

Zeitschrift: Matières

Herausgeber: École polytechnique fédérale de Lausanne, Institut d'architecture et de la ville

Band: 10 (2012)

Artikel: Les cônes de la rade de Cherbourg, ou du béton enseveli, 1781-1788

Autor: Gargiani, Roberto

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-984592>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

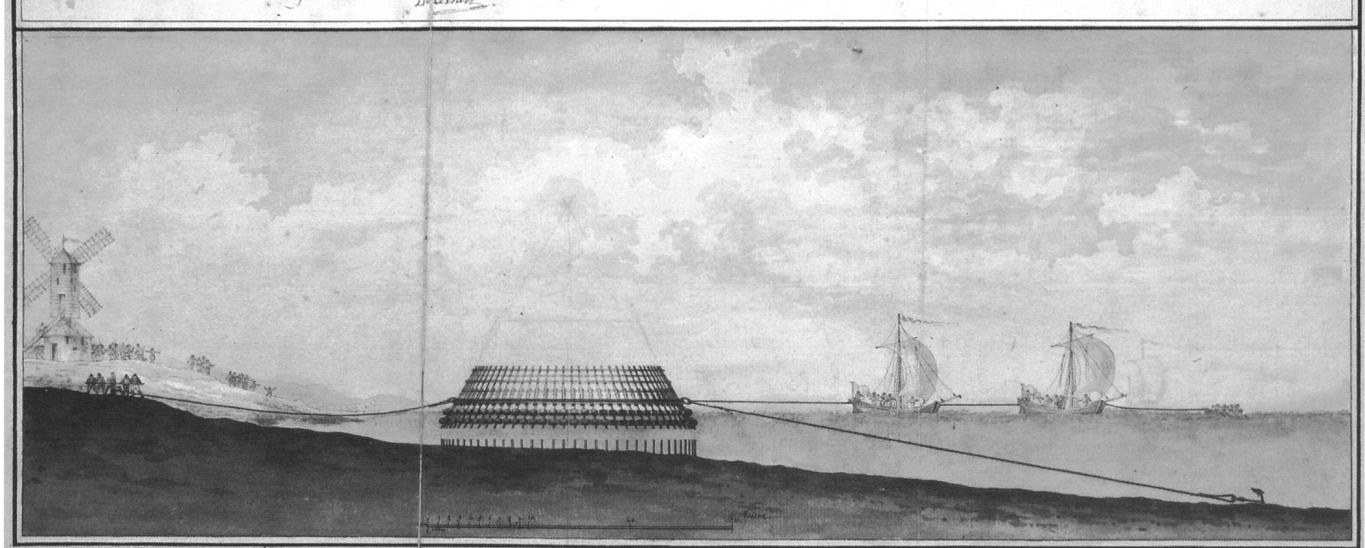
Download PDF: 25.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

EXPERIENCE, faite au Havre le 8.9.^e 1782, pour la flotaison et la Remorque à la meé d'une Caisse Conique circulaire en charpente sans fonds ni Plateforme du Dedi d'environ 800. mètres, ayant 36. pieds de hauteur 17. pieds de circonference à la Base en 339. pieds au Crête supérieur.

La Base de cette Charpente étoit plongée dans l'eau de 10. pieds 6. pouces la partie supérieure a été soutenue par 38. tonneaux.

Voyez le Manière dessant.



Les cônes de la rade de Cherbourg, ou du béton enseveli, 1781-1788

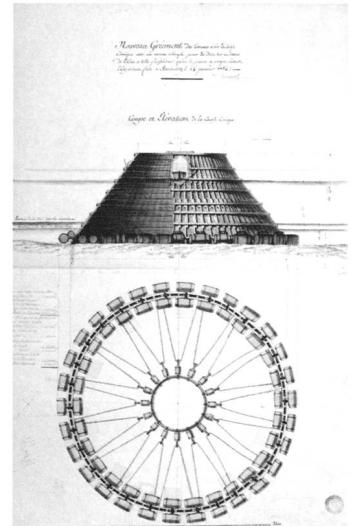
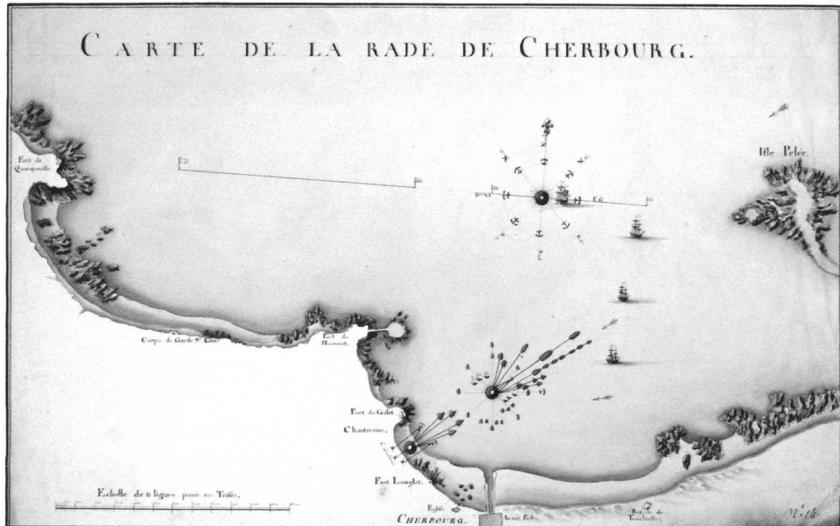
Roberto Gargiani

Tandis que jusqu'aux années 1770 la construction de bassins dans les arsenaux et de piles de ponts avait donné naissance à une série d'inventions pour des structures provisoires flottantes en bois et pour l'amélioration de la qualité des liants à base de pouzzolane, dans les années 1780, par contre, la grande nouveauté, dans la construction d'ouvrages hydrauliques, consiste à éléver d'immenses digues contre les flots marins afin de créer des rades dans les ports militaires ou de protéger les côtes contre l'érosion et les tempêtes. Le chantier décisif à ce titre est ouvert dans le port de Cherbourg, sur la Manche, sous l'impulsion de Chaumont de la Millière qui est nommé directeur de l'administration des Ponts et Chaussées en 1781. Pour construire les deux longues digues de la rade, ingénieurs, militaires et techniciens effectuent des expériences pour mettre au point un conglomérat et des critères d'immersion pour créer des masses de béton pouvant résister aux tempêtes. Dans certains cas, ils utiliseront de la pouzzolane importée d'Italie. Pour trouver les meilleures proportions du mélange, vérifier les temps de prise et déterminer les critères du coulage dans les caisses et caissons, des essais seront faits à titre expérimental, sur le modèle des expériences faites à Toulon d'abord par François Milet de Monville, puis par Barthélemy Faujas de Saint-Fond.

Les caissons tronconiques de De Cessart, 1781-1784

Afin de garantir le stationnement d'une importante flotte militaire dans le port de Cherbourg, en face de Portsmouth, l'un des principaux ports militaires anglais, la marine française avait décidé, dès 1665, de créer une gigantesque rade (le projet d'une digue avait été rédigé en 1692 par Sébastien Le Prestre, marquis de Vauban). Après quelques projets proposés à la fin des années 1770, le capitaine Louis Bon Jean de La Couldre de La Bretonnière suggère, en 1781, de construire, selon une antique technique romaine décrite aussi par Leon Battista Alberti, une rangée d'environ 450 carcasses de navires immergées au moyen de charges de pierres et de fermer l'espace entre les navires couchés au fond avec la technique des «pierres perdues». Mais le projet choisi, de loin le plus visionnaire, est celui que l'ingénieur Louis-Alexandre de Cessart présente le 11 novembre 1781 sur mandat de Charles-Eugène-Gabriel de La Croix de Castries, nommé Secrétaire d'Etat à la Marine en 1780 (il deviendra

Louis-Alexandre de Cessart, «*Expérience faite au Havre le 8 novembre 1782 pour la flotaison et la remorque à la mer d'une Caisse Conique circulaire en charpente sans fonds [...]*», EPetCh, DG3144.



Maréchal de France en 1783). Au lieu de carcasses de bateaux, De Cessart prévoit de faire construire un colossal caisson tronconique divisé en deux parties, l'une de 36 pieds de hauteur et l'autre de 34, pour le remplir de pierres (150 pieds de diamètre à la base, 60 de diamètre au sommet, pour une hauteur total de 60 pieds et une inclinaison de 60 degrés calculée en tenant compte du mouvement naturel de descente des pierres dans l'eau, afin d'éviter que celles-ci ne heurtent la charpente durant la phase de remplissage).

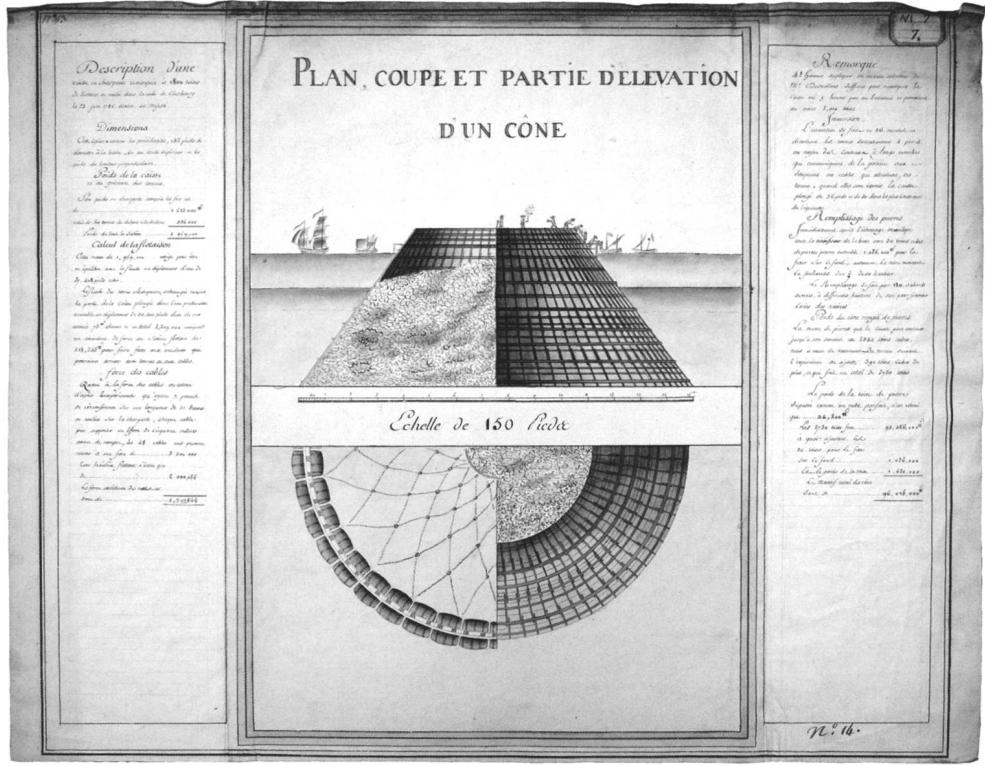
Grâce à une série de caisses, De Cessart prévoit d'élever, dans la rade, des «massifs coniques en pierres», aux bases contiguës, de manière à briser l'élan des vagues (des chaînes tendues entre les caisses auraient empêché le passage de navires ennemis)¹. «Quant à la partie supérieure des caisses en charpente audessus des basses mers, explique-t-il, on proposa (lorsque le tassement de la pierre seroit entierement fait) d'élever derrière la charpente un mur circulaire de neuf pieds d'épaisseur dans toute la circonférence pour recevoir le remplissage, et la plateforme en pavés de granite; après quoi toute la charpente de la caisse excédante la basse mer pourroit être supprimée, et celle qui resteroit dans l'eau se conserveroit parfaitement».²

La possibilité de réaliser la série de caisses tronconiques, ou «cônes», dans la rade de Cherbourg sera déterminée par les résultats d'un prototype qui doit être construit au Havre. Le 22 juin 1782, De Castries ordonne à De Cessart de construire, à titre d'essai, la partie inférieure d'un cône de 150 pieds de diamètre et de 36 pieds de hauteur. Les travaux débutent le 1^{er} juillet et s'achèvent le 30 octobre. La caisse est montée au bord de la mer, sur une plate-forme de 160 pilotis, afin d'éviter de la transporter, une fois terminée, pour la mettre à l'eau. Le 9 novembre, à marée haute, De Cessart fait mettre à l'eau la «caisse conique» et la fait remorquer pour en vérifier la flottaison. Quelques jours après l'essai, il ordonne de démonter la caisse et d'en numérotter toutes les pièces de bois pour pouvoir la remonter aisément. En mars 1783, ordre est donné de transporter à Cherbourg les pièces du prototype du Havre. A Cherbourg, les travaux de montage et d'achèvement de la caisse débutent le 27 juin pour se terminer le 28 août. L'essai de flottaison de tout le cône, effectué le 15 septembre, est une réussite et De Castries commande la fabrication de quatre autres cônes à mettre à la mer au cours de l'été 1784. Le premier cône est immergé le 6 juin 1784 et le second le 7 juin. En une quarantaine de jours, la première caisse est remplie de

De gauche à droite:

«Carte de la rade de Cherbourg», avec les indications pour le transport d'une caisse conique, EPetCh, DG1409.

Louis-Alexandre de Cessart, «Nouveau gréement des tonnes sur la caisse cône avec un moyen simple pour les détacher au dessous de l'eau [...]», 14 janvier 1784, EPetCh, DG3155.



Louis-Alexandre de Cessart, «Plan, coupe et partie d'elevation d'un cône», EPetCh, DG1430.

pierres et, selon la pratique courante de la construction de digues et de jetées, on sème des moules pour constituer des enrochements naturels avec le temps³. Le moyen de consolider le bois des caisses et les pierres de remplissage fera l'objet de nombreuses discussions qui amèneront à choisir un autre liant que la solution végétale ou animale.

Pendant ce temps, en novembre 1783, les capitaines des navires chargés de transporter aux ports de Brest et de Rochefort la pouzzolane du port de Civitavecchia, premier centre de triage de la pouzzolane en Europe, parlent de l'entreprise de la rade de Cherbourg, ce qui pousse le consul de France à Civitavecchia, Jean-Baptiste-François Vidau, à prévoir d'importantes livraisons – «si l'entreprise du nouveau port de Cherbourg prend consistance on envoyera d'autres gabarres pour le même objet», écrit-il⁴.

Le contre-projet de Céard en 1784

En 1784, l'ingénieur Nicolas Céard revient du chantier du port de Versoix, sur le lac Léman, où l'ingénieur De Caire a effectué des expériences sur l'utilisation du béton. A son retour, il est envoyé au Havre et affecté aux travaux d'aménagement du port; il se rend ensuite à Cherbourg pour visiter le gigantesque chantier des cônes. Le 7 juin, il présente à Jean-Rodolphe Perronet, l'ingénieur français le plus influent, son propre «projet de cone tronqué de la forme de celui que de Mon.r De Cessart emploie pour la rade de Cherbourg; mais different sur sa construction ainsi que sur les moyens d'échouage»⁵. Céard élimine toutes les attaches de métal dans la charpente et prévoit d'intégrer dans le cône conçu par De Cessart, entre la flottaison et la construction de la maçonnerie, une caisse étanche, ou «cuve», au fond incurvé comme la «cale d'un vaisseau»⁶, et dotée de prises d'eau pour l'immersion (36 pieds de diamètre à la base de 32 au sommet, pour une hauteur de 44 pieds); cette

«cuve» serait ensuite récupérée pour servir au transport des autres cônes⁷. Pour construire le parement des 12 rangées dans la partie supérieure du cône, Céard prévoit de préparer les pierres à terre, de les transporter en mer et de les mettre en place au moyen d'une grue installée sur la charpente des cônes (il envisage de terminer une rangée par jour).

En réponse aux objections critiques que rencontre son projet, formulées le 21 juin par Perronet qui entend confirmer la validité du système de De Cessart, Céard met en cause, le 1^{er} juillet, la solidité de la maçonnerie en béton expérimentée dans le port de Versoix⁸. Désormais, la remise en question radicale par Céard du type de maçonnerie des cônes de Cherbourg accompagnera les réflexions critiques sur les ouvrages de De Cessart et d'autres, au début du XIX^e siècle dans la rade de Cherbourg.

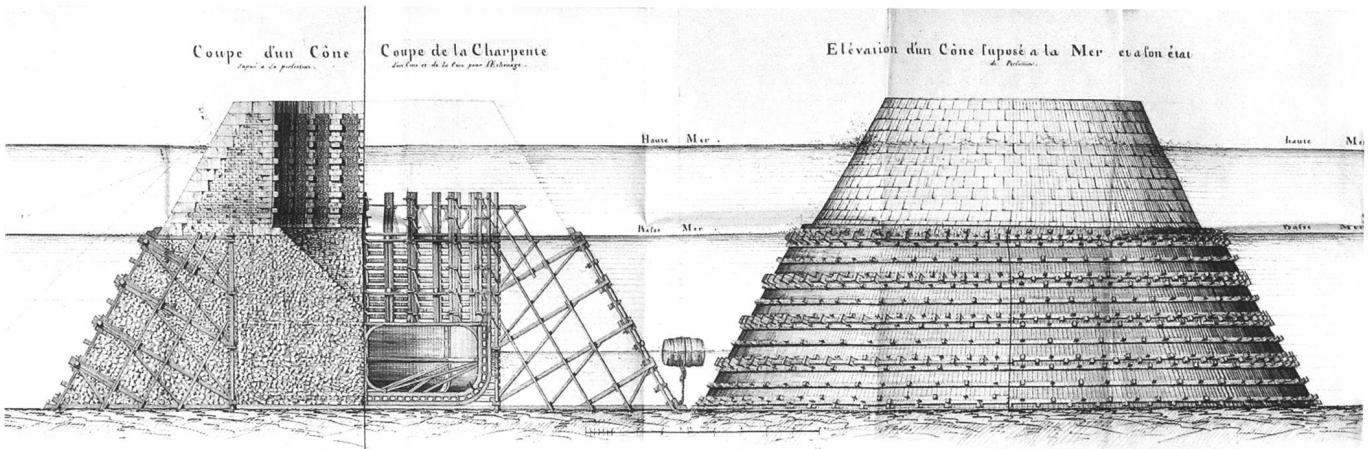
Le 25 août, après que la structure de bois du second cône a été endommagée dans la partie supérieure par la tempête du 18 août, De Cessart rédige un rapport sur les modalités de la construction du cône, dans lequel il explique le type de maçonnerie des deux niveaux principaux – au-dessus et au-dessous du niveau de la marée basse – et le rôle de la charpente du cône : «*Il sera possible comme le Sr. De Cessart a eu l'honneur de le proposer à M.r le marechal De Castrie en 1781 de construire en dedans du cone depuis le niveau de la basse mer jusqu'au sommet et dans toute la circonference du cone un mur circulaire de 8 et 10 pieds d'épaisseur qui pendant ce temps prendroit assez de consistance pour que la charpente excedente de cette partie puisse devenir tout à fait inutile dans la suite.*»⁹

Mais le gouvernement décide d'espacer les cônes et de construire des digues intermédiaires à «pierres perdues» – la solution est acceptée par De Cessart le 23 décembre pour économiser le bois nécessaire à la construction des caisses. A cette occasion, De Cessart, qui confirme ainsi l'utilité des cônes non seulement comme points d'appui indispensables pour les digues à «pierres perdues», discute de la solution des plates-formes sur cônes pour y installer les batteries de canons¹⁰.

Les cônes de Céard en blocs de béton, 1785

Alors même que le sort du système de De Cessart est en pleine discussion, Céard propose une autre version des cônes, qui cette fois est si radicale qu'elle amorce un virage dans les travaux de construction de Cherbourg. Dans son rapport daté du 10 février 1785 et intitulé «Essai sur les moyens de construire à la mer, soit des forts avancés ou des digues

Nicolas Céard, contre-projet du cône pour la rade de Cherbourg, EPetCh, MS 2568(1), pièce 2.



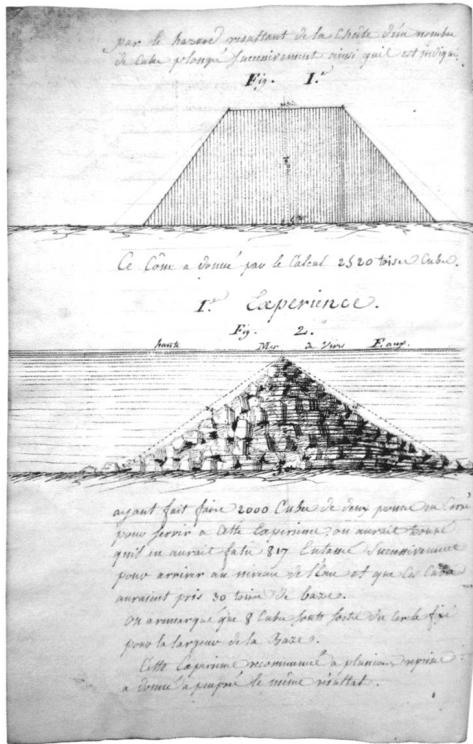
pour en former des ports ou des rades»¹¹, il explique comment dresser des cônes, de mêmes dimensions que ceux de De Cessart mais sans aucune armature de bois, dans la mer avec de grands blocs de pierre artificielle construits en béton sur la rive. Céard affirme prendre pour modèle la nature qui crée des barrages marins au moyen de grands rochers – il rappelle la littérature du Genevois Horace-Bénédict de Saussure –, et il va jusqu'à comparer la composition du béton à un phénomène géologique, comme lorsqu'au début du XVIII^e siècle on avait remplacé les pierres égyptiennes par des produits artificiels. Céard joint à la description du projet une dissertation sur le béton, mettant en cause Vitruve, Milet de Monville, la pouzzolane, mais s'inspirant principalement du traité de Bernard Forest de Bélidor, *Architecture Hydraulique*, qui s'impose comme une source privilégiée et un guide pratique pour la composition du conglomerat et pour les modalités de sa mise en œuvre¹².

«Il serait sans doute a désirer que ces rocs qu'on propose fussent naturels, explique Céard à propos de son nouveau système de construction des cônes pour la rade de Cherbourg, *mais comment les extraire des carrières en masses, et les transporter au rivage de la mer; la dépense en serait excessive et obligerait bientôt a renoncer à ce moyen; mais si l'on fait attention que les rochers calcaires et les marbres ont été eux mêmes moux, a en juger par les fossiles qu'ils renferment, on s'étonnera moins qu'on propose d'en former d'artificiels surtout s'il est prouvé que la composition qui sera indiquée, qui n'est autre chose que ce qu'on nomme Béton, se pétrifie dans trois mois, qu'elle durcit constamment a la mer et qu'elle a été employée par les anciens et les modernes avec succès en Italie en Piemont, a Toulon, a Nice, a Valence, a tous les Acqueducs du Lyonnais, et a Versoix [...]»¹³*

Si Céard est aussi sûr de pouvoir réaliser les cônes de Cherbourg en béton, c'est parce qu'il a vu les résultats des travaux dans le port de Versoix, où il effectue un séjour au début de 1785. Il prélève des fragments sur les travaux en béton réalisés dans ce port qu'il joint à son rapport pour présenter la nature du mélange : «*Les échantillons cy joints sont de cette composition.*»¹⁴ Il faut souligner que le rapport du 10 février est rédigé au moment où Céard se trouve à Versoix.

Céard conçoit un véritable atelier de préfabrication des blocs artificiels de béton qu'il pense installer sur la terre ferme, ainsi que la méthode la plus économique de construire les moules en utilisant du bois de récupération et un système de transport et d'immersion des blocs aux endroits déterminés le long de la chaîne des cônes dans la rade de Cherbourg. Il est probable que l'idée de créer ces «enrochements» artificiels en blocs de béton soit aussi due au projet de Desfirmin pour des «enrochements en maçonnerie de béton», puisque Céard avait été son assistant sur divers chantiers durant de nombreuses années. Cependant, tandis que Céard rédige son rapport sur la construction des blocs en béton, les travaux de consolidation de l'avant-mur dans le port de Civitavecchia, où sont justement utilisés des blocs de béton préfabriqués, sont presque achevés sous la direction de l'ingénieur Michelangelo Calamatta depuis 1776.

C'est en ces termes que Céard explique sa méthode de construction des cônes dans la rade de Cherbourg : «*Il s'agirait [...] de faire construire 2 ou 3 mille caisses en charpente, soit en sapin ou en vieux bardages de navires pour mouler les blocs de la forme dont on voudroit les avoir et [...] ces caisses pourraient se démonter après que le Béton s'y serait pétrifié et en telle sorte qu'il n'y aurait que le fond qui resterait provisoirement pour recevoir les câbles et amarier les tonnes destinées a transporter ces blocs au lieu ou on aurait projeté de les échouer.*»¹⁵

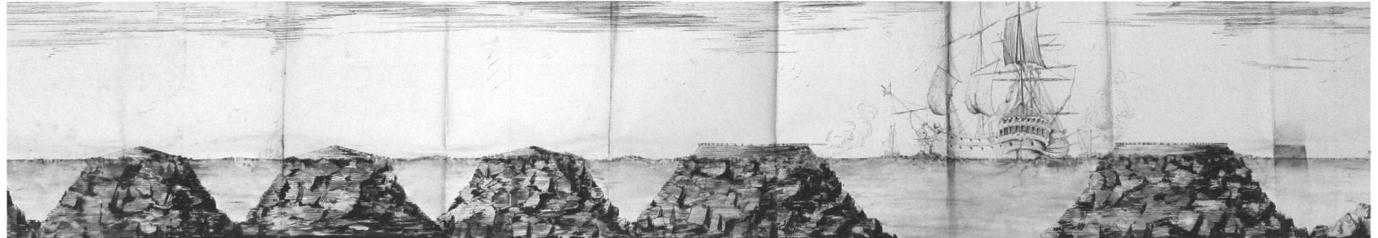


Céard ne se contente pas de démontrer, par le calcul, le nombre de blocs nécessaires à la construction d'un cône dans l'eau. Avant de rédiger son rapport, il a aussi effectué des essais pratiques, comme le laissent supposer les expressions qu'il a utilisées : «*Cette experience recommandée a plusieurs reprises a donné constamment le même résultat.*»¹⁶ Le fait que le rapport a été rédigé pendant la visite de Céard au port de Versoix porte à croire que ces essais ont été faits dans les eaux du lac Léman, en profitant des matériaux et du chantier du port pour fabriquer les blocs nécessaires.

Dans ses conclusions, non seulement Céard souligne qu'il faudrait refaire les essais de construction d'un cône directement dans la rade de Cherbourg, mais il décrit également les particularités économiques et de main-d'œuvre de la maçonnerie qui va devoir résister au cours des siècles à venir et qui, à l'instar de l'*opus caementicium* romain, devra être construite à coûts réduits et par des ouvriers non spécialisés – «*de simples manœuvres, ou soldats, pouvant suffire*»¹⁷.

Le 27 février, Céard rencontre De la Millière à Paris pour lui exposer les grandes lignes du projet décrit dans son rapport écrit à Versoix¹⁸. Une allusion à ce nouveau projet apparaît dans un bref compte-rendu de la journée rédigé peu après par Antoine Chézy, auquel De la Millière a adressé Céard – Chézy est ingénieur des Ponts et Chaussées, inventeur d'une célèbre formule de calcul pour la mécanique des fluides, et il est employé, de 1758 à 1774, à la direction des travaux de construction des ponts de Trilort et Neuilly, au service de Perronet. «*Peut être pourroit on parvenir à faire avec du béton des especes de roches capables de resister à la mer,* indique Chézy à De la Millière, *ce que je n'assure pas, alors il ne faudroit plus penser aux cones mais aux moles simplement, comme autre fois: il y a lieu de croire que la dépense seroit énorme.*»¹⁹

Nicolas Céard, page du mémoire «*Essai sur les moyens de construire à la mer, soit des forts avancés ou des digues pour en former des ports ou des rades*», Versoix, 10 février 1785, EPetCh, Ms 1080.



Nicolas Céard, projet des cônes pour la rade de Cherbourg avec blocs en béton, EPetCh, Ms 2568(1), pièce 1.

En mars, Céard prépare un autre rapport sur les «nouveaux moyens de fonder a la mer a de grandes profondeurs», dans lequel il illustre comment fermer une rade de 2500 toises avec des moles de 60 pieds de haut et une dépense de 17 millions et 250 000 livres²⁰. La méthode est identique à celle des blocs de béton décrite dans le rapport du 10 février, chacun d'une toise cubique, qui doivent être fabriqués sur la rive au moyen de moules de bois et transportés en mer avec un dispositif capable également de les immerger. Pour pouvoir effectuer des essais de fabrication de ces blocs, Céard a fait également quelques recherches sur les matériaux à disposition dans le port de Honfleur. On ne discute pas encore de la possibilité de recourir à la pouzzolane²¹.

Le projet de Céard mis au point entre février et mars est accompagné d'une série de dessins qui montrent comment construire des roches artificielles coniques au large de Cherbourg, couronnées à leur sommet de plates-formes²², et au moyen de quel dispositif les blocs sont transportés sur le lieu d'immersion, avec un replat inclinable pour les faire glisser dans la mer²³.

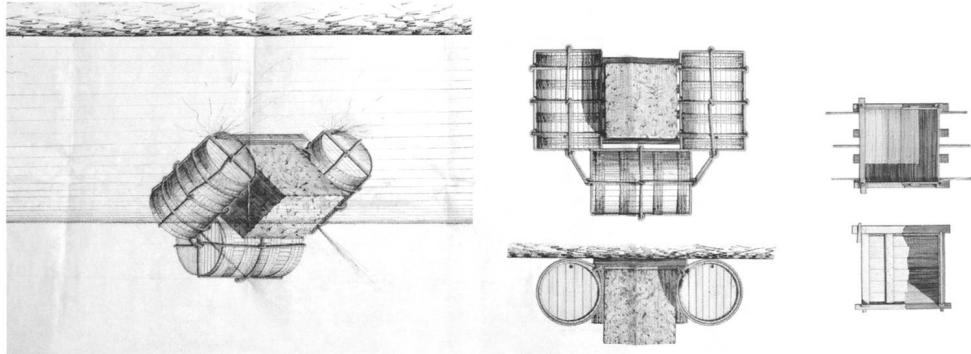
Invité par De la Millière à rédiger un rapport sur le «moyen de former des cones avec des masses ou des rochers factices d'une toise cube, composé de maçonnerie de Béton», proposé par Céard, De Cessart se montre critique face aux coûts impliqués mais estime très utile de procéder à des essais, surtout pour établir le degré de prise du béton dans les blocs²⁴.

L'avis de De Cessart est confirmé par une note de Perronet: «*Il conviendra de commencer par faire l'une des masses, chacune d'une toise cube de maçonnerie de Beton dont il se propose de composer les enrochemens ou moles, et cela pour connoître si, étant exposée pendant un temps suffisant sur la plage, cette masse pourra se consolider et résister au choc de marées et aussi pour savoir quelle en sera la dépense.*»²⁵

Dans une lettre datée du 18 avril 1785, De la Millière autorise Céard à procéder aux expériences de fabrication des blocs en béton et l'engage à prendre contact avec l'ingénieur François-Laurent Lamandé pour préparer et vérifier les essais²⁶. Dès ce moment et jusqu'aux premières années du XIX^e siècle, le port de Cherbourg devient le chantier européen à l'avant-garde de l'expérimentation du béton, où ingénieurs et techniciens s'associent dans une série de recherches qui aboutiront à la production à grande échelle de la pouzzolane artificielle.

L'essai indiqué dans la circulaire de De la Millière est celui que suggère Perronet et consiste à «exposer à la mer des blocs de maçonnerie de Beton, pour en connaître la solidité, et faire juger de la possibilité d'en composer des Moles»²⁷. Les expériences sont réalisées par Céard dans le port de Honfleur de juin à juillet, dans quatre caisses de bois²⁸.

La difficulté de faire venir de la pouzzolane à Cherbourg constraint Céard à utiliser des produits similaires, tels que des scories de fourneaux, de la poudre de briques et de la terrasse de Hollande. Dans les comptes-rendus d'essais écrits par Céard, le terme «pouzzolane»



Nicolas Céard, projet du dispositif pour transporter et échouer les blocs de béton, EPetCh, Ms 2568(1), pièce 5.

figure en tant que paramètre de référence sans qu'il ait eu la possibilité d'expérimenter les effets de véritable pouzzolane pour fabriquer le béton. A l'ouverture des caisses, au cours du mois de septembre, il s'avère que le «cube de maçonnerie» du 22 juin, c'est-à-dire celui du «Beton sans Pozzolane», «s'est trouvé bien formé»; de même la «maçonnerie» des blocs réalisés avec la «Terrasse de Hollande» nommée «espece de Pozzolane», se révèle «formée et consolidée» (deux caisses de ce type sont exécutés en diverses dimensions): «Ces cubes ont été trouvés bien formés, leurs faces polies et lisses jusqu'à un certain point, suivant les impressions du moule.» Le «béton» coulé le 6 juillet «a été trouvé bien formé et consolidé», mais ce sont les deux cubes formés avec la «Terrasse de Hollande» qui présentent les meilleurs résultats²⁹.

Céard rédige le «Détail Estimatif d'une toise cube de Béton sans Pozzolane encaissée pour sa pétrification»: la caisse est faite de «solivage du gros bois» et le «bardage en planches» avec «toutes sortes de bois». «Une caisse bien construite pouvant durer cinq années et servir à mouler 20 cubes à raison de 4 pour année du temps de sa durée», affirme-t-il. Il décrit donc les matériaux utilisés pour le mélange – «ciment ou briques pilées», «scories», «blocailles ou gros gravier», «moilons». Le rapport contient également une estimation pour la «fusion de la Chaux à l'Eau douce et mélange de toutes les matières pour la formation du Béton», et le nombre d'heures, quatre en tout, pour «jeter du Béton et des moilons dans la caisse»³⁰.

Les blocs de béton préparés à Honfleur, après avoir été libérés des caisses de bois et exposés aux vagues et aux marées, sont examinés les 17 et 18 novembre 1785 par Lamandé qui en constate la «dureté», «presque égale à celle de la pierre de Rainville, particulièrement ceux où la pozzolane est entrée en combinaison». Dans ce cas également, le terme de pouzzolane est utilisé comme dans les rapports de Céard pour indiquer des succédanés. Le fait que Lamandé qualifie ces prismes de «blocs de pierre artificielle» rend explicite l'un des objectifs des expériences de Céard: «former avec célérité et à peu de frais, des blocs d'un poids considérable», à réaliser «en beton» et pouvant former des «corps transportables». Les caractéristiques formelles du coulage du béton dans des caisses de planches en bois, qui avaient attiré Céard, n'échappent pas non plus aux observations de Lamandé: «[...] on aperçoit, écrit-il, sur les faces de ces blocs les impressions des caisses et même les coups de scie donnés aux planches, qui se sont imprimés et conservés sur ces matières durcies [...]»³¹

Après le rapport de Lamandé, deux lettres sont envoyées à De la Millière, l'une de Lamandé lui-même et l'autre de François-Henri d'Harcourt, Lieutenant Général et Gouverneur de Normandie, responsable des travaux de Cherbourg. Les deux lettres ont pour objet la possibilité ou non de recourir aux blocs de béton expérimentés par Céard pour les

Composition	Matières	Poids	Observation
			lb
2. L'asile de Paris	12. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
au moyen de	12. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
3. L'asile de Paris	12. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
4. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
5. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
6. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
7. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
8. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
9. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
10. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
11. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
12. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
13. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
14. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
15. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
16. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
17. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
18. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
19. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
20. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
21. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
22. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
23. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
24. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
25. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
26. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
27. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
28. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
29. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
30. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
31. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
32. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
33. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
34. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
35. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
36. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
37. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
38. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
39. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
40. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
41. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
42. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
43. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
44. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
45. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
46. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
47. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
48. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
49. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
50. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
51. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
52. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
53. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
54. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
55. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
56. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
57. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
58. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
59. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
60. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
61. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
62. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
63. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
64. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
65. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
66. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
67. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
68. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
69. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
70. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
71. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
72. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
73. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
74. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
75. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
76. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
77. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
78. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
79. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
80. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
81. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
82. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
83. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
84. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
85. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
86. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
87. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
88. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
89. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
90. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
91. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
92. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
93. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
94. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
95. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
96. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
97. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
98. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
99. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
100. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
101. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
102. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
103. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
104. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
105. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
106. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
107. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
108. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
109. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
110. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
111. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
112. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
113. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
114. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
115. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
116. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
117. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
118. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
119. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
120. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
121. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
122. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
123. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
124. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
125. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
126. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 12.	12. 12.	de la chaux ordinaire pour la fusion de la chaux à l'eau douce
127. Petit Asile	24. 12. 12. 12. 12. 1		

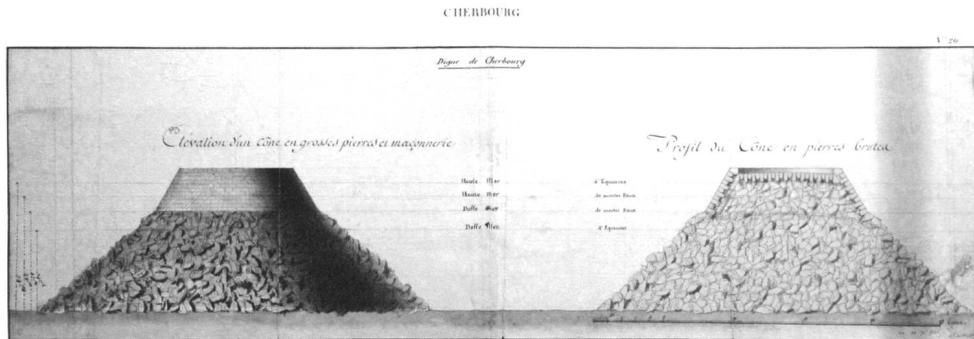
constructions de Cherbourg. D'Harcourt exprime une certaine perplexité face au coût de fabrication des blocs : «*Il est possible que leur résultat, lorsqu'il sera bien constaté, devienne utile au couronnement des digues de Cherbourg, mais je trouve que la différence [...] ne le rendra pas aussi avantageuses pour l'usage courant. Elles pourront se trouver préférables dans des cas particuliers, comme dans la construction de forts ou batteries aux extrémités des branches qui formeront les passes, et j'espère que cet hiver nous suivrons plus particulièrement ces opérations pour en faire profiter la rade, s'il y a lieu.*»³² Lamandé, quant à lui, soutient sans hésitation la méthode de Céard : «*Ce moyen de former des pierres artificielles des dimensions qu'on désire me paroit mériter attention et je crois qu'on peut s'en servir utilement dans bien des cas.*»³³ Il joint en outre une note datée du 30 novembre 1785 qui contient les avis de Perronet et De Cessart sur «*l'utilité que l'on pourra retirer dans de certains cas des expériences de M. Céard pour former de gros blocs de maçonnerie pour les ouvrages qui seront les plus exposés à la mer [...]*»³⁴

A la suite des essais de Céard à Honfleur, des recherches sur le béton sont effectuées également dans les environs du Havre et durant la même période, en vue des travaux à effectuer dans le port sous la direction de l'ingénieur Jacques-Elie Lamblardie. Contrairement à ce qu'avait fait Céard à Honfleur, on commence, au Havre, à utiliser la pouzzolane – l'italienne, celle du Vivarais et l'écossaise. Lamandé, Faujas de Saint-Fond et Céard lui-même participent aux essais sur le béton du Havre, qui seront effectués au cours de 1786. A Saint-Jean-de-Luz également, la question du béton et donc celle des cônes sont d'actualité dans le cadre des travaux dirigés par l'ingénieur Joseph-Michel Descolins pour la construction des môlets qui doivent réparer la baie du port (c'est également de Saint-Jean-de-Luz qu'en 1785, par ordre de De la Millière, une barrique de pouzzolane italienne sera expédiée au port du Havre pour réaliser les essais sur le béton).

Les expériences de Cessart et Dillon sur le béton de pouzzolane, 1787

Le 23 juin 1786, une spectaculaire cérémonie est organisée en présence du roi pour l'installation, dans la rade de Cherbourg, du neuvième cône afin de raviver l'enthousiasme pour les travaux de la digue. Mais à la fin de l'année, une nouvelle crise frappe l'ouvrage fait de cônes, puisque le 6 novembre une tempête endommage gravement le sommet de la digue et emporte une grande partie des petites pierres. Les interventions d'urgence visent à combler les trous et à consolider la maçonnerie au moyen d'une plate-forme provisoire en bois montée au sommet de la partie nord, exposée à la pleine mer³⁵. De Cessart envisage de recourir à «*un massif de maçonnerie de Pouzzolane*», comme le mentionne son rapport du 1^{er} janvier 1787³⁶. L'approvisionnement en pouzzolane doit transiter par le port de Toulon, où arrivent les bateaux en provenance de Civitavecchia³⁷. Il est prévu que les travaux à base de béton de pouzzolane soient exécutés dans le courant de 1787 : «*On couvrira le dessus des premières caisses en grillages et maçonnerie de mortier de pouzzolane pour les mettre absolument à l'abri des grandes vagues de la mer.*»³⁸

Le nouveau projet de Cessart pour Cherbourg ne se limite pas à la consolidation des cônes. Pour éviter d'utiliser du bois et donc réduire le coût des cônes, De Cessart accepte la proposition de Céard de réaliser des grands blocs et le 10 décembre 1786, il rédige un rapport qui décrit un projet de transformation radicale des cônes. Il s'agit désormais d'entreprendre la construction du second bras de la rade au moyen de «rochers pyramidals», ou de «cônes bruts», placés à une distance de 50 toises de leurs centres respectifs³⁹, véritables «rochers factices en grosses pierres»⁴⁰. Les nouveaux «cônes bruts» proposés devront posséder une



base immergée en mer et constituée de grands blocs de pierres brutes surmontées, à partir du niveau de la basse mer, d'une maçonnerie tronconique dotée d'un parement en pierres de taille. Pour cette maçonnerie également, De Cessart prévoit d'utiliser la pouzzolane – «mortier de Pouzzolane faisant corps avec les grosses pierres de l'intérieur du cône»⁴¹.

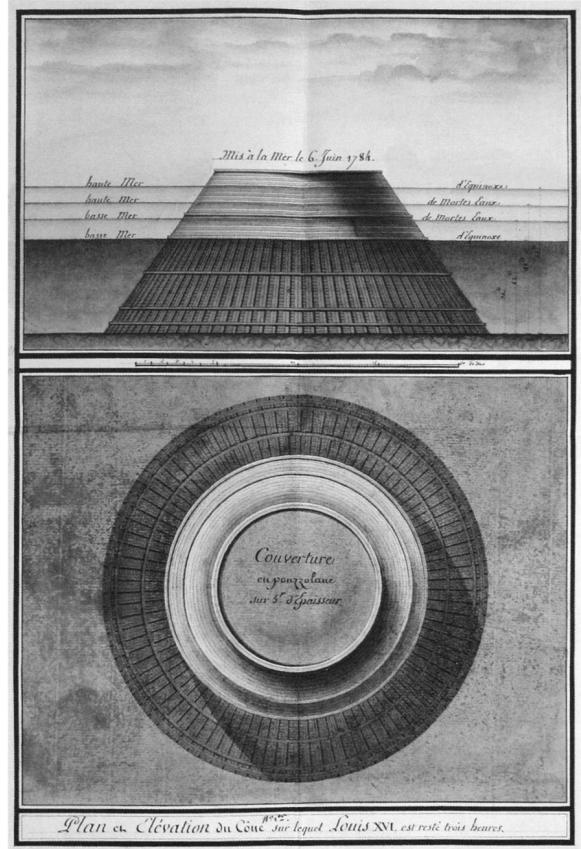
Les pierres utilisées pour les «cônes bruts» de De Cessart sont des pierres naturelles extraites de carrières autour de Cherbourg et non des pierres artificielles en béton, ce qui est indicatif d'une critique du système proposé et expérimenté par Céard à Honfleur. Mais les observations opposées à son projet de «cônes bruts» concernent justement le coût d'extraction et de transport sur le chantier des blocs de pierre et donc de leur immersion en mer⁴². C'est donc avec cette question en arrière-plan qu'au courant de 1787, De Cessart entreprend des essais de fabrication de mortiers hydrauliques et de blocs artificiels sur le modèle de ceux en béton réalisés à Honfleur et au Havre.

Les critères de fabrication et de mise en œuvre des divers conglomérats de béton expérimentés à Honfleur, au Havre et à Saint-Jean-de-Luz deviennent le point de référence des expériences menées en 1787 à Cherbourg par des ingénieurs mandatés par De Cessart. Pour obtenir des informations sur la littérature relative au ciment et à sa fabrication, Fragnier de Marsenet envoie le 20 mai à Cherbourg un rapport intitulé «Recherches sur l'histoire naturelle de la Pouzzolane», dans lequel il décrit, à travers les écrits d'auteurs antiques comme Vitruve et contemporains tels que William Hamilton, Balthazar Georges Sage et surtout Faujas de Saint-Fond, le «ciment» obtenu avec la pouzzolane, «lequel a la propriété de se durcir et d'être indestructible dans l'eau»⁴³.

Ce n'est pas un hasard si les expériences de Cessart sont soutenues par l'essai de Fragnier de Marsenet puisque, contrairement aux expériences de Céard à Honfleur, les essais sont effectués avec de la pouzzolane provenant d'Italie. Dans le rapport sur les résultats des essais, il est précisé que cette pouzzolane «a été avariée en entrant dans le port de Cherbourg, et a été plusieurs jours submergée d'eau de mer; que depuis elle a été déposée dans un lieu exposé aux différentes variations du temps: toutes circonstances qui ont pu en altérer la qualité»⁴⁴. Ces conditions de conservation particulières de la pouzzolane utilisée à Cherbourg pèsent sur l'évaluation du comportement du béton dans la mer. De Cessart et ses collaborateurs entendent justement vérifier l'efficacité de la pouzzolane dans la fabrication d'un béton capable de prendre dans l'eau⁴⁵.

La première expérience entreprise le 9 mai consiste dans la construction d'un prisme de béton. Pour la fabrication du mortier nécessaire, on utilise de la pouzzolane, du sable de granit, du sable de mer, de la chaux de pierre d'Isigny-sur-Mer «cuite à Cherbourg, la veille

Louis-Alexandre de Cessart, projet de cônes «en grosses pierres et maçonnerie», 10 septembre 1786, AN, F14, 10226-10228, 1. Cherbourg n. 22.



Louis-Alexandre de Cessart, «Couverture en pouzzolane» du cône «mis à la mer le 6 juin 1784», EPetCh.

de l'expérience», et de l'eau de mer ; les proportions des composants sont celles que Céard avait définies lors des expériences de Honfleur. Avec ce mortier mélangé à des pierres «concassées», on prépare «un composé de béton», en essayant de déterminer, par divers essais, le bon rapport entre mortier et pierres, et leur meilleure mise en œuvre afin de «laisser le moins de vide possible». On étale dans une caisse des couches alternées de mortier et de «pierre concassée», que «l'on a battu à coup de masse, pour la faire entrer dans le mortier». Après 29 jours de séchage, le bloc de béton est «divisé pour juger de la ténacité du mortier» («on a eu beaucoup de peine à en séparer une partie : l'intérieur étoit moins endurée, que les paremens»). Soixante jours après sa fabrication, le bloc est immergé en mer et exposé aux courants et aux marées pendant six semaines sans qu'aucun dégât ne soit constaté.

L'expérience la plus complexe est menée sous la direction de Jaques Dillon, un ingénieur français né à Capoue, expert en maçonneries napolitaines de ciment à base de pouzzolane réalisées en mer. Il conseille de tester «ce genre de construction qui se pratique en Italie pour les maçonneries, dans l'eau». On prépare en mer deux enclos de planches de bois munis d'un fond également de bois pour y couler directement un mélange de ciment à base de pouzzolane mais préparé différemment – avec une proportion différente de pouzzolane et avec des pierres noyées dans le ciment ou jetées séparément dans la caisse, entassées en couches alternées au mortier. Pour le coulage du mortier, on utilise une caisse de bois, ou «tramuée» renversée, avec un fond amovible de manière à déposer le mélange sans devoir le jeter par le haut (probablement sur le modèle adopté par Milet de Monville à Toulon et

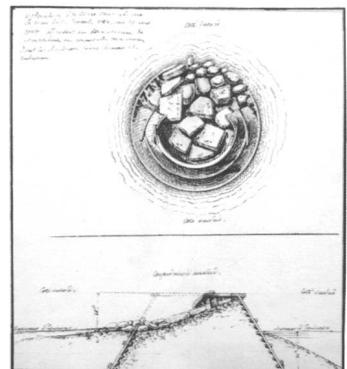
rendu célèbre par Bélidor). Avec ces deux mélanges, on effectue aussi des coulées sur les quais du port de manière à déterminer les divers degrés de prise, aussi bien en mer qu'à l'air libre. L'enclos du mélange de ciment et pierres est démonté huit jours après le coulage effectué le 3 juillet : «*On a reconnu alors par les paremens, que cette maçonnerie est bien pleine. Depuis l'enlèvement des planches, le mortier a resté intact et a pris successivement une ténacité assez forte ; mais moins que celui qui étoit resté à l'air [...]»*⁴⁶ Le 7 septembre, des sondages sont faits dans le «massif» pour en vérifier la résistance, «sans pouvoir assigner son degré de consistance». Dans l'autre enclos, on coule séparément un type de béton «tout frais», puis les pierres ; à marée basse, on constate que la partie supérieure est dénuée de ciment.

Le résultat des expériences menées à Cherbourg sous la direction de Cessart indique une certaine inquiétude à recourir à la maçonnerie de ciment avec pouzzolane du fait que l'on ne connaît pas encore suffisamment les critères permettant d'obtenir une coulée capable de résister rapidement à l'action de l'eau de mer. «*Nous sentons, mentionne le rapport, que nous laissons encore beaucoup à désirer ; et que nos expériences ne sont pas parfaitement complètes [...]»*⁴⁷

Toutes les expériences incitent les collaborateurs de Cessart à douter des affirmations de «quelques constructeurs», selon lesquels «le mortier de Pozzolana acquiert, en moins de 24 heures, une telle consistance, que l'on a peine à diviser deux pierres qui ont été mises par ce moyen». Si l'on pense que les expériences de Cherbourg sont menées avec en toile de fond les problèmes apparus dans la maçonnerie à l'intérieur des gabions tronconiques de la rade, il est évident que le béton avec pouzzolane n'apparaît pas encore comme une solution praticable aux yeux de Cessart⁴⁸.

Après les divers essais effectués à Honfleur et à Saint-Jean-de-Luz, et malgré les résultats incertains des expériences de Cherbourg, de Cessart lui aussi recourt au béton de pouzzolane pour la maçonnerie des plates-formes des cônes. Du 19 au 22 mai 1787, la commission formée des ingénieurs Hubert, Ferregeau et Lazowsky, et dirigée par De Cessart, fait une inspection pour vérifier l'état des cônes immergés en mer afin d'estimer les coûts des réparations et des travaux à terminer (le 19 mai et le 21 mai, les onzième et douzième cônes sont mis en mer). Le treizième cône est immergé le 3 juin et c'est le 11 juin qu'est rédigé le rapport de la commission. L'état des cônes est également documenté par un dessin exécuté à la suite de l'inspection.

La commission constate le bon état de conservation des planchers provisoires montés dans le secteur nord du sommet des cônes, mais prend également acte que dans certains cas, des vides ont continué à se former dans la maçonnerie et doivent maintenant être remplis de pierres. Le paragraphe qui, dans le rapport, traite des systèmes innovants de construction des cônes concerne la «Maçonnerie en Pouzzolane». Selon les indications déjà récoltées en 1786, aussi les ingénieurs collaborateurs de Cessart optent pour la solution de consolider le sommet des cônes à l'aide de béton. «*On estime, écrivent-ils, qu'il faudra construire au nord une maçonnerie de Beton sur 24 pieds de circonférence 10 pieds de hauteur sur 3 pieds d'épaisseur formant 6 toises cubes qui suivant les expériences faites et arrêtées le 10 juin 1787 reviendront transportées à la mer, le Roi fournissant la Pouzzolane à 234.10 et pour les 6 toises cubes 1407 pour mémoire.*» En marge du paragraphe figure l'annotation suivante : «*Expérience à faire incessamment.*» «*Nous nous proposons en conséquence, indique le même rapport, ce qui a été ordonné, de couvrir une partie des cônes en maçonnerie de Bétons de granite et Pouzzolane, autant que les approvisionnements de cette matière nous le*



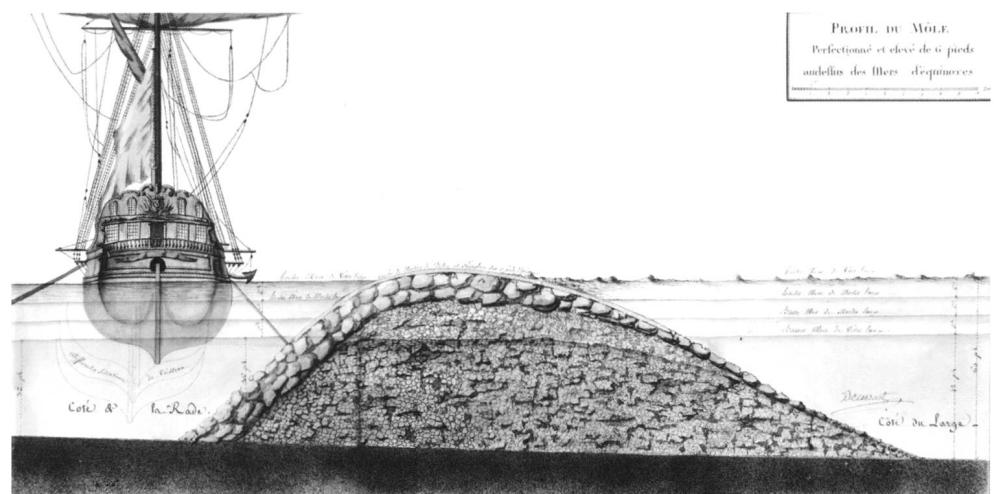
Louis-Alexandre de Cessart, état du cône mis à la mer le 6 juin 1784, après la tempête du 25 août 1789, AN.

permettront, ensuite de demander à l'administration la permission de couvrir les autres cônes provisoirement en commun ou recoups de madriers pour conserver les pierres du dessus des cônes, en attendant le résultat de l'expérience de la maçonnerie de Pouzzolane.»⁴⁹

A la suite de l'inspection et des décisions prises en juin, la première couche de béton est réalisée au cours de 1787. «On a couvert en maçonnerie de Pouzzolane de 5 pieds d'épaisseur, le dessus du 1^{er} cone place le 6 de juin 1784 sur lequel le Roi a passé une partie du temps de la remorque et de l'immersion du cône de l'est, le 23 juin 1786.»⁵⁰ Les travaux sont exécutés sous la direction de l'ingénieur Pitrou (fils du célèbre Robert, expert en ponts et maçonneries hydrauliques), qui deviendra expert en maçonnerie de béton de pouzzolane⁵¹. De Cessart entend également consolider avec la même maçonnerie, au cours de 1788, la plate-forme des autres cônes: «Il sera nécessaire de couvrir successivement le dessus des cônes en maçonnerie de pouzzolane d'après l'expérience du premier cone faite dans cette campagne, en observant de commencer par les anciens, dont le tassement des pierres de l'intérieur sera totalement fait.»⁵²

Digues et cônes de béton de pouzzolane selon Gayant, Pitrou et Ferregeau, 1787

A la fin de 1787, le site des travaux dans la rade de Cherbourg nécessite une intervention parce que les tempêtes sont en train de détruire les cônes qui viennent d'être immersés en mer. «Il est impossible de se dissimuler qu'il soit tems de changer de système», indique une note drastique avec mémoire en annexe, envoyée le 24 décembre 1787 à De la Millière par Antoine-Nicolas Gayant, Pitrou et Ferregeau, ingénieurs dans le département de la Manche⁵³. Pour consolider les digues en construction de la rade de Cherbourg, protéger le système des pierres perdues à l'aide d'un solide revêtement en maçonnerie, Gayant, Pitrou et Ferregeau proposent diverses solutions alternatives: une «digue en gros Blocs couronnée par un Revêtement circulaire à la hauteur des pleins mers de vives eaux», dotée également d'un «massif de beton» prismatique de section rectangulaire, fabriqué sur un radier de bois; une digue au sommet nivelé, à partir de laquelle on érige un «parapet» placé sur un talus construit au moyen de caissons; enfin, une autre digue au sommet nivelé, mais dotée d'une puissante muraille construite sur une structure en charpente et béton ou sur un solide pied de maçonnerie.



Louis-Alexandre de Cessart, projet de couverture des digues entre les cônes avec une «couche de mortier de béton et pozzolane», AN.

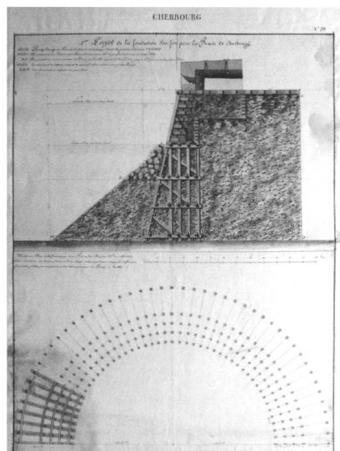
Dans leurs propositions pour Cherbourg, Gayant, Pitrou et Ferregeau ne cessent de faire référence à un type de maçonnerie hydraulique en «béton de pouzzolane» et suggèrent tout naturellement d'envoyer des ingénieurs français en voyage d'étude en Italie. Dans leur devis, le point «Remplissage de la caisse en béton de pouzzolane» comporte la note suivante : «Nous avons adopté les proportions de l'expérience faite à Honfleur par Mr. Céart»; et ils proposent donc une estimation pour l'achat de 87 «pieds cubes de Pouzzolane» à préparer à Toulon, ainsi que pour les coûts de transport de la pouzzolane des magasins «sur la place où se fera le Béton», d'achat du sable, de la chaux éteinte et des «cailloutis ou moilons réduits à la grosseur d'un œuf», ainsi que les frais de fabrication – «façon du Béton», «pour être fait avec soin et bien mêlangé».

Gayant, Pitrou et Ferregeau ne se limitent pas à proposer des techniques de construction pour les digues de Cherbourg. A la fin de leur rapport, ils émettent encore une hypothèse de transformation des caisses coniques conçues par De Cessart, qui s'avère fondamentale dans l'histoire du béton. Dans le chapitre «Perfections dont nous croions que les caisses seroient susceptibles», ils décrivent comment consolider les cônes en mer, selon certaines modalités technique déjà indiquées pour les digues ; ils contestent également l'hypothèse de détruire la partie émergée des cônes pour éviter de devoir l'entretenir ; enfin, dans le paragraphe «caisses à construire», ils décrivent comment transformer la charpente de Cessart en un véritable coffrage pour y couler du béton. En fonction du changement du matériau des caisses de Cessart, on modifie aussi l'inclinaison originelle des cônes qui avait été calculée pour éviter que les pierres heurtent les planches de bois de l'enveloppe (141 pieds et 5 pouces de diamètre à la base, 124 pieds et 5 pouces de diamètres au sommet, sur 34 pieds de hauteur). «Afin de remédier aux effets de la lame, lit-on dans un passage crucial de leur rapport, dans les 12 pieds au dessous de la laisse de basse mer de vives-eaux, nous bordons les caisses tant intérieurement, qu'extérieurement, avec de forts madriers jointifs : ils forment un coffre dans lequel nous jetons du Béton qui peut prendre de la dureté, n'étant pas délayé par l'agitation de la vague.»⁵⁴

Projet anonyme de transformation des cônes en coffrages à béton, 1788

En 1788, l'importation à Cherbourg de pouzzolane en provenance du port de Civitavecchia enregistre un pic au moment où les travaux de De Cessart prévoient de consolider les cônes à l'aide de béton et où Gayant, Pitrou et Ferregeau émettent leurs hypothèses. En janvier, un navire hollandais venant d'Amsterdam accoste à Civitavecchia et repart en direction de Cherbourg avec à son bord une première cargaison de pouzzolane⁵⁵; un second navire, toujours hollandais mais commandé par un capitaine originaire d'Agde, est affrété en mars pour transporter à Cherbourg 5000 ou 6000 quintaux de pouzzolane⁵⁶. En avril, c'est au tour d'un bateau suédois d'amener une pleine cargaison de pouzzolane à Cherbourg.

Lorsque la chaîne de cônes commence à être laissée à l'abandon et la maçonnerie à se détériorer progressivement laissant entrevoir sa «destruction, même partielle»⁵⁷, et lorsqu'on discute sur le moyen d'achever la digue, c'est alors qu'est formulée une autre proposition exceptionnelle pour poursuivre l'œuvre commencée par De Cessart en modifiant substantiellement la nature de la maçonnerie. Dans le prestigieux journal scientifique *Observations sur la Physique, sur l'Histoire Naturelle et sur les Arts*, on peut lire, en octobre 1788, un article anonyme intitulé «Observations sur la construction des cônes de Cherbourg», qui décrit comment construire en béton les murs et la couverture en laissant un vide à l'intérieur du cône⁵⁸. La proposition pousse à l'extrême ce qui avait été formulé par



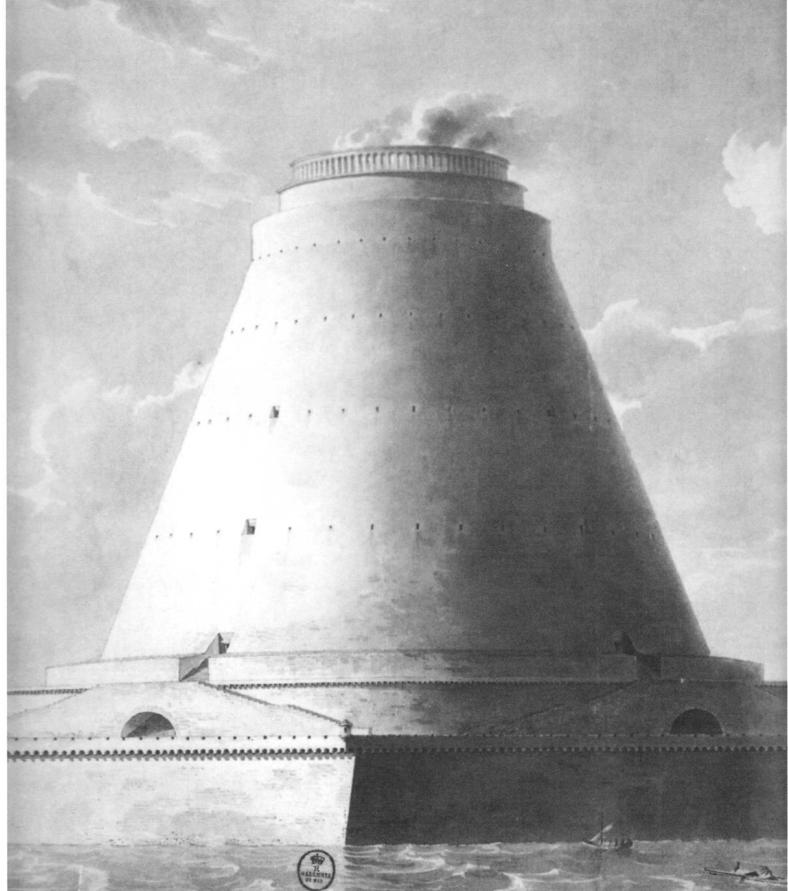
Gayant, Pitrou et Ferregeau, «Projet de la fondation d'un fort pour la Rade de Cherbourg», AN, F14, 10226-10228. 1. Cherbourg n. 26.

Gayant, Pitrou et Ferregeau. Son auteur suggère de modifier les caisses de De Cessart pour obtenir de véritables coffrages et réaliser une maçonnerie par coulage de béton. Si cette proposition avait été mise en œuvre, ces caisses seraient devenues les premiers coffrages spectaculaires de béton, et les cônes de la rade de Cherbourg les premières «surfaces gauches» monumentales de l'histoire du béton.

«[...] je formerois deux cônes concentriques, lit-on dans l'article, ayant un fond en forme de couronne qui les leroit par leur base; le vuide que laissent entr'eux ces deux cônes seroit rempli en maçonnerie de beton. Le cône intérieur seroit moins élevé que l'extérieur, & il seroit terminé en calotte pour recevoir de la maçonnerie ou beton qui formeroit une voûte en-dessous & une platteforme en-dessus, de manière que le beton renfermé entre ces deux cônes ou enveloppes, auroit la forme d'un creuset renversé. [...] le cône de beton que je propose, ayant eu le tems de se durcir avant que les bois soient pourris, résistera toujours aux flots de la mer; je dis toujours, ceux qui connaissent les qualités du beton diront comme moi; car les Romains ont fait du beton qui subsiste sans dégradation depuis plus de seize siècles aux intempéries des saisons & aux vagues des rivières. J'ajouterais à tous ces avantages celui d'une économie véritable; c'est par l'ignorance des propriétés du beton qu'on a jugé moins coûteux les remplissages en pierres sèches. On pourra faire les cônes que je propose en toutes sortes de bois, principalement l'intérieur qui peut être formé de débris de vaisseaux; de simples planches de bois blanc y peuvent être employées avec succès. Il suffit qu'elles soient étayées & maintenues par des courbes intérieures; ainsi les deux cônes de bois que je propose ne coûteront pas plus que celui qu'on a employé. Secondelement le massif de beton que j'indique est beaucoup moindre que celui des pierres dont on remplit le cône: il n'en compose pas même la troisième partie. Car le beton se fait avec les pierres les plus informes, les plus petites, le rebut des carrières; les galets, les cailloux, & le sable entrent dans sa composition, de manière que presque par-tout il revient moins cher que la maçonnerie à pierres sèches. Ainsi je puis conclure que les cônes que je propose seront moins chers que ceux qu'on a exécutés. [...]. Tout paroît donc concourir au succès de ces cônes de beton; un seul obstacle pourroit s'y opposer, la qualité de la chaux qui n'y seroit pas propre. Or, sur ce point je n'oserais rien avancer, parce que j'ignore entièrement la pierre qui la produit: je dirai seulement qu'il doit être facile de s'en procurer par mer ou par terre. Je remarquerai encore que le beton est une excellente maçonnerie, & que si l'usage n'est pas généralement adopté, c'est sans doute faute d'une chaux qui ait la propriété de durcir dans l'eau; en ce cas on peut se servir des coquilles qu'on trouvera sur les lieux, qui réduites en chaux & mêlées avec de la chaux quelconque, la feront durcir promptement, & par-là le beton deviendra un corps assez solide pour résister aux flots qui l'environnent.»⁵⁹

Par un article intitulé «Réponse A l'Auteur des Observations sur la construction des Cônes de Cherbourg», daté du 1^{er} décembre 1788 à Cherbourg, un ingénieur de l'équipe de De Cessart (peut-être De Cessart lui-même) critique la transformation des cônes en coffrages, parce que d'une part leur poids aurait augmenté de façon excessive, rendant ainsi leur flottaison hasardeuse, et d'autre part la structure à la base du coffrage tronconique, tout en étant nécessaire pour maintenir la cohésion des deux enveloppes parallèles, aurait créé des difficultés une fois posée sur le fond marin non plat. De plus, il est indiqué que «il seroit fort difficile de remplir en béton l'intervalle entre les deux caisses»⁶⁰.

Le développement de la technique du ciment et les expériences d'ingénieurs et militaires dans la rade de Cherbourg sont la toile de fond sur laquelle des architectes comme Etienne-Louis Boullée et Claude-Nicolas Ledoux imaginent de grandioses masses de maçonneries,



parfois configurées indépendamment des critères constructifs strictement liés à l'appareil et à la coupe des pierres. Mais l'énigme autour du type de construction en maçonnerie imaginé par Boullée pour ses monuments visionnaires prend un tour plus précis à la lumière des déclarations contenues dans les «Observations sur la construction des cônes de Cherbourg». Il ne fait aucun doute que l'auteur anonyme des «Observations», qui n'est ni ingénieur ni technicien militaire expert en construction (puisque il admet lui-même ne rien savoir du matériau constituant le béton), fait preuve d'une vision digne d'un élève génial de Boullée à l'Ecole des ponts et chaussées. Il vaut la peine de relire le début des «Observations» pour comprendre l'affinité entre cet auteur anonyme, un artiste, et Boullée : «*Tout François & particulièrement tout artiste, prend part aux travaux publics.* C'est à ce double titre que mon cœur s'est ému lorsque j'ai appris qu'un ouragan avoit renversé un cône de la rade de Cherbourg.»⁶¹

Même si la prose est différente, on ne peut s'empêcher de penser que l'auteur des «Observations», qui imagine une alternative à l'ouvrage conçu par un ingénieur diplômé de l'Ecole des ponts et chaussées tel que De Cessart, puisse être Boullée en personne qui,

Etienne-Louis Boullée, projet de phare.

en 1788 justement, après dix années, cesse d'enseigner à l'Ecole. Boullée, en effet, avait coutume d'inventer d'audacieuses propositions poétiques à l'intention des ingénieurs: il suffit en effet de penser qu'à peine un an avant la publication des «Observations», il avait dessiné, en 1787, le projet du pont Louis XVI (aujourd'hui nommé le pont de la Concorde), avec des piles en formes de barques aux voiles affalées, au moment même où l'influent directeur de l'Ecole des ponts et chaussées, Perronet, avait été mandaté par le roi pour construire ce pont. Au-delà de la question de l'auteur des «Observations», les divers dessins visionnaires de Boullée pour de grandioses structures tronconiques creuses, comme le projet non daté d'un phare surgissant de la mer, s'insèrent dans le débat sur la maçonnerie des cônes de Cherbourg. Du reste, les cônes de De Cessart, s'ils avaient été achevés, auraient créé «une colonnade en plein mer»⁶², et auraient pu entrer dans ce que Boullée définissait comme «architecture ensevelie» pour exprimer le sens sublime de ses projets d'édifices colossaux sortant de terre. S'il l'on pouvait démontrer que Boullée connaissait l'hypothèse des coffrages imaginés pour les cônes de Cherbourg, on aurait alors la certitude que les masses de maçonnerie de ses projets visionnaires constituaient l'apothéose de ce matériau, enseveli dans les constructions du XVIII^e siècle mais destiné à marquer l'époque contemporaine à venir: le béton.

Remerciements

L'auteur remercie de son aide Guillaume Saquet, responsable du Fonds ancien de l'Ecole nationale des ponts et chaussées.

Notes

L'essai fait partie d'une recherche sur l'histoire du béton développée dans le cadre d'une bourse de l'European Research Council. Les abréviations suivantes ont été adoptées: AN, pour Archives Nationales, Paris; EPetCh, pour Ecole des ponts et chaussées, Paris.

1 Louis-Alexandre de Cessart, «Cherbourg. Description succincte des moyens employés pour remonter à Cherbourg la première des caisses en charpente exécutée au Havre en 1782, et du travail fait en 1783», 24 février 1784, AN, Marine, 3JJ/134.

2 *Ibidem*.

3 Louis-Alexandre de Cessart, «Rade de Cherbourg, année 1784. Description succincte du premier cône en pierre construit en 1784 pour couvrir la rade de Cherbourg»,

25 août 1784, AN, Marine, 3JJ/134.

4 Jean-Baptiste-François Vidau, 9 novembre 1783, «Correspondance Consulaire, Civitavecchia», AN, AE, B.1.375.

5 Nicolas Céard, lettre à Jean-Rodolphe Perronet, 7 juin 1784, EPetCh, Ms 969.

6 Nicolas Céard, «Rade de Cherbourg», 5 juillet 1784, EPetCh, Ms 969.

7 Nicolas Céard, «Dernières observations du sieur Céard, sur le rapport ci joint de Mr De Cessart, au sujet de l'esquisse d'un cône en charpente et maçonnerie faite par ce sous Ingénieur et adressée à Mr De la Millière le 7 juin 1784», EPetCh, Ms 969. Voir le dessin «Cône de Cherbourg, par M. Ceard» EPetCh, MS 2568(1), pièce 2.

8 Nicolas Céard, «Rade de Cherbourg», 5 juillet 1784, EPetCh, Ms 969.

9 Louis-Alexandre de Cessart, «Rapport du S.r De Cessart sur un projet envoyé à Monsieur De la Milliere le 7 juin 1784 d'un cone tronqué en charpente et maçonnerie pour l'enceinte de la Rade de Cherbourg», 29 octobre 1784, EPetCh, Ms 972.

10 Louis-Alexandre de Cessart, «Réflexions sur les travaux de la Rade de Cherbourg. Cherbourg année 1784», 24 septembre 1784 EPetCh, Ms 2874.

11 Nicolas Céard, «Essai sur les moyens de construire à la mer, soit des forts avancés ou des digues pour en former des ports ou des rades», Versoix, 10 février 1785, EPetCh, Ms 1080.

Monographies

12 Cf. Bernard Forest de Bélidor, *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*, Paris, Ch.-A. Jombert, vol. II, 1753.

13 Nicolas Céard, «Essai sur les moyens de construire à la mer, soit des forts avancés ou des digues pour en former des ports ou des rades», op. cit.

14 *Ibidem*.

15 *Ibidem*.

16 *Ibidem*.

17 *Ibidem*.

18 Chaumont de la Millière, billet à Antoine Chézy, 27 février 1785, EPetCh, Ms 975.

19 Antoine Chézy, «Rapport du S.r Chézy sur un projet de cone par la rade de Cherbourg», 28 février 1785, EPetCh, Ms 975.

20 Nicolas Céard, lettre à Chaumont de la Millière, 11 mars 1785, EPetCh, Ms 976.

21 *Ibidem*.

22 Voir le dessin «Projet de cônes relativ à la Rade de Cherbourg par Mr. Ceard en 1786», EPetCh, Ms 2568(1), pièces 1.

23 Voir le dessin pour le dispositif d'immersion des blocs, EPetCh, Ms 2568(1), pièce 5. Une note indique qu'«il n'y a pas de memoire expositif à l'appui de ce projet».

24 Louis-Alexandre de Cessart, «Rapport du S. De Cessart sur le projet des cones et autres ouvrages proposés pour la rade Cherbourg», 31 mars 1785, EPetCh, Ms 976.

25 Note de Jean-Rodolphe Perronet, in Louis-Alexandre de Cessart, «Rapport du S. De Cessart sur le projet des cones et autres ouvrages proposés pour la rade Cherbourg», 31 mars 1785, EPetCh, Ms 976.

26 Chaumont de la Millière, lettre à Nicolas Céard, 18 avril 1785, EPetCh, Ms 976.

27 «Essai ordonné par Mr. de la Milliere sur les maçonneries de béton, suivant l'avis de MM de Chezy et de Cessart», 18 avril 1785, EPetCh, Ms 2179 (autre version, EPetCh, Ms 730).

28 Nicolas Céard, «Essai ordonné par Mr de la Milliere, sur la maçonnerie de Beton, suivant l'avis de M.M. De Chezy et de Cessart», 20 juillet 1785, EPCh, Ms 161.

29 Nicolas Céard, «Suite des Expériences, ordonnées par Mr de la Milliere [...]. Ouverture des Caisses», 19 septembre 1785, EPetCh, Ms 161.

30 Nicolas Céard, «Détail Estimatif d'une toise cube de Béton sans Pozzolane encaissée pour sa pétrification», EPetCh, Ms 730.

31 François-Laurent Lamandé, «Rapport de l'Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées de Rouen, sur les Blocs de maçonnerie de Béton, formés par le S. Céard», 18 novembre 1785, EPetCh, Ms 161.

32 François-Henri d'Harcourt, lettre à Chaumont de la Millière, 25 septembre 1785, EPetCh, Ms 2179.

33 François-Laurent Lamandé, lettre à Chaumont de la Millière, 23 novembre 1785, copie EPetCh, Ms 2179.

34 *Ibidem*.

35 Louis-Alexandre de Cessart, «Procés verbal de la visite des cônes et des digues en construction dans la Rade de Cherbourg», 11 juin 1787, EPetCh, Ms 992.

36 Louis-Alexandre de Cessart, «Rade de Cherbourg. Résumé historique des ouvrages faites pendant les campagnes de 1784, 1785 et 1786 et de ceux projettés pour l'année 1787», 1^{er} janvier 1787, AN, Marine, 3JJ/134.

37 *Ibidem*.

38 *Ibidem*.

39 Louis-Alexandre de Cessart, «Reflexion générale sur les digues et sur les cônes de la Rade de Cherbourg», 10 décembre 1786, présentée le 16 février 1787, EPetCh, Ms 995.

40 Louis-Alexandre de Cessart, lettre à Chaumont de la Millière, 2 juillet 1788, EPetCh, Ms 994.

41 Louis-Alexandre de Cessart, «Reflexion générale sur les digues et sur les cônes de la Rade de Cherbourg», 10 décembre 1786, présentée le 16 février 1787, EPetCh, Ms 995. Pour les dessins voir, Louis-Alexandre de Cessart, «Digue de Cherbourg», 10 décembre 1786, AN, F14, 10226-10228, 1. Cherbourg n. 22.

42 Voir la note de De Cessart en marge, Louis-Alexandre de Cessart, «Reflexion générale sur les digues et sur les cônes de la Rade de Cherbourg», 10 décembre 1786, présentée le 16 février 1787, EPetCh, Ms 995.

43 «Recherches sur l'histoire naturelle de la Pouzzolane faites par M. Fragnier de Marsenet et envoyées à Cherbourg le 20 Mai 1787, et sur le ciment qu'on en fait, lequel a la propriété de se durcir et d'être indestructible dans l'eau», EPetCh, Ms 161.

44 «Expérience sur différens mortiers et maçonnerie de pouzzolane. Rade de Cherbourg, 1787», EPetCh, Ms 161.

45 *Ibidem*.

46 *Ibidem*.

47 *Ibidem*.

48 *Ibidem*.

49 Louis-Alexandre de Cessart, «Procés verbal de la visite des cônes et des digues en construction dans la Rade de Cherbourg», 11 juin 1787, EPetCh, Ms 992.

50 Louis-Alexandre de Cessart, «Rade de Cherbourg, 1787. Résumé historique des ouvrages faits depuis le 1^{er} Avril 1783 jusqu'au 30 septembre 1787 et de ceux à faire en 1788», 30 septembre 1787, AN, Marine, 3JJ/133.

51 Louis-Alexandre de Cessart, «Projet pour la perfection de la Rade de Cherbourg prise dans l'état en étoit au 1 octobre 1790», 20 novembre 1790, AN, Marine, 3JJ/135.

- 52 Louis-Alexandre de Cessart, «Rade de Cherbourg, 1787. Résumé historique des ouvrages faits depuis le 1^{er} Avril 1783 jusqu'au 30 septembre 1787 et de ceux à faire en 1788», 30 septembre 1787, AN, Marine 3JJ/133.
- 53 Gayant, Pitrou, Ferregeau, lettre d'accompagnement du rapport, «Mémoire en réponse aux demandes de M.r de la Milliere relativement aux travaux de Cherbourg», 24 décembre 1787, AN, Marine, 3JJ/134.
- 54 *Ibidem*.
- 55 «Note des Batimens françois et étrangers qui ont fait commerce a Civitavecchia pendant le mois de janvier 1788», in «Correspondance Consulaire, Civitavecchia», AN, AE, B.1.375.
- 56 Jean-Baptiste-François Vidau, le 17 mars 1788, in «Correspondance Consulaire, Civitavecchia», AN, AE, B.1.375.
- 57 «Réponse A l'Auteur des Observations sur la construction des Cônes de Cherbourg, insérées dans le Journal de Physique du mois d'Octobre 1788», in *Journal de Physique, de Chimie, d'Histoire Naturelles et des Arts*, vol. XXXIV, Part. I, février 1789, pp. 133-137, p. 133.
- 58 «Observations sur la construction des cônes de Cherbourg», in *Observations sur la Physique, sur l'Histoire Naturelle et sur les Arts. Journal de Physique*, vol. XXXIII, octobre 1788, pp. 246-248.
- 59 *Ibidem*, pp. 247-248.
- 60 «Réponse A l'Auteur des Observations...», op. cit., p. 137.
- 61 «Observations...», op. cit., p. 246.
- 62 François Barrière Saint-Albin Berville, *La vie et les mémoires du général Dumouriez*, Paris, Baudouin Frères, 1822, vol. I, p. 376.