS CONDUCTED
IN NEW YORK CITY, DURING THE YEARS 1858
TO 1861, INCLUSIVE.

BY
Q. A. GILLMORE, A. M.,

BRIEF-GENERAL OF U. S. VOLUNTEERS, AND MAJOR U. S. CORPS OF ENGINEERS.

NEW YORK:
D. VAN NOSTRAND, 192 BROADWAY.
1864.

1864

Gilles' Library

René FERET

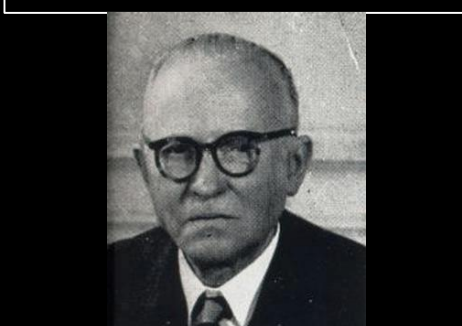
Thomas EDISON
1847-1931



Duff ABRAMS
1880-1965



Eugène FREYSSINET
1879-1962



ANNALES
DES
PONTS ET CHAUSSÉES

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS
ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR

N° 21

SUR LA COMPACITÉ
DES MORTIERS HYDRAULIQUES

Par M. FERET, Ancien élève de l'École polytechnique,
Chef du laboratoire des ponts et chaussées de Boulogne-sur-Mer

I. — EXPOSÉ.

État de la question. — Dans une note antérieure parue aux *Annales des Ponts et Chaussées* (mars 1890), nous avons relaté diverses expériences exécutées au laboratoire des Ponts et Chaussées de Boulogne en vue d'étudier les influences (conditions de fabrication et de conservation), qui peuvent modifier la qualité intrinsèque des ciments portland, indépendamment de toute considération relative à la manière dont on les emploie.

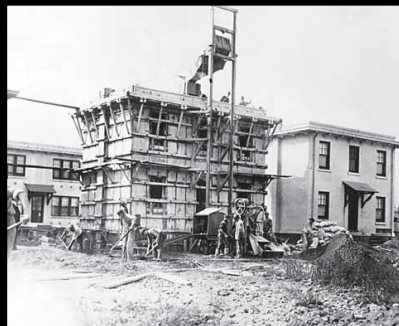
Dans le présent mémoire, nous nous proposons au contraire de ne plus nous occuper de la nature du ciment et, nous supposant en possession d'un produit de bonne qualité et toujours identique à lui-même, de rechercher com-

1892

98% THROUGH No. 100 SIEVE
85% THROUGH No. 200 SIEVE



Capacity
2,500,000
Barrels



1907

Bulletin 1
Structural Materials Research Laboratory
Lewis Institute
Chicago

Design of Concrete Mixtures

DUFF A. ABRAMS
Professor in Charge of Laboratory

Published by the
STRUCTURAL MATERIALS RESEARCH LABORATORY
Sixth Printing, July, 1929

1924

ÉDITION MENSUELLE
CONSTRUCTION
TRAVAUX PUBLICS

SCIENCE ET INDUSTRIE

ÉDITION MENSUELLE
CONSTRUCTION
TRAVAUX PUBLICS

Janvier 1933

Idées et Voies nouvelles

Par E. FREYSSINET,

Académicien des Ponts et Chaussées.

I. — Une théorie thermodynamique des ciments.
II. — Application au problème industriel de l'emploi des ciments et des bétons à très haute résistance.

On peut obtenir des ciments et des bétons possédant des résistances mécaniques extraordinaires, élevées, à des prix proportionnellement à ces résistances, faibles. Pour cela, il faut modifier les conditions de fabrication des ciments et des bétons, et en particulier leur composition chimique. Cependant, on n'utilise pas industriellement ces matériaux très résistants, parce que pour leur emploi il est nécessaire de former de l'acier, du béton et des compléments acier-béton, la résistance pratiquement utilisable de ce complément est presque indépendante de celle des matériaux considérés isolément. Les recherches de ce laboratoire démontrent que véritablement, dans le cas des constructions normales, depuis la réalisation même de ces matériaux normaux, jusqu'à leur emploi, il est possible de modifier les conditions de fabrication des ciments et des bétons, et de leur donner des propriétés mécaniques supérieures à celles des matériaux normaux, sans qu'il soit nécessaire de former de l'acier, du béton et des compléments acier-béton, la résistance pratiquement utilisable de ce complément est presque indépendante de celle des matériaux considérés isolément. Les recherches de ce laboratoire démontrent que véritablement, dans le cas des constructions normales, depuis la réalisation même de ces matériaux normaux, jusqu'à leur emploi, il est possible de modifier les conditions de fabrication des ciments et des bétons, et de leur donner des propriétés mécaniques supérieures à celles des matériaux normaux, sans qu'il soit nécessaire de former de l'acier, du béton et des compléments acier-béton, la résistance pratiquement utilisable de ce complément est presque indépendante de celle des matériaux considérés isolément.

La solution de ces difficultés suppose une connaissance précise des lois de ces dilatactions; on ne peut se contenter de suppositions approximatives. Pour ce motif, je me propose dans l'ouvrage de faire précéder mon exposé de celui des propriétés mécaniques des ciments et des bétons, l'expérience est actuellement à peu près générale.

Pendant très longtemps, en effet, on s'est contenté de supposer applicables à ces corps les lois de la déformation des métaux dans les conditions des ponts et chaussées. On connaît bien un grand nombre de défauts de concordance avec la réalité et même de absurdités; mais la complexité de phénomènes dépendant de variables extrêmement nombreuses et difficiles à séparer, empêchait le décompte de lui en offrir un accord avec l'ensemble des faits.

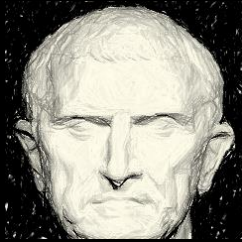
C'est seulement en 1928 qu'on présente des premiers résultats d'expériences entreprises à l'occasion de la construction du pont de Pasquely, j'ai eu l'occasion de les exposer dans la déformation des ciments à savoir qu'elle résulte d'un fluage entre les forces appliquées et des forces internes variables avec les conditions du milieu. Ces premiers remarques ont été l'objet, en 1928, d'une communication à la Commission technique de la Chambre syndicale des constructeurs en béton armé (Paris), en 1928, au Congrès de Vienne, j'ai entrepris les expériences dont j'ai pu recueillir les résultats aux principes généraux de la thermodynamique (1).

(1) Cette thèse a été présentée à l'École des Supérieurs de Louvain en octobre 1929 et a été publiée dans le *Journal de l'Association internationale de chimie des ciments* en 1930. Elle a été publiée dans le *Journal de l'Association internationale de chimie des ciments* en 1930. Elle a été publiée dans le *Journal de l'Association internationale de chimie des ciments* en 1930.

1933

VITRUVIUS

80 – 15 BC



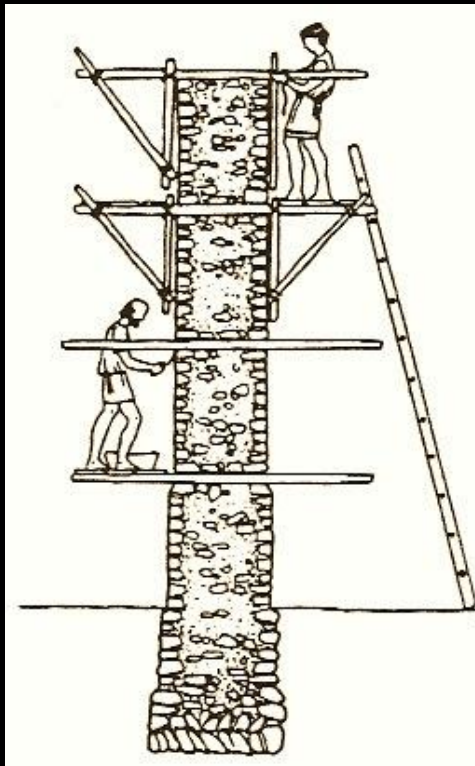
ARCHITECTVRE
ou Art. de bien baltir,
de Marc Vitruue Pollion Autehur
ROMAIN ANTIQVE MIS DE LATIN EN
Francoys, par Ian Martin Secretaire de Mon-
feigneur le Cardinal de Lenoucourt.
POV LE ROY TRESCHRESTIEN HENRY II



A PARIS
AVEC PRIVILEGE DV ROY.

On le vend chez Jacques Gressu, en la rue saint
Jacques a l'Ecu de Colongne.

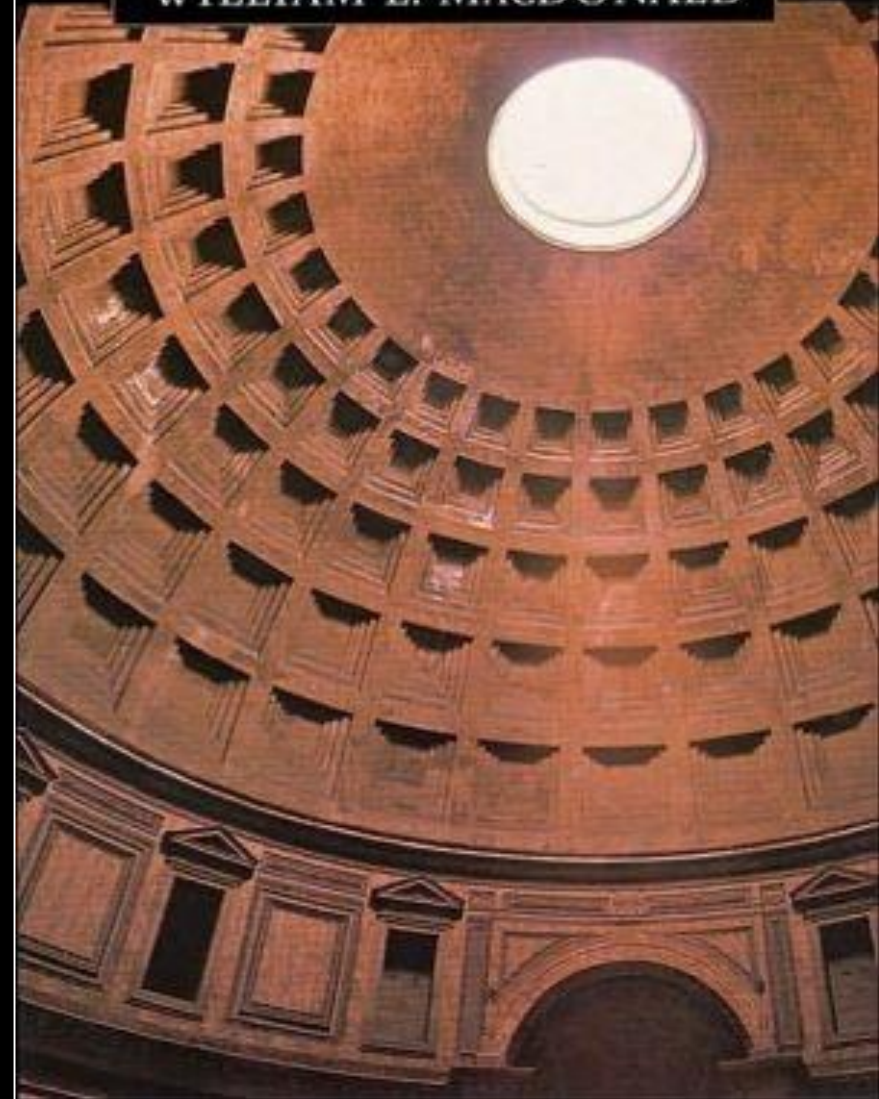
M. D. XLVII



THE PANTHEON

DESIGN, MEANING, AND PROGENY

WILLIAM L. MACDONALD



VITRUVIUS

80 – 15 BC

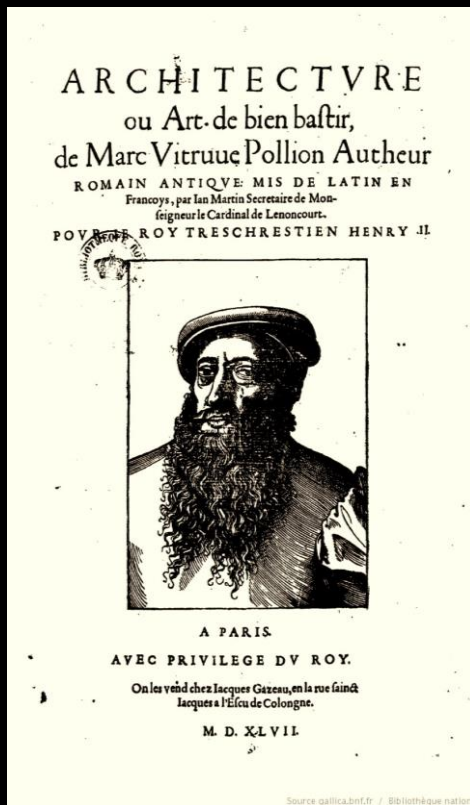


« BRICKS MUST BE MANUFACTURED IN SPRING OR AUTUMN, SO THAT THEY DRY EVENLY.

THOSE PREPARED IN SUMMER ARE DEFECTIVE BECAUSE WHEN THE SUN BRINGS THE SURFACE TO HIGH TEMPERATURE, IT MAKES IT APPEAR DRY, WHILE AT HEART IT IS NOT.

THEN, DRYING, THE CORE RETRACTS, MAKING CRACK THE PARTS THAT WERE DRY. »

« A BRICK CANNOT DRY IN LESS THAN TWO YEARS. »



1599: Pompei first discovery

1673: Claude PERRAULT translates Vitruvius in French

1738: Discovery of Herculaneum

1748: First excavations

1763: Identification



Schnitte von Gesteinsproben aus:

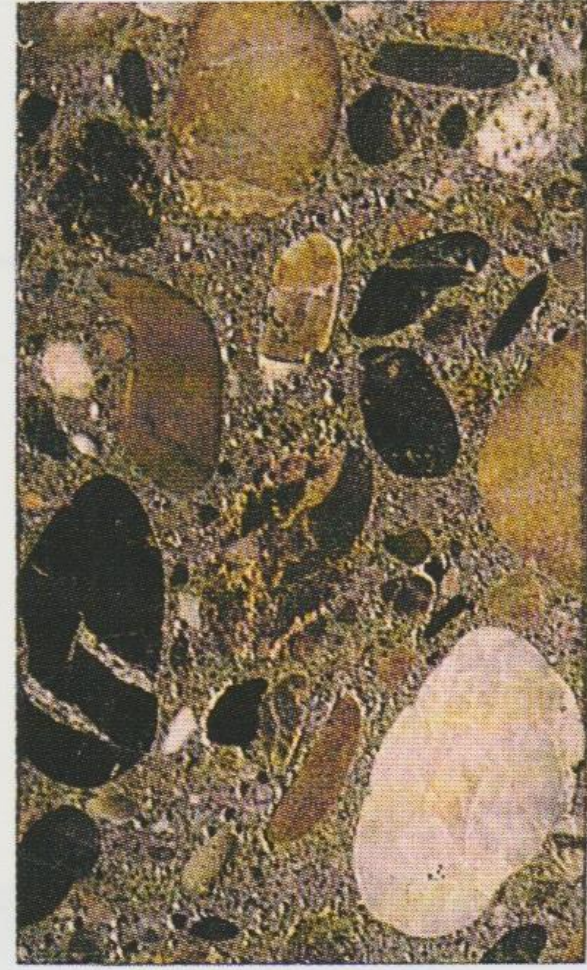
Nagelfluh (« Naturbeton »)



Opus caementitium



Heutigem Beton



ARCHITECTURE
HYDRAULIQUE.
SECONDE PARTIE
QUI COMPREND

L'ART DE DIRIGER LES EAUX
de la Mer & des Rivieres à l'avantage de la défense des
Places, du Commerce, & de l'Agriculture.

Par M. BELIDOR, Colonel d'Infanterie, Chevalier de l'Ordre
Militaire de Saint Louis, &c.

TOME SECOND.

Bernard FOREST de BELIDOR
(1698-1761)



Description de la Machine servant à plonger le beton, pour qu'il ne perde point de son onction en traversant l'eau. Ibid.

Composition du mortier de beton, conformément à ce qui a été fait de mieux pour les ouvrages exécutés à Toulon. 185

Maniere d'employer le mortier de beton avec la pierre, pour former le corps de la Maçonnerie. 186

La Maçonnerie de beton est la meilleure de toutes celles qu'on peut employer pour bâtir dans l'eau sans batardeaux ni épuisemens. 187

Lorsque l'on a une longue Fondation à faire, il ne faut l'entreprendre que par parties, afin de ne point donner trop de prise à la Mer. 188

Méthode qu'il faut suivre pour exécuter selon les pratiques précédentes un grand ouvrage qui auroit beaucoup d'étendue en longueur & en largeur. 189

Détail sur la composition de la maçonnerie de beton. Ibid.

Autre détail sur le progrès de la même maçonnerie, relativement au tems du travail & a la quantité de monde qu'il faudra y employer. 190

donner plus de quatre pieds de côté qui produisent soixante & quatre pieds cubes, crainte d'en rendre la manœuvre trop embarrassante.

842. Vitruve, en parlant du Beton, veut qu'il soit composé de deux parties de pozzolane sur une de chaux; il sous-entend sans doute que la chaux doit être mesurée vive, & qu'on l'éteindra en même-tems qu'on fera le mortier, afin que par l'effervescence qui se fera il puisse se détacher une plus grande partie des sels contenus dans la blocaille & la pozzolanne qu'on doit y incorporer; il suppose d'ailleurs qu'on a cette matière aussi commodément qu'en Italie.

Composition du mortier de beton, confor-

mément à ce qui a été fait de mieux pour les ouvrages exécutés à Toulon.

M. Milet de Monville, qui a acquis sur la manière de bâtir dont nous parlons une expérience éclairée par de bons principes, a fait un grand nombre d'essais sur la meilleure manière de composer le Beton, & voici celle qui a le mieux réussi dans les travaux dont il a eu la direction.

Après avoir choisi un emplacement uni & bien battu, l'on prend douze parties de pozzolanne, de terrasse de Hollande, ou de cendrée de Tournay, dont on forme une bordure circulaire de cinq ou six pieds de diamètre, sur laquelle on pose six parties de sable, bien grené & non terreux, répandu également. On remplit l'intérieur de ce cercle de neuf parties de chaux vive bien cuite, concassée avec une masse de fer pour qu'elle s'éteigne plus vite, ce qui se fait en y jettant peu à peu de l'eau de la Mer pour les ouvrages Maritimes, & en le remuant de tems en

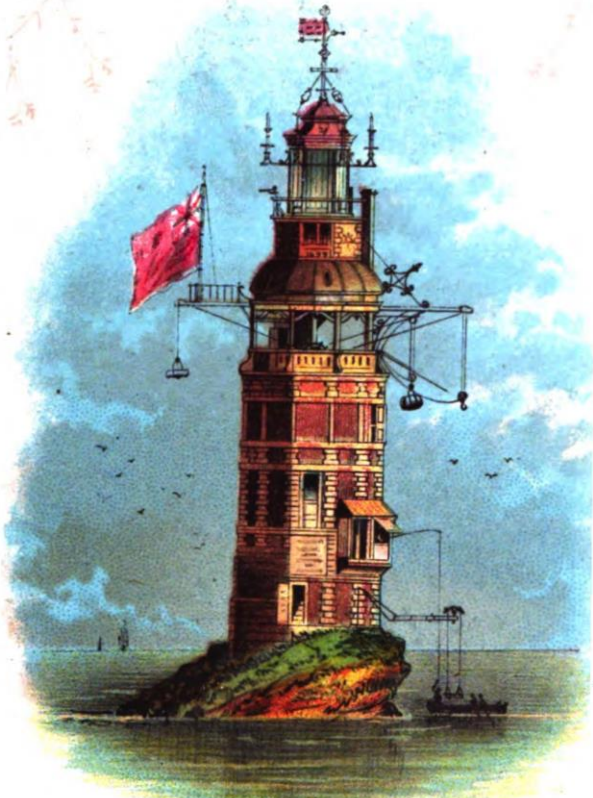
donner plus de quatre pieds de côté qui produisent soixante & quatre pieds cubes, crainte d'en rendre la manœuvre trop embarrassante



des de sable, bien blanc & non terreux, repanda également. On remplit l'intérieur de ce cercle de neuf parties de chaux vive bien cuite, concassée avec une masse de fer pour qu'elle s'éteigne plus vite, ce qui se fait en y jettant peu à peu de l'eau de la Mer pour les surmurs. Merisimes, & en le remuant de temps en

The Story of
JOHN SMEATON

AND THE EDDYSTONE LIGHTHOUSE

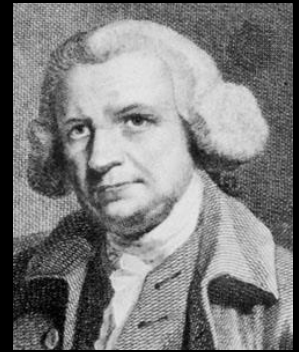


WINSTANLEY'S LIGHTHOUSE ON THE EDDYSTONE. 1699

page 21

T. NELSON AND SONS.
LONDON, EDINBURGH AND NEW YORK.

John SMEATON
1724 - 1792



PHARE D'ÉDYSTONE.

PRÉCIS HISTORIQUE

DE LA

CONSTRUCTION DU PHARE D'ÉDYSTONE,

PAR J. SMEATON,

INGÉNIEUR, MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ ROYALE DE LONDRES, EN 1759;

Extrait de la Bibliothèque britannique des Sciences et Arts de Londres, tome I^{er},
pages 89 et 611;

TRADUIT DE L'ANGLAIS, PAR M. A. PICTET, DE GENÈVE (1).

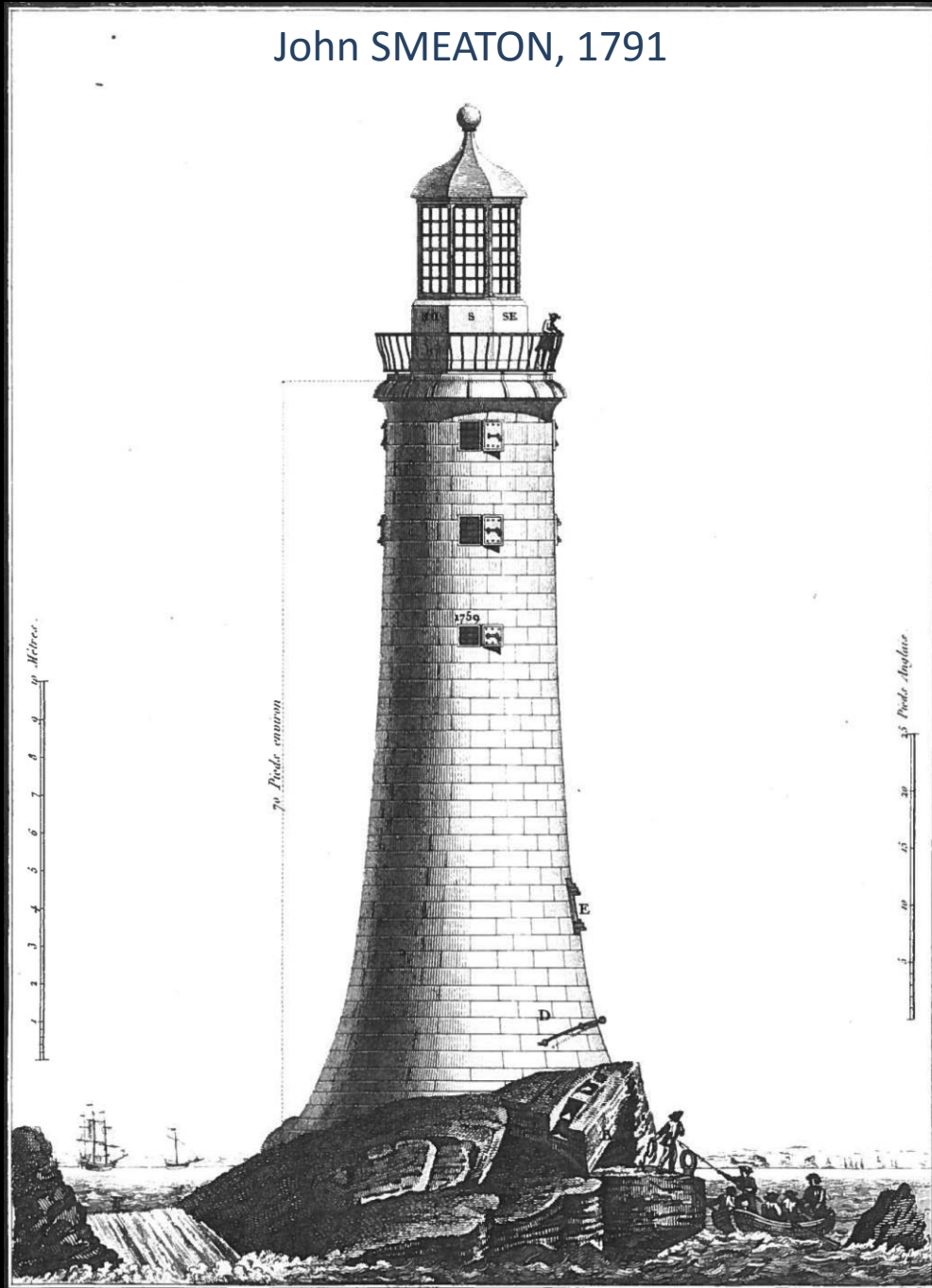
Le tems et l'industrie humaine, aiguillonnés par tous les motifs qui peuvent la développer, ont amené l'art sublime de la navigation à un degré voisin de la perfection absolue. Une tempête en pleine mer n'est, pour le matelot expérimenté, qu'une occasion de déployer son adresse à maltriser l'élément dont il brave la fureur; mais c'est au voisinage de la terre qu'arrive l'heure du danger. Lorsque cette terre est inhospitable et bordée de brisans; lorsqu'une nuit profonde ajoute aux difficultés de la manœuvre toutes les anxiétés du doute, alors l'adresse, le

(1) J'ai cru devoir ajouter à la traduction faite par M. Pictet, cinq des principales planches que j'ai fait graver sur les dessins de M. Smeaton, et dont je donne la description d'après celles qu'on trouve dans son grand ouvrage. On y verra les moyens ingénieux employés par l'auteur à la construction de ce monument. L. S.

Victor HUGO, 1868



John SMEATON, 1791



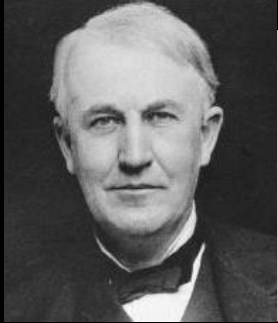
longtems. M. Smeaton donne, à cette occasion, la recette d'une composition qu'il tenait de milord Macclesfield, et qu'on nomme *mortier de cendres*. On prend deux parties de chaux très-vive et trois de cendres de bois, mesurées en volume; on fait en terre un creux rond, dans lequel on met les cendres, et au milieu d'elles la chaux qu'on fait éteindre en l'arrosant sur la place, et qu'on mêle bien avec les cendres; on laisse refroidir le tout, et on le bat ensuite à deux ou trois reprises avant de s'en servir. Ce mortier est préféré par les ouvriers maçons à celui de traas pour supporter l'alternative de sécheresse ou d'humidité.

Belidor et déjà Vitruve avaient indiqué la pouzzolane, cendre volcanique à laquelle le traas ressemble beaucoup, comme susceptible de faire un très-bon ciment à employer sous l'eau. M. Smeaton, en faisant des recherches sur les moyens de s'en procurer d'Italie, apprit qu'un marchand de Plymouth en avait apporté de Civita-Vecchia une cargaison qu'il avait compté vendre aux entrepreneurs du pont de Westminster, et dont aucun n'avait voulu faire l'essai, satisfaits, comme ils l'étaient, de l'emploi du traas. M. Smeaton la mit à l'épreuve, et trouva qu'employée avec la chaux d'Aberthaw, elle faisait une composition plus dure qu'aucune de celles qu'on employait dans les constructions à l'air, et que, sous l'eau, elle acquérait une dureté progressive qui finissait par égaler celle de la meilleure pierre de Portland. Il hésita d'autant moins à acheter toute la provision du marchand, qu'il l'obtint à beaucoup meilleur prix que le traas.

The Second Invention of Concrete

- 1753: Bernard Forest de BELIDOR describes the roman concrete of Vitruvius as a combination of lime + pozzolanas
- 1757: John SMEATON demonstrates that the best lime comes from impure limestone
- 1796: James PARKER opens a quarry of a limestone rich in silicates
- 1818: Louis VICAT publishes his PhD on cement
- 1824: Joseph ASPDIN first patent on Portland cement
- 1848: Joseph LAMBOT's boat, the first reinforced concrete structure

A Century of Progress (ACI 2004)



98% THROUGH No. 100 SIEVE
85% THROUGH No. 200 SIEVE



Capacity
2,500,000
Barrels



ACI

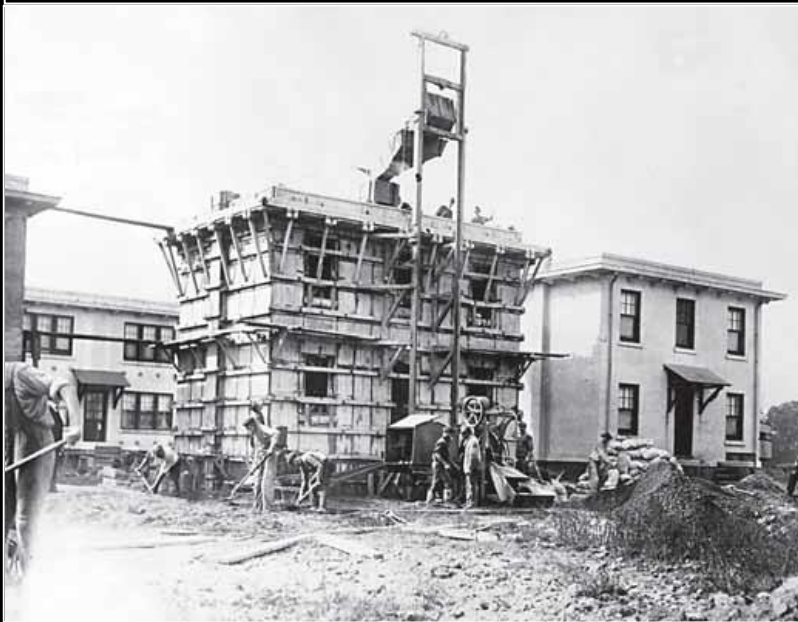
A Century
of Progress



Concrete — A Century of Innovation

Supplement to Concrete International

Thomas EDISON - 1907



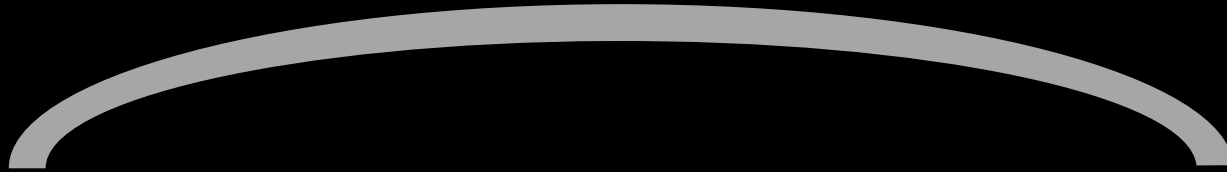
Ward House in Port Chester, NY (1873-1876)

Eugène FREYSSINET : Le Pont du Veurdre (1910 – 1911)

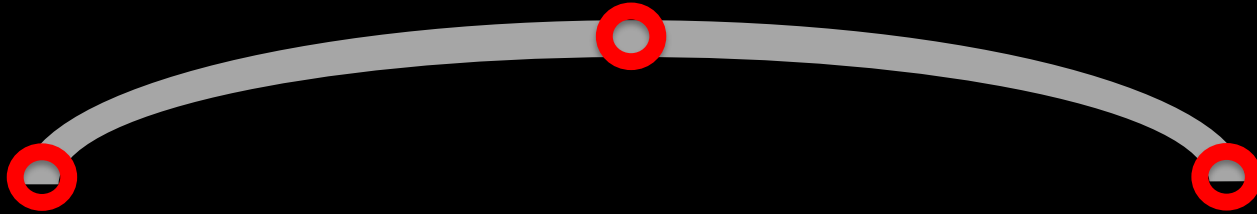


Pont de Boutiron (1912), toujours en service

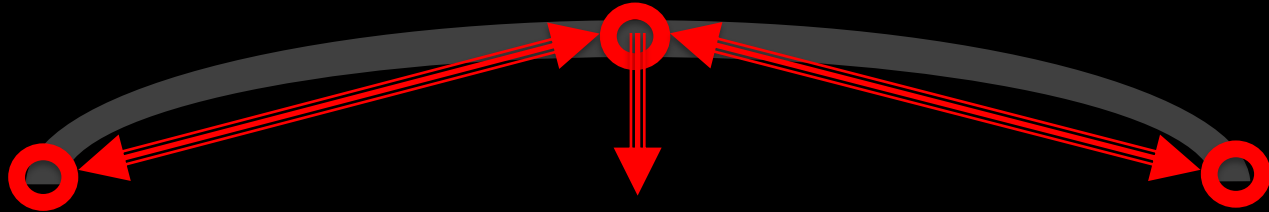




In 1910,
a concrete arch bridge should be a THREE-HINGED arch,
the rule for Steel bridges



In 1910,
a concrete arch bridge should be a THREE-HINGED arch,
the rule for Steel bridges



Freyssinet suspected creep+shrinkage could generate a risk of instability

« ... je suis donc revenu la nuit, avec Biguet, un homme sûr, pour remettre en charge les vérins de décintrement et bétonner les articulations ... »

Collapse of the
KOROR Bridge
Palau, India
(1996)





Pont de Charenton (1926-1929)

2006 : the Exhibition
at the CNAM Museum

Musée des arts et métiers

Bétons: étonnez- VOUS !

Exposition 31 mai - 5 novembre 2006
60 rue Réaumur, Paris 3^{ème} • M Arts et Métiers • www.arts-et-metiers.net

SCIENCE Obs 20 Avec le concours de LAFARGE

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS



<http://fr.calameo.com/read/00001714759b2e6493cf8>

Joseph LAMBOT's boat: 1848

1^{er} steel-reinforced concrete application (wrought iron)





LES COURS DE L'ENTPE

Gilles
CHANVILLARD

Le matériau béton :
Connaissances générales



ENTPE
ALÉAS

EYROLLES 1999

Bibliography

- Marcus VITRUVIUS (90~10 B.C.), **De Architectura Livre II**, ~20 B.C. (Traduction en français de Louis CALLEBAT, 190 p., Les Belles Lettres, Paris, 1999)
- Bernard FOREST de BELIDOR (1698-1761) **Architecture Hydraulique**, JOMBERT, Libraire du Roy, 1753
- John SMEATON, **A Narrative of the Building and a description of the Construction of the Edystone Lighthouse with Stone**, The British Library, 1791.
- M. A. PICTET, **Précis historique de la construction du Phare d'Edystone** (d'après les écrits de John Smeaton), Genève, ouvrage non daté.
- **The Story of John Smeaton and the Eddystone Lighthouse**, T. Nelson and Sons, London, 1876.
- Quincy.A. GILLMORE, **Limes, Hydraulic cements, and Mortars, Practical Treatise N°9**, Van Nostrand, New-York, 1864.
- René FERET, **Sur la compacité des mortiers hydrauliques**, Annales des Ponts et Chaussées, n°21, 1892.
- Duff A. ABRAMS, **Design of Concrete Mixtures**, Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute, Chicago, 1924.
- Eugène FREYSSINET, **Idées et Voies Nouvelles – 1. Une théorie thermodynamique des ciments**, Science et Industrie, n°1, 1933.
- Heinz-Otto LAMPRECHT, **Opus Caementitium – Bautechnik der Römer**, Verlag Bau+Technik, Berlin, 1996.
- Gilles CHANVILLARD, **Le matériau béton : Connaissances générales**, Eyrolles, 1999.
- American Concrete Institute, **2004 - A Century of Progress**, ACI, 2004.
- Musée des arts et métiers, **Bétons : étonnez-vous !** CNAM, 2006 (lisible sur : <http://fr.calameo.com/read/00001714759b2e6493cf8>).