

JOURNAL  
DE  
MATHÉMATIQUES

PURES ET APPLIQUÉES

FONDÉ EN 1836 ET PUBLIÉ JUSQU'EN 1874

PAR JOSEPH LIOUVILLE

---

DE TESSAN

**Rapport verbal fait à l'Académie des Sciences sur un ouvrage imprimé de  
M. Cialdi intitulé: Sul moto ondosso del mare e su le correnti di esso, etc**

*Journal de mathématiques pures et appliquées 2<sup>e</sup> série, tome 11 (1866), p. 266-272.*

[http://www.numdam.org/item?id=JMPA\\_1866\\_2\\_11\\_\\_266\\_0](http://www.numdam.org/item?id=JMPA_1866_2_11__266_0)

 gallica

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme  
Gallica de la Bibliothèque nationale de France  
<http://gallica.bnf.fr/>

et catalogué par Mathdoc  
dans le cadre du pôle associé BnF/Mathdoc  
<http://www.numdam.org/journals/JMPA>

---

*Rapport verbal fait à l'Académie des Sciences sur un ouvrage imprimé de M. CIALDI intitulé : Sul moto ondoso del mare e su le correnti di esso, etc. ;*

PAR M. DE TESSAN [\*].

---

Dans la séance du 30 avril dernier, M. le Président m'a chargé de rendre compte à l'Académie d'un ouvrage de M. le commandeur Alexandre Cialdi, de la Marine pontificale, et je viens aujourd'hui m'acquitter de ce devoir.

L'ouvrage de M. Cialdi, écrit en italien, porte pour titre : *Sul moto ondoso del mare e su le correnti di esso, specialmente su quelle littorali*; Sur le mouvement ondulatoire de la mer et sur ses courants, spécialement sur les courants littoraux.

Comme on le voit, le sujet de cette nouvelle publication est le même que celui des *Cenni sul moto ondoso del mare e su le correnti di esso* du même auteur, publiés en 1856, et présentés alors à l'Académie. Mais si le sujet est le même dans ces deux ouvrages, il est traité avec beaucoup plus de détail et de méthode dans celui dont j'ai à rendre compte à l'Académie.

On sait que les ingénieurs des travaux hydrauliques à la mer ont, en Italie, à lutter incessamment contre une difficulté sans cesse renaissante : l'invasion des ports par les vases et les sables, et la formation de bancs à l'embouchure des cours d'eau qu'ils obstruent, au double détriment de la navigation et de l'écoulement des eaux douces.

L'explication de ces atterrissements fâcheux a donné lieu, depuis longtemps, à deux théories bien distinctes : la première, la plus généralement adoptée en Italie avant les publications de M. Cialdi, les fait dépendre du courant littoral qui longe à petite distance toutes les côtes

---

[\*] C'est le Rapport cité plus haut par M. de Caligny.

de la Méditerranée de gauche à droite pour un observateur placé à terre et regardant la mer; les vagues, dans cette théorie, n'ayant d'autre effet que de mettre en suspension dans l'eau les matériaux qui constituent le fond de la mer près des côtes, et de les livrer ainsi à l'action du courant littoral qui, seul, les transporterait et les déposerait aux lieux où ils s'accumulent.

L'autre théorie, celle que soutient M. Cialdi, et dont il a mis la vérité en complète évidence dans son excellent ouvrage, fait dépendre ces atterrissements du transport vers le rivage et du dépôt, opérés par les vagues elles-mêmes, des matériaux qu'elles ont soulevés du fond de la mer, le courant littoral ne jouant qu'un rôle très-secondaire ou même insignifiant dans ce transport et ce dépôt.

Ces deux théories rivales, qui ont compté parmi leurs partisans les savants les plus distingués de l'Italie, ont donné lieu à de très-vives discussions, et M. Cialdi n'a pas été l'un des moins ardents dans ces débats scientifiques.

Le vif désir d'établir sur une base inébranlable, sur des faits positifs, le vérité de la théorie qu'il avait embrassée, a conduit cet infatigable chercheur à compulsé tous les ouvrages écrits, soit en italien, soit en français, soit en anglais, et traitant de l'action des vagues et des courants sur les côtes, et, par une suite toute naturelle, à consulter tous les ouvrages écrits en ces trois langues et contenant des vues sur la constitution intime des ondes liquides et des vagues de la mer au large et près des côtes. De plus, il a profité de plusieurs voyages qu'il a faits en Italie, en France et en Angleterre, pour se mettre en relation avec les savants et les ingénieurs qui s'occupent de ces difficiles questions, et pour recueillir leurs opinions.

C'est ainsi que, par vingt-cinq années de recherches assidues, M. Cialdi est parvenu à rassembler un nombre immense de faits et d'opinions dont l'ensemble, joint à ses propres observations faites dans le cours de ses longues navigations et de ses explorations sur les côtes, constitue le fond de son utile traité.

On se fera une juste idée de l'étendue de ces recherches quand on saura que plus de cinq cents auteurs, parmi lesquels on compte trente-cinq Membres de cette Académie, sont cités dans cet important travail.

L'exposition que fait M. Cialdi de tous les faits qu'il a rassemblés,

de toutes les opinions qu'il a recueillies et de toutes les observations qu'il a faites lui-même, est claire, nette, précise et parfaitement coordonnée pour arriver au but qu'il s'était proposé d'atteindre en l'écrivant. Et si la vivacité que l'on remarque dans quelques passages de son livre pouvait faire croire que l'auteur n'est pas encore parvenu à convaincre tous les partisans de la théorie rivale, le lecteur impartial restera cependant convaincu, après examen, que M. Cialdi a parfaitement établi, par des preuves de fait surabondantes, l'exactitude de la théorie qui attribue à l'action des vagues une très-grande prépondérance sur celle du courant littoral dans les atterrissements et les érosions des côtes.

L'auteur, après avoir bien établi ce point capital, s'est demandé s'il ne serait pas possible à l'art de diriger le travail des vagues de manière à leur faire produire des érosions là même où naturellement elles produisent des atterrissements fâcheux : par exemple, à l'entrée des canaux endigués qui conduisent de la mer dans les ports, aux points mêmes où tendent à se former les baucs ou barres si nuisibles à la navigation et à l'écoulement des eaux douces, et à transformer ainsi, suivant la remarquable expression de Scott Russel, *les vagues, ces dangereux ennemis, en robustes esclaves*.

M. Cialdi pense avoir trouvé un expédient, relativement facile, pour opérer ce changement si désirable. Cet expédient est très-rationnel ; mais, lorsqu'il s'agit de lutter contre des forces aussi puissantes et aussi peu connues dans leur mode d'action que celles qui sont mises en jeu par la mer sur les côtes, l'expérience seule peut prononcer d'une manière définitive sur la valeur réelle des moyens employés pour les combattre. Elle ne l'a pas fait encore, mais elle ne tardera pas sans doute beaucoup à le faire ; car cet expédient, approuvé par le Gouvernement pontifical et par les magistrats de Pesaro, est aujourd'hui en voie d'exécution à l'embouchure de l'Izauro, sur la côte nord-est des Marches d'Ancône.

Il serait impossible, sans entrer dans de trop longs détails et sans l'emploi de figures, de donner une idée nette et précise de l'expédient imaginé par M. Cialdi : c'est dans son ouvrage même qu'il faut la chercher. Qu'il nous suffise de dire qu'après avoir dévié par une courbe régulière l'axe du canal endigué, de manière qu'à l'embouchure de ce

canal l'axe soit perpendiculaire à la bissectrice de l'angle que font entre elles les directions des vents dominants et des vents régnants, c'est-à-dire des vents les plus violents et des vents les plus fréquents, M. Cialdi propose de construire deux appendices de quelques centaines de mètres chacun, disposés de manière à recueillir les vagues formées sous l'influence de ces vents, et à les diriger transversalement vers l'embouchure du canal, de telle sorte que leur action se concentre sur le point même où la barre tend à se former, et qu'elles la balayent incessamment.

M. Cialdi propose d'appliquer son système au port Saïd, sur la rade de Péluze, où l'expérience pourrait être faite sur une grande échelle, sans augmentation sensible de la dépense prévue pour la construction des digues projetées et sans dommage pour le port, si, contrairement aux prévisions de l'auteur, l'expédient ne réussissait pas. Mais il est à croire qu'avant d'entreprendre cette expérience en grand, on voudra connaître le résultat de l'expérience en petit faite à Pesaro. Car on peut craindre que les vagues, en s'épanouissant à la sortie de l'entonnoir qui les dirige, ne laissent déposer les matériaux les plus pesants qu'elles entraîneront, à l'entrée même du canal, à l'abri de la digue du vent, où, il est vrai, leur draguage serait plus facile. On peut craindre, en outre, que les bâtiments qui tenteront l'entrée par les vents régnants ne soient trop exposés à la manquer, étant pris de flanc et portés sous le vent par les vagues rendues plus puissantes par leur concentration.

Si l'expérience se prononce en faveur de l'expédient de M. Cialdi; si, comme il le pense, le mal n'est pas seulement déplacé, mais supprimé, ce savant aura rendu un immense service à la navigation et au commerce; car ce ne sont pas seulement les ports et les cours d'eau des côtes de la Méditerranée qui sont sujets aux atterrissements et aux obstructions, mais ceux des côtes de la Manche et de l'Océan, et ceux des côtes du monde entier sont dans le même cas, et jusqu'à présent l'art n'a réussi qu'à déplacer l'obstacle par des travaux incessants sans parvenir à le faire disparaître.

L'ouvrage de M. Cialdi forme un volume grand in-8° de plus de 700 pages; il est divisé en 5 chapitres, 56 articles et plus de 1600 paragraphes numérotés; et le tout est suivi d'un long appendice et de 5 planches.

Dans le premier chapitre, l'auteur expose brièvement, ou plutôt passe rapidement en revue les divers travaux théoriques sur le mouvement des ondes faits dans les divers pays de l'Europe et même de l'Amérique, et fait remonter à Léonard de Vinci, son compatriote, les premières idées justes sur ce sujet difficile et encore trop peu connu. C'est un abrégé trop succinct de l'état actuel de la science relativement à la théorie du mouvement ondulatoire de l'eau.

Dans le deuxième chapitre, M. Cialdi expose ses propres vues sur le mouvement intime des particules d'eau dans les vagues, ou plutôt constate que l'on manque d'expériences suffisantes pour s'en faire une idée juste, conclut à ce qu'il faut se borner pour le moment à recueillir des faits, et passe à l'exposition de ceux qui sont relatifs à l'action du vent sur la mer et à cette même action sur les côtes dans quelques cas extraordinaires.

Dans le troisième chapitre, l'auteur mentionne tout ce qu'il a pu recueillir dans ses nombreuses lectures relativement à la hauteur, à la longueur et à la vitesse de propagation des vagues de la mer. Il constate la pénurie des observations précises sur ce triple sujet, et engage vivement les navigateurs à combler cette lacune. Il s'étend ensuite longuement sur les observations qui peuvent faire connaître jusqu'à quelle profondeur les vagues exercent sur le fond de la mer une action assez sensible pour mettre en mouvement les matériaux meubles qui composent ce fond.

On remarquera certainement à la fin de ce chapitre l'exposition des expériences très-soignées faites en commun par l'auteur et le P. Secchi sur la transparence de l'eau de mer, au large de Civita-Vecchia, et la savante discussion à laquelle le P. Secchi les a soumises. Les physiciens et les géomètres auront toutefois à juger jusqu'à quel point il est permis d'admettre, avec ces deux savants, que la profondeur à laquelle cesse d'être visible un disque de 2<sup>m</sup>,37 de diamètre seulement, et qui n'occupe, lors de sa disparition, que la 2800<sup>e</sup> partie du champ de la vision, est la même que la profondeur à laquelle cesserait d'être perceptible, même par une simple altération de la couleur de l'eau, un disque occupant le champ tout entier de la vision, un champ 2800 fois plus grand : comme c'est le cas pour l'immense banc des Aiguilles au cap de Bonne-Espérance. Ils auront aussi à juger jusqu'à quel point on

peut admettre que, même par beau temps et belle mer (car le changement de couleur de l'eau, sur le banc des Aiguilles, est visible en tout temps), les vagues peuvent encore exercer, à 200 mètres de profondeur, une action assez grande pour soulever le sable jusqu'à plus de 150 mètres de hauteur, et cela dans un lieu où l'eau se renouvelle constamment avec une vitesse de près de 2 mètres par seconde, vitesse supérieure à celle de la Seine, à Paris, dans ses débordements.

Enfin, ceux qui voudraient admettre que, sur ce banc, par beau temps et belle mer, le sable est soulevé et porté à la surface, non par les vagues, mais par le courant lui-même, opinion dans laquelle ils pourraient être confirmés par l'abaissement considérable (4 degrés centigrades) que la température de la mer éprouve en passant du large sur le banc, ceux-là, dis-je, auront à expliquer comment ce banc, constamment balayé par un tel courant, n'a pas disparu depuis longtemps, ou bien à rechercher par quelle cause il se renouvelle sans cesse à la même place en conservant constamment la même hauteur.

Dans le quatrième chapitre, M. Cialdi a groupé tous les faits relatifs au transport horizontal qui accompagne le mouvement de propagation des vagues, soit au large, soit près des côtes. Il admet au large, lorsque le vent est très-fort, un mouvement de transport très-notable, même au point de vue de la navigation, de l'eau à la surface de la mer et jusqu'à une certaine profondeur. Mais il l'y croit insensible, du moins pour la navigation, lorsque le vent est modéré ou nul et qu'il n'y a que de la houle; tandis que, près des côtes basses, il regarde le mouvement de transport comme toujours très-notable, qu'il y ait ou qu'il n'y ait pas de vent.

L'auteur fait ressortir la nécessité de tenir compte, lors des vents très-forts, de cette dérive temporaire de la surface de la mer au large, dans la recherche des courants pélagiques permanents. Il montre le danger que le transport causé par les vagues près des côtes basses fait courir aux navires, insiste pour qu'on le prenne en sérieuse considération dans la navigation, et demande la construction de tables qui permettraient de l'apprécier.

Dans le cinquième et dernier chapitre, M. Cialdi arrive à l'objet le plus spécial de son livre : à l'influence que le transport produit par les vagues exerce sur les atterrissements, et à la grande prépondérance de

cette action sur celle des courants littoraux. L'auteur établit cette vérité sur des preuves extrêmement nombreuses, développe la théorie de l'expédient qu'il a imaginé pour éviter la formation des barres à l'entrée des canaux endigués qui conduisent de la mer dans les ports, et s'étend particulièrement sur l'application qui s'en fait à Pesaro et sur celle qu'il propose d'en faire à Port-Saïd.

L'appendice contient des Notes ou Mémoires de divers savants. On y trouve entre autres plusieurs Notes de M. de Caligny, souvent cité avec éloge dans le corps de l'ouvrage pour ses divers travaux relatifs au mouvement des ondes liquides.

Le tout est précédé d'un Rapport très-approbatif fait à l'Académie *dei Nuovi Lincei*, par le P. Secchi, au nom d'une Commission composée de quatre membres illustres de cette Académie : MM. Cavalieri, Volpicelli, Ponzi et Secchi rapporteur.

L'immense quantité de faits et d'opinions que contient cet ouvrage, l'ordre et la clarté avec lesquels ils y sont exposés, le fera lire avec beaucoup d'intérêt, non-seulement par les ingénieurs et les marins, mais encore par les physiciens et les géologues, et même par les géomètres qui voudraient entreprendre le travail si désirable d'appliquer le calcul à un phénomène aussi peu connu dans sa constitution intime que celui des vagues de la mer.

Quoiqu'on puisse différer d'opinion avec l'auteur sur l'explication de quelques faits particuliers peu nombreux et sur la portée pratique de quelques déductions, on ne peut qu'accorder une approbation complète à l'ensemble de son travail et désirer vivement de voir traduire en notre langue un ouvrage de cette valeur, qui, au mérite d'une vaste érudition et de l'utilité pratique, objet spécial de ce *Traité*, joint le double avantage de faire réfléchir avec fruit et d'exciter à l'observation de faits d'une importance réelle.

