



Bulletin de la Sabix

Société des amis de la Bibliothèque et de l'Histoire de l'École polytechnique

64 | 2019

Polytechniciens en Algérie au XIX^e siècle

Auguste Bravais : des mathématiques polytechniciennes pour cartographier les côtes algériennes, 1832-1838

Bernard Bru



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/sabix/2556>

DOI : 10.4000/sabix.2556

ISSN : 2114-2130

Éditeur

Société des amis de la bibliothèque et de l'histoire de l'École polytechnique (SABIX)

Édition imprimée

Date de publication : 1 décembre 2019

Pagination : 45-62

ISSN : 0989-30-59

Référence électronique

Bernard Bru, « Auguste Bravais : des mathématiques polytechniciennes pour cartographier les côtes algériennes, 1832-1838 », *Bulletin de la Sabix* [En ligne], 64 | 2019, mis en ligne le 01 février 2020, consulté le 08 septembre 2020. URL : <http://journals.openedition.org/sabix/2556> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/sabix.2556>

© SABIX

Auguste Bravais :

des mathématiques polytechniciennes pour cartographier les côtes algériennes, 1832-1838¹

*Bernard Bru**

Introduction

Le 7 mai 1832, le Loiret quitte le port de Toulon pour Alger. C'est une gabare de 262 tonneaux grée en brick^A. Elle est commandée par le lieutenant de vaisseau Auguste Bérard (1796-1852), chargé de l'exploration et du levé des côtes algériennes depuis un an déjà. Il est assisté d'Urbain Dortet de Tesson (X 1822, 1804-1879), un ingénieur hydrographe qui appartient à la grande école de Charles François Beautemps-Beaupré (1766-1854), le père, en France, de l'hydrographie moderne. Il a à son bord un nouvel élève de première classe, Auguste Bravais (X 1829, 1811-1863), sorti dans la Marine, le personnage principal de notre contribution^B. Bravais va donc participer aux deux dernières campagnes de levé des côtes algériennes, sous la direction de Tesson, suivant les méthodes de Beautemps-Beaupré, celles qui sont utilisées dans le levé des côtes de France depuis 1819 et jusqu'en 1838.²

Le levé des côtes algériennes en 1831-1833 présente cette difficulté supplémentaire qu'il

est impossible de travailler durablement à terre, sauf à proximité immédiate des grands ports, Alger, Oran, Bône, de sorte que les points fixes, les amers, dont les coordonnées sont assurées et vérifiées, sur lesquels s'appuient les tracés des cartes, sont très éloignés les uns des autres, ce qui complique singulièrement les choses.^C Les levés sous voiles des côtes algériennes, hors de portée des fusils, sont ainsi soumis à des erreurs répétées dont l'accumulation risque de dénaturer tout à fait les tracés, si elles ne sont pas corrigées convenablement par des observations directes ou des artifices qui en tiennent lieu. Dortet de Tesson et, très vite, Bravais vont s'intéresser à ces questions encore peu traitées dans la littérature hydrographique.³

Nous nous proposons d'examiner ici les contributions de Bravais à ce problème : comment décrire avec le plus de précision possible les côtes algériennes sans jamais ou presque y aborder vraiment ?

* Université Paris 5

1. Ndlr : dans cet article comme dans le reste du bulletin, les références entre crochets correspondent à la bibliographie donnée en fin d'article ; les références entre double crochets correspondent aux sources sitographiques donnée en fin d'article.

A. Cette note, comme toutes celles appelées par des lettres capitales, figure en fin d'article.

2. [Chapuis, 1999 & 2004].

3. [Bérard, 1837].

La rédaction du mémoire de 1838 sur les erreurs de situation d'un point

Bravais est une tête mathématique de première force, aussi s'est-il demandé de quelle façon les mathématiques pouvaient contribuer à l'amélioration des cartes, en tentant de maîtriser analytiquement les différentes sources d'erreurs, celles dues aux circonstances particulières de l'Algérie de 1832 que nous avons évoquées, mais aussi celles plus intemporelles dues aux mouvements imprévus du navire, à l'imprécision des instruments et des visées, et bien sûr à ce fait bien connu que la terre est ronde et les cartes plates, et qu'il y a lieu d'en tenir compte sur les mille kilomètres des côtes algériennes, d'est en ouest.^D

Il est difficile de dater ces travaux.

On peut penser que Bravais a commencé d'y réfléchir dès son premier séjour sur le Loiret au printemps 1832, en discutant avec son camarade de Tesson ou le commandant Bérard. Peut-être à la demande de ces derniers les a-t-il poursuivis lors de son séjour en France en 1834-1835. Bravais, en effet, est resté à terre de mars 1834 à juin 1835, d'abord à Toulon puis en congé à Annonay. Il participe aux travaux préliminaires à la publication de la *Description des côtes d'Algérie*⁴, mais l'essentiel de son travail scientifique paraît avoir été l'exploration géologique du Vivarais et surtout l'étude des symétries des feuilles des arbres et arbustes de son pays natal avec son frère Louis⁵.^E

Bravais a certainement poursuivi ses travaux hydrographiques algériens en 1835-1836. Il est enseigne de vaisseau depuis février 1834 et sert comme officier en second sur le Loiret, qui fait la correspondance entre les ports algériens de juin 1835 à septembre 1836. Il reste, en particulier, plus de six mois en station

dans la baie d'Arzew, occupé par les Français depuis l'été 1833, en même temps que Mostaganem. Un fort y est installé, commandé par Joseph Reverony (1791-1865), un ancien capitaine de dragons de la Grande Armée, qui trouve là l'occasion de reprendre une carrière militaire interrompue net à Waterloo le 18 juin 1815. La région d'Arzew est peu sûre depuis le désastre de la Macta, le 28 juin 1835. La garnison du fort sort peu, l'équipage du Loiret encore moins, qui se morfond dans l'espace confiné de la gabare. Bravais explore cependant le peu d'espace sécurisé disponible. Il y découvre notamment des espèces rares de chauve-souris et de lézards et relève les inscriptions latines du vieil Arzew. La plage est si peu sûre qu'au milieu du mois d'août 1836, le commandant et quatre hommes du Loiret sont faits prisonniers au cours d'une partie de chasse à la perdrix improvisée lors d'une mission de récupération de boulets après un exercice de tir. Bravais, témoin de la scène, prend la tête d'une troupe de matelots et, par une charge audacieuse, réussit à délivrer le commandant Jules de Chabert (1803-1878), mais pas l'enseigne de vaisseau Auguste de France-Mandoul (1813-1886) qui sera retenu en otage par Abd el-Kader et finalement échangé au bout de cinq mois de captivité^F. Cela prouve au moins que Bravais ne manquait pas de courage physique et qu'il ne pouvait guère explorer la région à sa convenance. On peut donc penser qu'il a mis à profit ce très long temps stationnaire à Arzew, au premier semestre 1836, pour réfléchir aux erreurs de situation d'un point de la côte, et commencer à rédiger le mémoire correspondant, mais rien ne permet d'en dire davantage.

On peut avancer finalement que Bravais a terminé la rédaction de son mémoire en France lors de son long congé (avec solde) de septembre 1836 à octobre 1837. Congé pendant lequel il a corrigé les épreuves de la *Descrip-*

4. [Bérard, 1837].

5. [Bravais, 1836/1837].

tion des côtes de l'Algérie⁶.⁶ Bravais est à Paris au début de l'année 1837, il y rencontre vraisemblablement Poisson, qui cherche à le placer à l'Université, et le député Gabriel Prunelle (1777-1853), notable et ancien maire de Lyon, qui le persuadent tous deux de soutenir une thèse de mathématiques pour venir occuper une chaire vacante à la Faculté des sciences de Lyon ouverte depuis peu. Sans doute lui assurent-ils que c'est une position qui lui laissera tout le temps nécessaire à ses recherches et ses explorations. Bravais paraît alors avoir été tenté par une carrière universitaire qui lui éviterait de rester six mois stationné sur une gabare de la Marine sans pouvoir en descendre. Il a donc décidé de soutenir une thèse universitaire. Au préalable, il lui a fallu passer les examens du baccalauréat ès lettres et ès sciences et la licence de mathématiques, qu'il réussit à Paris respectivement les 9 mai, 31 mai et 12 juillet 1837, et ensuite rédiger ses deux thèses d'astronomie et de mécanique qu'il soutient à Lyon le 5 octobre 1837, un record de rapidité, fréquent à l'époque, Poisson se chargeant de régler les difficultés éventuelles.^h

De sorte que pendant son long congé parisien, Bravais a été tellement occupé de tâches diverses qu'on voit mal qu'il ait pu avoir le temps de rédiger complètement un ensemble de mémoires très techniques et absolument originaux, souvent longs de plus de 80 pages, comme le *Mémoire* dont nous allons parler. Il a bien fallu que ceux-ci aient été rédigés en grande partie déjà, disons entre 1834 et 1836, pour être publiés progressivement de 1836 à 1846. On sait en tout cas assurément qu'il a abandonné tout à fait ses travaux algériens en 1838 après avoir été nommé à la Commission scientifique du Nord chargée de préparer l'exploration du Spitzberg et de la Laponie.

On peut donc conclure sans grand risque de se tromper que « l'Analyse mathématique sur les probabilités des erreurs de situation d'un point »⁷, a été rédigée entre 1832 et 1838, en partie sur le Loiret, en vue des côtes algériennes, et que sa motivation principale, le contrôle des erreurs des cartes des côtes algériennes, est algérienne pour l'essentiel. Sans évoquer l'influence du climat dont certains pensent qu'il joue un rôle déterminant dans toute création véritable. On pourrait même avancer que l'essentiel du mémoire était prêt à l'été 1837, et que si Bravais ne l'a pas joint à sa thèse d'astronomie soutenue en octobre, c'est qu'il l'a jugé beaucoup trop long (les thèses de mathématiques de la première moitié du XIX^e siècle dépassent rarement 20 ou 30 pages) et qu'il fallait le publier séparément.

Comme on l'a dit, c'est Siméon-Denis Poisson (X 1798, 1781-1840), le maître de l'Université, qui a poussé Bravais à soutenir une thèse de mathématiques dont le mémoire sur les erreurs de situation d'un point est issu. Mais, Bravais n'était pas disposé pour autant à abandonner sa vocation véritable de naturaliste. Pour lui, depuis toujours, « Linné passe avant Pythagore »⁸, et son intérêt pour les mathématiques vient seulement de ce qu'elles peuvent fournir les « explications » des phénomènes naturels et compléter ainsi leurs « observations », qui les précèdent à tous égards⁹.¹

Quoi qu'il en soit, on sait de source sûre que le mémoire de Bravais a été déposé sur le bureau de l'Académie le 26 mars 1838 et qu'il a fait l'objet d'un rapport favorable d'une commission formée de Poisson et Félix Savary (X 1815, 1797-1841), rapporteur. Auparavant, le mémoire avait été présenté le 17 février 1838 à la Société philomatique de Paris, probablement déjà devant Poisson et

6. [Bérard, 1837].

7. [Bravais, 1838-1846].

8. [Reynaud, 1991].

9. [Bravais, 1854b].

Savary, membres de cette Société. C'est de ce mémoire dont nous devons dire un mot maintenant.

La probabilité des erreurs de situation d'un point des côtes algériennes

Comme le précise Bravais, le mémoire dont il s'agit est « en grande partie le résultat de l'étude que j'avais faite antérieurement des erreurs de position des points d'un levé sous voiles. »¹⁰. C'est de là qu'il faut partir. Pour simplifier, suivons Bravais¹¹, qui résume son travail à l'intention des philomates parisiens. Tout commence en 1832. Bravais participe aux relèvements des côtes algériennes, à bord du *Loiret*. Cela consiste à mesurer depuis le bateau l'angle formé entre la direction d'un point remarquable de la côte, un amer supposé connu, et une direction fixe, mettons le nord magnétique, et de recommencer autant de fois qu'il le faut avec d'autres amers et d'autres situations du bateau. Ces angles sont soumis à de multiples causes d'erreurs plus ou moins systématiques que Bravais recense et analyse dans sa thèse, et finalement à des erreurs liées à « l'incertitude » inévitable attachée à ce genre de mesure. Cette question « fort délicate se rattache à celle de la possibilité des erreurs, branche importante du calcul des probabilités » et se heurte « à l'ignorance où l'on est presque toujours au sujet de la loi de probabilité des erreurs... Mais l'on sait par les travaux de Laplace que, dans le cas où l'élément est déterminé par un grand nombre d'observations, la probabilité d'une erreur assignée est proportionnelle à une exponentielle, dont l'élément négatif

procède suivant le carré de l'erreur multiplié par un coefficient constant, ou module.¹² »

Autrement dit : la probabilité qu'une erreur inévitable dans un relèvement soit comprise entre t et $t+dt$ est égale à $He^{-ht^2} dt$, dans lequel h est le « module » de l'erreur et H une constante telle que l'intégrale de toutes ces probabilités soit égale à 1.

Laplace a montré en 1773 que, pour qu'il en soit ainsi, il faut que $H = \sqrt{\frac{h}{\pi}}$, et, dès lors, avec les notations actuelles, $h = \frac{1}{2\sigma^2}$, dans lequel $\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} t^2 H e^{-ht^2} dt$ est la moyenne du carré de l'erreur, ce qu'on appelle actuellement la variance et que Bravais nomme la *crainte mathématique du carré de l'erreur* qui fournit une mesure de la précision de l'observation, au même titre que la moyenne absolue des erreurs, que Bravais considère également¹³, mais pas nous.

D'après Bravais, donc, dans le cas des relèvements effectués à l'aide du cercle répéteur de Lenoir qui se trouve à bord du *Loiret*¹⁴, on est bien dans le cadre laplacien, puisque l'on fait une succession de mesures du même angle et que le résultat final est à fort peu près une moyenne de termes indépendants de même précision. C'est l'hypothèse que fait Laplace dans ses travaux géodésiques tardifs¹⁵, l'hypothèse dite maintenant gaussienne, que Bravais va adopter dans tout son mémoire.

Il semble que le premier problème que se soit posé Bravais à bord du *Loiret*¹⁶ soit « la détermination de la position d'un point O par

10. [Bravais, 1854b], 20.

11. [Bravais, 1838], 103.

12. [Bravais, 1838], 103.

13. [Bravais, 1838-1846], 259.

14. [Bérard, 1837], 11.

15. [Laplace, 1818].

16. [Bravais, 1838-1846], 293.

deux relèvements pris de deux points fixes M, M' supposés parfaitement connus, les relèvements étant, au contraire, susceptibles d'erreurs qui doivent réagir sur la position du point ». Ce problème, le plus simple possible, contient déjà toute la théorie de Bravais et c'est sans doute de lui qu'il est parti et que nous devons partir, à sa suite.

Pour comprendre ce dont il s'agit, il faut se reporter à la figure ci-après.

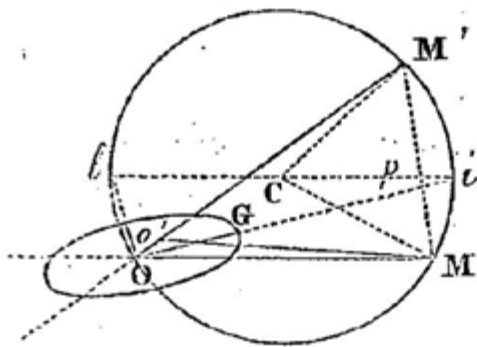


Figure de la page 293
de [Bravais, 1838-1846].

Le navire est en O , dont on ignore les coordonnées véritables, et que l'on suppose fixe. On trace les droites MO et $M'O$ que l'on prend comme « axes obliques » de coordonnées x et y du plan. Ces axes ne sont pas connus, pas plus que le point O , mais ils existent indubitablement. On note θ et θ' les relèvements de O pris des deux points fixes. Ces angles mesurés au cercle répétiteur diffèrent des relèvements vrais qui mesureraient dans l'absolu les angles que font avec le nord les droites MO et $M'O$. Les erreurs commises sont notées (toujours par Bravais) $\delta\theta$ et $\delta\theta'$. D'après le théorème de Laplace, ce sont des variables gaussiennes indépendantes de modules respectifs h et h' . Les modules dépendent de la précision de l'instrument de visée et peuvent être estimés par la méthode de Laplace (remplacer la variance par la variance empirique). On les

suppose connus. Si l'on s'est servi du même instrument, $h = h'$, les erreurs ont même loi normale centrée de module h (ou de variance $1/2h$). Ce qu'on suppose dorénavant.

On pose encore que l'angle $MOM' = \varphi$, et que $OM = r$, $OM' = r'$, valeurs déterminées (mais inconnues). On appelle enfin Mo' , la droite qui fait avec MO l'angle $\delta\theta$, c'est-à-dire la visée réelle du point M . Il faudrait encore tracer la droite $M'o''$ qui fait avec $M'O$ l'angle $\delta\theta'$, mais Bravais ne le fait pas pour ne pas surcharger sa figure. Les deux droites Mo' et $M'o''$ se coupent mettons en Ω , qui est le point calculé à partir des deux relèvements et qui s'écarte du point vrai O d'une erreur $O\Omega$, dont les coordonnées, sur les axes obliques MO et $M'O$, sont Oo' et Oo'' . Par la loi des sinus, on voit que

$$O\Omega = \left(\frac{r' \delta\theta'}{\sin \varphi}, \frac{r \delta\theta}{\sin \varphi} \right)$$

à fort peu près. Le vecteur d'erreur $O\Omega$ possède ainsi des coordonnées gaussiennes indépendantes sur les deux axes MO et $M'O$. La probabilité que la position observée Ω tombe dans un petit parallélogramme de côtés parallèles aux axes et de longueurs dx et dy est proportionnelle à

$$\exp \left\{ - \left(\frac{x^2}{r'^2} + \frac{y^2}{r^2} \right) h \sin^2 \varphi \right\}$$

et se trouve ainsi être constante sur les ellipses

$$r^2 x^2 + r'^2 y^2 = Cste$$

C'est sans doute l'une des toutes premières fois que l'on voit apparaître une ellipse gaussienne dans la littérature probabiliste¹⁷. Ce sont les ellipses d'égale probabilité des dispersions des erreurs de relèvements du *Loiret*. Elles sont algériennes.

On peut dès lors résoudre le problème suivant : quelle est la position du *Loiret* la plus avantageuse si l'on veut minimiser les erreurs

17. [Bravais, 1838-1846], 294.

inévitables des relèvements pris de deux points fixes. Il suffit pour cela que la « cloche » dont ces ellipses sont des tranches soit la plus pentue possible, ou que la crainte mathématique du carré des erreurs soit minimale, c'est-à-dire que la somme des variances des deux coordonnées soit la plus petite possible ou encore que

$$\frac{r^2 + r'^2}{h \sin^2 \varphi}$$

soit un minimum, un problème d'extremum lié que Bravais résout: le minimum absolu a lieu pour $r = r'$ et $\operatorname{tg} \varphi / 2 = \sqrt{2}$, c'est-à-dire $\varphi = 109, 47$ degrés.

Bravais propose ensuite une construction des axes principaux de son ellipse qu'on voit apparaître sur la même figure. Ce sont les droites Oi et Of . Nous n'y insistons pas¹.

Ce que Bravais vient de faire pour la détermination de la position d'un point à partir de deux relèvements peut se faire évidemment dans d'autres cas, par exemple dans la méthode des arcs capables où l'on a affaire à trois relèvements (donc trois variables gaussiennes indépendantes au lieu de deux) et où les points fixes et le navire ne sont pas dans le même plan, etc. On est ainsi amené à étudier la loi de probabilité d'un vecteur de dimension quelconque dont les coordonnées sont données (en notations actuelles que Bravais ignore) par le système

$$x_i = \sum_{j=1}^m k_{i,j} \varepsilon_j, \text{ pour } i = 1, 2, \dots, n$$

dans lequel les paramètres k sont des constantes données et les variables ε_j sont gaussiennes indépendantes, centrées, de modules donnés, égaux ou non, pour j compris entre 1 et m .

Ce modèle a déjà été considéré par Gauss et Laplace, vingt ans avant Bravais, dans le cas n

$= 1$ ou 2 , mais Bravais l'ignore sans doute. En tout cas, il semble avoir vu immédiatement qu'en réalité il s'agit d'une théorie générale. Les résultats du cas le plus simple $n = m = 1$ se transposent au cas d'une dimension n quelconque, à l'aide de la théorie des formes quadratiques qui remplacent le carré dans l'exponentielle, et des déterminants qui interviennent dans les constantes d'intégration H . Plus précisément, la loi de probabilité du vecteur d'erreurs (x_j) a pour densité une expression de la forme

$$H \exp \left\{ -Q(x_1, \dots, x_n) \right\}$$

dans lequel Q est un polynôme homogène positif de degré deux en les n variables x_j et H est une constante telle que l'intégrale prise sur l'espace tout entier soit égale à un.

La constante H est l'analogue de celle de la dimension un :

$$\sqrt{\frac{h}{\pi}} = \sqrt{\frac{1}{2\pi\sigma^2}}.$$

Il suffit d'élever 2π à la puissance n et de remplacer h par le déterminant de ce qui ne s'appelle pas encore la matrice symétrique de Q ou par l'inverse du déterminant de ce qui ne s'appelle pas encore la matrice de covariance, l'analogue matriciel de la variance, qui se trouve être l'inverse de la matrice définissant Q , comme $2\sigma^2$ est l'inverse de h , en dimension 1, sans que Bravais puisse l'écrire véritablement, le concept de matrice inverse n'ayant pas été dégagé de la gangue algébrique où il se trouve enserré dans la théorie des systèmes d'équations linéaires d'Étienne Bézout (1730-1783), qu'on enseigne à l'École polytechnique.

Bravais peut alors développer un calcul gaussien d'une grande généralité par des changements d'axes rectangulaires ou obliques, ou bien rechercher les axes principaux des ellipsoïdes $Q = \text{Cste}$ et montrer que dans ce

système les coordonnées du vecteur (x_i) sont indépendantes. Tout ce qu'un étudiant actuel sait ou devrait savoir, mais rédigé à la manière géométrique et analytique des années 1830, revue ou créée par Bravais le cas échéant, par exemple la méthode générale de calcul de lois en dimension quelconque, enseignée actuellement sous le nom de méthode des fonctions muettes (si muettes, chez Bravais, qu'elles en sont invisibles), ou bien la formule de changement de variables dans les intégrales multiples en dimension quelconque qui n'existe en 1830 que dans des cas particuliers du plan ou de l'espace (sans d'ailleurs être vraiment nommée ni identifiée) et que Bravais écrit en toute généralité à l'aide du déterminant fonctionnel¹⁸ qu'on appelle maintenant le jacobien d'après Jacobi¹⁹.

Bravais ne fait les calculs complets qu'en dimensions 2 et 3, mais comme il l'écrit²⁰: « la loi de formation (des formules) se continuerait même dans le cas d'un nombre quelconque de variables. Je l'ai vérifié pour le cas de quatre variables. » Ce qui est déjà une performance à l'époque, en l'absence de concepts et de notations convenables.

Conclusion

La théorie de Bravais sera retrouvée et complétée à de nombreuses reprises à la fin du XIX^e siècle et au début du XX^e siècle. Elle est dorénavant enseignée dans toutes les universités du monde depuis les années 1950, à Alger comme à Paris ou à Shanghai^K. Pour sa part, Bravais ne paraît pas avoir poursuivi sur ce thème après 1838, en tout cas cela n'apparaît pas dans la liste de ses publications²¹,

si ce n'est incidemment dans sa correspondance²². Il doit partir pour le Spitzberg et ses cristaux de glace, qui lui rappelleront les symétries des implantations des feuilles des arbres du Vivarais²³, et il n'a plus guère de temps à consacrer à l'analyse des probabilités. D'autant qu'il s'est rendu compte que le modèle gaussien s'appliquait mal aux erreurs de situation d'un navire balloté par les vagues et qu'il était inutile de poursuivre dans cette voie. C'est la conclusion de la présentation de son mémoire qu'il fait devant la Société philomatique, le 17 février 1838: « Cette méthode serait applicable à la recherche des lieux auxquels les stations du navire doivent être faites pendant un levé sous voiles, si la loi de possibilité des erreurs angulaires procédait alors suivant une exponentielle du carré de l'erreur, ce qui malheureusement n'est guère conforme avec l'appréciation des diverses sources de ces erreurs. »²⁴

Il reste que le mémoire de Bravais sans doute rédigé en partie sur le *Loiret*, et dans la baie d'Arzew est très étonnant et fait honneur à son auteur sans doute, mais aussi à l'Algérie qui l'a motivé.

Pour clore notre présentation, revenons à Dortet de Tessan, le maître d'œuvre des levés sous voiles des côtes algériennes. C'est lui qui prononça l'éloge funèbre de son camarade au nom de l'Académie des sciences, le 1^{er} avril 1863^L. Citons le rapidement: « Comment parler de ses savantes recherches relatives à l'hydrographie et à la navigation, son fructueux voyage au Nord et dans les régions glacées du Spitzberg et de Norvège; de ses périlleuses ascensions sur les sommets du Faulhorn et du Mont Blanc; de ses beaux mémoires sur les marées, sur les anciens

18. [Bravais, 1838-1846], 266, etc.

19. [Jacobi, 1841].

20. [Bravais, 1838-1846], 301.

21. [Bravais, 1854b].

22. [Bravais, 1845].

23. [Boucard, Eckes, 2015].

24. [Bravais, 1838], 104.

niveaux de la Mer du Nord, sur le magnétisme terrestre, sur les aurores boréales et sur les crépuscules; de ses profondes études sur les théories des halos et de l'arc-en-ciel blanc; de ses études sur l'astronomie stellaire; de ses expériences sur le pendule à oscillations coniques; de ses leçons de physique à l'École polytechnique; de son grand et ardu travail sur la cristallographie, etc. etc.... »

Et, après avoir donné en exemple le dévouement de son épouse qui l'a soigné jour et nuit pendant sept ans, il conclut :

« Messieurs, ce dévouement héroïque est le plus bel éloge qu'on puisse faire, et de l'épouse qui en a donné l'exemple, et du mari qui avait su la mériter par l'amabilité de son caractère, par la bonté de son cœur et par la tendresse de son affection.

« Adieu Bravais ! Adieu, martyr de la science ! Adieu ou plutôt au revoir ! Puisque, un peu plus tôt ou un peu plus tard, nous ne pouvons tarder à aller te rejoindre. »²⁵

25. [Tessan, 1863].

Bibliographie

- Beaumont, Léonce Élie de**, (1865). *Académie des sciences. Éloge historique d'Auguste Bravais*, Paris, Firmin-Didot.
- Bégat, Pierre**, (1839). *Traité de géodésie à l'usage des marins ou méthodes et formules trigonométriques relatives au levé et à la construction des cartes hydrographiques*, Paris, Imprimerie Royale.
- Bérard, Auguste**, (1837). *Description nautique des côtes de l'Algérie*, suivie de notes par M. de Tesson, ingénieur hydrographe, Paris, Imprimerie Royale, 1837, 2e édition, *ibid.* 1839, 3e édition, Paris, Paul Dupont.
- Berti, Hubert et Boudriot, Jean**, (1981). *Le « Cygne » : brick de 24, de l'ingénieur Pestel, 1806-1808*, Paris, ANCRE.
- Bertrand, Joseph**, (1855). *Méthode des moindres carrés. Mémoires sur la combinaison des observations de Gauss*, traduction française, Paris, Mallet-Bachelier, reprint Paris, J. Gabay, 2009.
- , (1888). *Calcul des probabilités*, Paris, Gauthier-Villars, 1889, deuxième édition *ibid.* 1907, reprint Paris, J. Gabay, 1997, 2007.
- Bienaymé, Irénée Jules**, (1852). « Sur la probabilité des erreurs d'après la méthode des moindres carrés », *Journal de mathématiques pures et appliquées*, (1) 17, 33-78.
- Blais, Hélène**, (2014). *Mirages de la carte. L'invention de l'Algérie coloniale*, Paris, Fayard.
- Boucard, Jenny et Eckes, Christophe**, (2015). « Les sources scientifiques de Jules Bourgoïn : cristaux, polygones, polyèdres », in M. Bideault, E. Thibault, M. Volait (sous la direction de) *De l'Orient à la mathématique de l'ornement. Jules Bourgoïn (1838-1908)*, Paris, A. et J. Picard, 299-318.
- Bravais, Auguste**, (1836/1837). « Mémoires de MM. Louis et Auguste Bravais intitulé: Essai géométrique sur la symétrie des feuilles... » présentés en 1836, rapport lu le 24 avril 1837, *Comptes Rendus de l'Académie des sciences de Paris*, 4 (1837), 611-621, publiés dans *Annales des sciences naturelles*, (2) 7 (1837), 42-110, 193-221, 291-348, 8 (1837) 11-42, 12 (1839), 5-51, 65-77, aussi *Congrès scientifique de France*, 6e session, sept. 1838, 2-9, 278-330 et deux planches.
- , (1837a). « Mémoires sur les lignes formées sur un plan par les points dont les coordonnées sont des nombres entiers », présentés le 3 juillet 1837, *Comptes Rendus de l'Académie des sciences de Paris*, 5 (1837), 27. Rapport lu le 18 décembre 1837, *ibid.* 867-868.
- , (1837b). *Sur les méthodes employées dans les levés sous voiles*, thèse d'astronomie soutenue devant la Faculté des sciences de Lyon, le 5 octobre 1837, Lyon, Imprimerie Vve Ayné.

- , (1837/1840). *Sur l'équilibre des corps flottants*, thèse de mécanique soutenue devant la Faculté des sciences de Lyon, le 5 octobre 1837, Paris, Arthus Bertrand, 1840.
- , (1838). « Construction des cartes marines », extrait des procès verbaux de la Société philomatique de Paris, séance du 17 février 1838, *L'Institut*, section 1, VI, n° 225, 103-104.
- , (1838/1846). « Analyse mathématique sur les probabilités des erreurs de situation d'un point », *Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des sciences de l'Institut de France*, 9 (1846), 255-332, mémoire présenté le 26 mars 1838, rapport lu le 9 juillet 1838, *Comptes Rendus de l'Académie des sciences de Paris*, 7 (1838), 77-78.
- , (1845). « Trois lettres de M. Bravais sur les erreurs accidentelles », in Quetelet, Adolphe, *Lettres sur la théorie des probabilités appliquée aux sciences morales et politiques*, Bruxelles, Hayez, 1846, 412-424.
- , (1849). *Sur la manière de représenter les variations diurnes ou annuelles des éléments météorologiques par des séries trigonométriques*, [Gaimard, 1843-1855], tome 2, ch. 5, et Paris, Firmin Didot.
- , (1854a). « Recherches des erreurs de position des points d'un levé sous voiles », *Comptes Rendus de l'Académie des sciences de Paris*, 38, 495-496.
- , (1854b). *Notices des travaux scientifiques de M. A. Bravais*, lieutenant de vaisseau, professeur de Physique à l'École impériale polytechnique, Paris, Mallet-Bachelier.
- , (1866). *Études cristallographiques*, Paris, Gauthier-Villars.
- Brezinski, Claude**, (2005). « Géodésie, topographie et cartographie », *Bulletin de la Société des amis de la bibliothèque de l'X*, 39, 32-66.
- Campaignac, Antoine**, (sous la direction de) (1840). *Atlas du Génie maritime*, Toulon, Génie maritime, 1840.
- Chapuis, Olivier**, (1999). *À la mer comme au ciel. Beautemps-Beaupré & la naissance de l'hydrographie moderne (1700-1850)*, Paris, Presses Universitaires Paris-Sorbonne.
- , (2004). « L'École polytechnique et les hydrographes de la Marine », *Bulletin de la Société des amis de la bibliothèque de l'X*, 35, 32-36.
- Cramér, Harald**, (1946). *Mathematical Methods of Statistics*, Princeton, Princeton University Press, 1946, 2016.
- Crépel, Pierre**, (1989). « De Condorcet à Arago : l'enseignement des probabilités en France de 1786 à 1830 », *Bulletin de la Société des amis de la bibliothèque de l'X*, 4 (1989), 29-55.
- , (1994). « Calcul des probabilités : de l'arithmétique sociale à l'art militaire », in B. Belhoste, A. Dahan, A. Picon (sous la direction de), *La formation polytechnicienne (1794-1994)*, Paris, Dunod, 197-215.

Didion, Isidore, (1858). *Calcul des probabilités appliqué au tir des projectiles*, Paris, Dumaine.

Dürr, Michel, (2017). « Auguste Bravais », *Dictionnaire historique des académiciens de Lyon 1700-2016*, Lyon, Académie des sciences, belles-lettres et arts.

École polytechnique, (1895-1897). *Livre du centenaire, 1794-1894*, 3 vol., Paris, Gauthier-Villars.

France, A. de (Ernest Alby), (1837). *Les prisonniers d'Abd-el-Kader,...*, Paris, Desessart.

Gaimard, Paul, (sous la direction de), (1843-1855). *Voyages de la commission scientifique du Nord, en Scandinavie, en Laponie, au Spitzberg et aux Feroë pendant les années 1838, 1839 et 1840 sur la corvette La Recherche, commandée par M. Fabvre...*, 17 vol. in 8° et 5 vol. gr. in-fol., Paris, A. Bertrand.

Gauss, Carl Friedrich, (1809). *Theoria Motus Corporum coelestium in sectionibus conicis solem ambientium*, Hamburg, Friedrich Perthes, I. H. Besser, 1809, Œuvres 7, 3-280, traduction française des n° 175 à 190 par J. Bertrand, 1855, 113-134.

—, (1811). « Disquisitio de elementis ellipticis Palladis... », (25 nov. 1810), *Commentationes Societatis regiae scientiarum Gottingensis* 1 (1811), Œuvres 6, p. 3-24, traduction française partielle, J. Bertrand, 1855, 134-141.

—, (1823). « Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf eine Aufgabe der praktischen Geometrie », *Astronomische Nachrichten* 1 (1823), 81-86, Œuvres 9, 231-237, traduction française par J. Bertrand, 1855, 153-159.

Guyou, Émile, (1887). *Théorie du navire*, Paris, Berger-Levrault.

Hald, Anders, (1998). *A History of Mathematical Statistics From 1750 to 1930*, New York, Wiley.

Helmert, Friedrich, (1872). *Die Ausgleichungsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate*, Leipzig, Teubner, 1907

d'Hollander, Raymond, (2005). *Loxodromie et projection de Mercator*, Paris, Institut océanographique.

Jacobi, Carl Gustav Jacob, (1841). « De determinantibus functionalibus », *Journal für die reine und angewandte Mathematik*, 22 (1841), 319-352, Œuvres 3, 393-438.

Jordan, Camille, (1867). « Sur les groupes de mouvements », *Comptes Rendus de l'Académie des sciences de Paris*, 65, 229-232, Œuvres 4, 113-115, 231-302.

Jouffret, Esprit, (1875). *Sur la probabilité du tir des bouches à feu et la méthode des moindres carrés*, Paris, Tanera.

Kosmann-Schwarzbach, Yvette, (sous la direction de), (2013). *Siméon-Denis Poisson. Les mathématiques au service de la science*, Palaiseau, École polytechnique.

- Lacroix, Alfred**, (1940). « Auguste Bravais », *Notice historique sur les membres et correspondants de l'Académie des sciences ayant travaillé dans l'Afrique du Nord française depuis le XVIII^e siècle, les botanistes*, Paris, Gauthier-Villars, 21-24.
- Lagrange, Joseph-Louis de**, (1776). « Mémoire sur l'utilité de la méthode de prendre le milieu entre les résultats de plusieurs observations, dans lequel on examine les avantages de cette méthode par le calcul des probabilités, et où l'on résout différents problèmes relatifs à cette matière », *Miscellanea Taurinensia*, pour 1770-1773, 5, 167-232, Œuvres 2, 173-234.
- Laplace, Pierre Simon de**, (1776). « Recherches sur le calcul intégral et sur le système du monde », *Mémoires de l'Académie royale des sciences de Paris*, pour 1772, 2^e partie (1776), 267-376, Œuvres 8, 369-477.
- , (1812). *Théorie analytique des probabilités*, Paris, Vve Courcier, 1812, avec une introduction et des additions, 1814, avec trois suppléments ajoutés par l'auteur, 1820, avec un quatrième supplément ajouté par l'auteur, 1825, Œuvres 7.
- , (1818). « Application du calcul des probabilités aux opérations géodésiques », *Deuxième supplément de la Théorie analytique des probabilités*, Œuvres 7, 531-580, et *Troisième supplément de la Théorie analytique des probabilités* n° 1, 2, 3, Œuvres 7, 581-594.
- Lefébure de Fourcy, Eugène**, (1866). *Vade-mecum des herborisations parisiennes...*, Paris, Delahaye, 1866, 1881...
- Lefébure de Fourcy, Louis**, (1827). *Leçons de géométrie analytique...*, Paris, Bachelier, 1827, 1834, 1840, 1859, 1863.
- Martins, Charles**, (1866). *Du Spitzberg au Sahara. Étapes d'un naturaliste*, Paris, J.-B. Baillière et fils.
- Michaud, Joseph-François et Poujoulat, Jean-Joseph-François**, (1833). *Correspondance d'Orient, 1830-1831*, tome I, Paris, Ducollet.
- Plackett, Robert Lewis**, (1983). « Karl Pearson and the Chi-squared Test », *International Statistical Review*, 51, 59-72.
- Poisson, Siméon-Denis**, (1837). *Recherches sur la probabilité des jugements en matière criminelle et en matière civile, précédées des règles générales du calcul des probabilités*, Paris, Bachelier, reprint Paris, J. Gabay, 2003.
- Reynaud, Marie-Hélène**, (1991). *Auguste Bravais: de la Laponie au Mont-Blanc*, Annonay, Éditions du Vivarais.
- Roche, Jean-Michel**, (2005). *Dictionnaire des bâtiments de la Flotte de guerre française de 1671 à nos jours*, tome I, Millau, Rezotel-Maury.

Rozet, Antoine, (1832). *Relation de la Guerre d'Afrique pendant les années 1830 et 1831*, 2 vol., Paris, Firmin-Didot.

Savary, Félix et Poisson, Siméon-Denis, (1838). « Rapport sur un mémoire de M. Bravais », séance du 9 juillet 1838, *Comptes Rendus de l'Académie des sciences de Paris*, 7 (1838), p. 77-78, et *L'Institut* 1^{re} section, VI n° 237, p. 223.

Schiavon, Martina, (2014). *Itinéraires de la précision. Géodésiens, artilleurs, savants et fabricants d'instruments de précision en France, 1870-1930*, Nancy, Presses Universitaires.

Schols, Charles Mathieu, (1875). Théorie des erreurs dans le plan et dans l'espace, (en hollandais) *Verhandelingen Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen*, Amsterdam 15 (1875), (en français) *Annales de l'École Polytechnique de Delft*, 2 (1886), 123-178.

Soulu, Frédéric, (2016). Développement de l'astronomie française en Algérie (1830-1938). Astronomie de province ou astronomie coloniale ? Thèse de doctorat, Université de Nantes.

Stigler, Stephen Mack, (2016). *The Seven Pillars of Statistical Wisdom*, Cambridge, Harvard University Press.

Tessan, Urbain Dortet de, (1863). *Académie des sciences. Discours de M. de Tessan... prononcé aux funérailles de M. Bravais*, Paris, F. Didot frères.

Vincendon-Dumoulin, Adrien, (1843). *Voyage au pôle sud et dans l'Océanie sur les corvettes l'Astrolabe et la Zélée, sous le commandement de J. Dumont d'Urville. Hydrographie tome 1*, Paris, Gide.

Sources sitographiques

Aïssani, Djamil, Romera-Lebret, Pauline et Verdier, Norbert, (2016). *Itinéraires de savants géomètres en Algérie au XIX^e SIÈCLE*, <http://images.math.cnrs.fr/Itineraires-de-savants-geometres-en-Algerie-au-XIXe-siecle.html>

Bibliothèque centrale de l'École polytechnique, <https://bibli-aleph.polytechnique.fr/>

Brasseur, Roland, <https://sites.google.com/site/rolandbrasseur/>

Notes de fin

A. Les gabares sont utilisées dans la marine de guerre française comme bateau de charge ou de service [Roche, 2005], tome I, 357. Le Loiret, construit et mis à l'eau à la Seyne-sur-Mer en 1808, sous le nom de Portefaix, a été réarmé en brick de guerre à Toulon en 1823 et rebaptisé le Loiret. Il est intégré à la division de Rigny, à Smyrne, et sert lors de l'expédition de Morée en 1827-1828, puis en Algérie dès 1830, où il a notamment assuré la correspondance entre les ports méditerranéens [Michaud et al., 1833]. Il a été spécialement choisi en 1831 par Bérard en vue des campagnes d'exploration des côtes algériennes dont il est chargé, pour la maniabilité que lui assure son gréement en brick et la stabilité de ses formes arrondies de gabare. Les rôles d'équipage du Loiret, qui comportent des éléments fort intéressants sur la vie à bord, sont conservés aux Archives SHD de Toulon [IC 1781 et sqq & 2E/6/1755 et sqq]. Le Loiret a été désarmé à Toulon en 1836, après son retour d'Arzew. Ces renseignements nous ont été communiqués par Patrice Triboux, conservateur du patrimoine, chef de la division Sud-Est-Toulon, que nous remercions très vivement. Il ne semble pas exister de reproduction ou de maquette du Loiret, ou d'une gabare de taille comparable. Éric Rieth, du Musée de la Marine à Paris, nous a indiqué la monographie [Berti & Boudriot, 1981], où l'on trouve les plans et de nombreuses reproductions du brick le Cygne lancé en 1806, qui peut donner une idée de la taille et du gréement du Loiret. On se reportera également aux plans des voiliers de même type, dans [Campagnac, 1840] (X 1811, 1792-1866), où l'on peut se faire une idée des aménagements des cabines des officiers situées à l'arrière des navires, comme nous l'a indiqué Éric Rieth que nous remercions très vivement.

Rappelons incidemment que Poisson (X 1798), est natif de Pithiviers, département du Loiret, et qu'il a publié un exposé fondamental de la Théorie analytique des probabilités de Laplace, que complètent d'une certaine façon les travaux de Bravais, [Poisson, 1837]. C'est très certainement Poisson qui a examiné le jeune Bravais en 1830 pour son passage en première division de l'École polytechnique et l'a classé premier. Ce qui est bien jugé. Bravais est assurément le meilleur mathématicien de la promotion 1829 et l'un des tout premiers de sa génération, si l'on excepte Évariste Galois, savant hors normes et hors concours, né comme Bravais en 1811, et mort en 1832. On sait d'ailleurs que Bravais, comme Galois, mais de façon très différente, est un précurseur de la théorie des groupes, qui a influencé notamment Camille Jordan (X 1855, 1838-1922), le créateur de la théorie des groupes en France, et Henri Poincaré (X 1873, 1854-1912), ce qui n'est pas peu dire, e. g. [Jordan, 1867].

Sur la liste d'admission aux services publics établie le 2 novembre 1831, Bravais est classé 11e, un classement qui peut surprendre. Bravais, en effet, semble être resté en tête de sa promotion pendant toute l'année scolaire 1830-1831, comme l'attestent ses notes aux interrogations particulières que nous a communiquées Olivier Azzola, archiviste de l'École polytechnique, que nous remercions très vivement, des notes qui en mathématiques et en physique dépassent 18 sur 20 tout au long de l'année, avec moins de réussite en chimie (ce qui put ne pas plaire à Chevreul, membre du jury). Comme Olivier Azzola nous l'a indiqué, on ne dispose pas des notes des examens de sortie de l'X avant 1850. On ne peut donc aller bien loin dans les conjectures, ce qui n'empêche pas d'en formuler quelques-unes, dénuées de tout fondement vérifiable.

Poisson, membre du jury de sortie, a signé la liste dont il s'agit. Il a donc cautionné ce classement inattendu. Pourtant on sait qu'il a cherché à plusieurs reprises à attirer Bravais vers les mathématiques et qu'il savait sa valeur. C'est lui notamment qui l'a poussé à soutenir une thèse en 1837. Mais, en 1831, la position dominante qu'avait prise Poisson dans l'Université de la Restauration est devenue suspecte. On cherche à se débarrasser de lui. Placer Bravais, un candidat dont la piété tendre est connue et dont un des frères est un prêtre membre de la congrégation de Saint Basile d'Annonay, en tête du classement de sortie de l'École polytechnique scruté par tout ce qui compte en France, pouvait donner des arguments à ses nombreux adversaires qui se recommandaient de l'héroïsme polytechnicien des Trois Glorieuses. Il valait mieux plonger Bravais dans les profondeurs (relatives) du classement, d'autant qu'on savait qu'il brigait la Marine et non les Mines ou les Ponts, quitte à le récupérer ensuite quand le vent soufflerait dans un autre sens. Poisson donnait ainsi des gages aux libéraux et, en plaçant en tête de classement Eugène Lefébure de Fourcy (X 1829, 1812-1889), il récompensait du même coup son père Louis (X 1803, 1787-1869), camarade de promotion de Claude-Louis Mathieu (X 1803, 1783-1875), un homme du « mouvement », membre du jury de sortie et beau-frère de François Arago (X 1803, 1786-1853). Louis Lefébure, on le sait, examinateur d'entrée à l'X, dévoué corps et âme aux mathématiques spéciales et à l'École polytechnique, avait soumis son fils Eugène, dès son plus jeune âge, à un entraînement impitoyable en vue du concours 1829. Voir son fils Eugène major de sortie allait au-delà de ses rêves. Mais tout cela n'est que conjectures et l'on peut imaginer dix autres scénarios, le plus simple étant que Bravais pensait à autre chose à la fin de l'été 1831, sans parler des journées de Juillet 1830 qui ont perturbé par ricochet les concours de sortie 1830 et 1831, etc. Sur les difficultés (momentanées) de Poisson en 1830-1831, on verra [Kosmann-Schwarzbach, 2013]. Tous les renseignements sur les cours de l'École polytechnique et beaucoup d'autres choses nous ont été fournis par Pierre Crépel que nous remercions chaleureusement.

Sur les 113 élèves de la promotion 1829, on verra le site très bien fait de la Bibliothèque centrale de l'École polytechnique, [[bibli-aleph.polytechnique.fr]].

B. Nous ne rappelons pas ici la biographie d'Auguste Bravais. Pour de plus amples éléments biographiques, on se reportera par exemple à [Beaumont, 1865] (X 1817, 1798-1874), [Lacroix, 1940], [Reynaud, 1991], [Dürr, 2017] (X 1953). De toute évidence, Bravais a choisi la Marine à la sortie de l'École polytechnique afin de pouvoir faire le tour du monde et poursuivre sur une plus grande échelle les explorations botaniques, zoologiques, géologiques, météorologiques, etc. qu'il effectuait depuis son enfance lors de randonnées ardéchoises avec son père François, médecin, botaniste éminent, et ses frères Louis et Camille, eux-mêmes savants naturalistes. Bravais est un savant unique par sa formation et la diversité de ses intérêts. À la fois observateur et expérimentateur très talentueux, c'est aussi un mathématicien créatif de premier rang, qui met au service de l'histoire naturelle au sens le plus large possible toutes les ressources des mathématiques anciennes et nouvelles, notamment celles des écoles de Laplace et de Monge.

Bravais est sorti de l'École polytechnique au début du mois de novembre 1831. Il est en congé jusqu'au 13 janvier 1832, date à laquelle il embarque sur le Finistère, une gabare de 300 tonneaux, qui fait la correspondance avec Alger. Bravais a donc vu Alger et les côtes algériennes avant d'embarquer sur le Loiret, à Toulon, le 17 avril 1832.

En moyenne, les gabares accomplissaient en six jours la traversée dans le sens Toulon-Alger et en 8 jours dans le sens inverse. Cette différence de temps vient de ce que les vents dominants en Méditerranée viennent du nord, nord-ouest, de

sorte que les traversées aller se font vent arrière dans le meilleur des cas, à moins que le mauvais temps ne force à gagner le port le plus proche, [Bérard, 1837], ch. 5.

Les grands vaisseaux mettaient moins de cinq jours sur le même trajet et les premiers bateaux à vapeur moins de trois. Bravais a servi sur plusieurs de ces bateaux, pour de courtes périodes. Aux abords des côtes algériennes, pendant la période hivernale, les vents peuvent devenir très violents, notamment les vents d'Ouest et du Nord, parfois comparables aux ouragans des Antilles. Tous les ports algériens naturels, ouverts vers le nord, n'offrent aucune protection aux navires qui s'y abritent. En particulier le coup de vent du 11 février 1835 coula 18 navires dans le port d'Alger. On décida de renforcer et de prolonger la jetée ottomane qui datait de Khayr ad-Din Barberousse (1466-1546) et devait être refaite chaque année. Les travaux d'agrandissement et de mise en sécurité du port d'Alger se sont poursuivis pendant près d'un siècle sous la responsabilité du Corps des Ponts et chaussées. C'est notamment à Alger que fut mis au point dès 1837 le système imaginé par Victor Poirel (X 1822, 1804-1881), qui utilise de façon ingénieuse des blocs de béton coulés sur place. Ce système a également servi pour l'agrandissement du port de Marseille et des principaux ports algériens, [[Aïssani et al., 2016]].

C. Une partie des « points fondamentaux » a été fixée par Charles Marie Filhon (X 1808, 1790-1857), chef de la Section topographique d'Alger, qui a communiqué à Auguste Bérard les positions de tous les lieux remarquables parcourus par les troupes d'occupation à proximité des côtes et sur les hauteurs. Ces points ont servi de base aux levés du *Loiret* qui a fait également de son côté des relevés très précis de certains points, notamment les phares de Mers el-Kébir et d'Alger.

Sur les débuts de la section topographique, on verra la *Relation de la Guerre d'Afrique pendant les années 1830 et 1831*, [Rozet, 1832]. Antoine Rozet est un ingénieur géographe (X 1818, 1798-1858) qui a débarqué à Sidi-Ferruch avec les troupes françaises et cartographié aussitôt les positions occupées par l'Armée. On peut y lire sans doute le sentiment général des polytechniciens, le plus souvent officiers du Génie ou de l'Artillerie, qui ont débarqué en Algérie, le 14 juin 1830. Pour Rozet et la plupart de ses camarades, les choses sont simples. Il s'agit d'une entreprise de salubrité publique attendue depuis longtemps par tous les peuples civilisés, qui devrait permettre de mettre un terme à la présence ottomane en Méditerranée occidentale, de sécuriser les ports algériens pour le grand commerce, de stopper définitivement la piraterie barbaresque et de libérer ses captifs. D'autres, peu nombreux, ont des objectifs plus larges, notamment apporter aux populations indigènes les bienfaits de la science et de la technique et concourir à l'union de l'Orient et de l'Occident, selon la doctrine de Prosper Enfantin (X 1813, 1796-1864). C'est en tout cas le rêve des polytechniciens saint-simoniens, comme Auguste Marceau (X 1824, 1806-1851), neveu du général révolutionnaire, sorti dans la Marine, affecté à la correspondance avec Alger sur la gabare le *Robuste*, ou encore Paul Bigot de Morogues (X 1823, 1805-1831) ou Léon Juchault de La Moricière (X 1824, 1806-1865), tous deux créateurs et capitaines des zouaves, pour la paix et l'amour de l'humanité, et de l'Algérie. Le premier, Paul Bigot, fut abandonné par ses soldats et tué lors de la première révolte de Bône. C'était le fils de Marie Bigot (1786-1820), une musicienne romantique célèbre qui résida à Vienne de 1805 à 1809, où le petit Paul a passé sa première enfance. Marie fut l'amie et l'interprète de Haydn, Salieri et Beethoven. Elle donna des leçons de musique à son fils, mais aussi à Schubert enfant et aux jeunes Mendelssohn. La Moricière, comme ses camarades arabisants, Franciade Fleurus Duvivier (X 1812, 1794-1848) et Stanislas Marey (X 1814, 1796-1863), tenta de s'opposer à la politique de soumission ou d'écrasement de Bugeaud, sans grand succès. Stanislas Marey-Monge, un petit-fils de Monge, qui fut créateur et colonel des spahis, fit traduire les poésies d'Abd el-Kader et ses règlements militaires [Alger, Paris, Hachette, 1848], sans doute pillés lors de la prise de la Smalah de l'Émir et de sa bibliothèque, en 1843. Mais cette histoire faite de sang et de souffrance nous dépasse très largement. Notre propos est ailleurs, et Bravais a des buts tout autres : étudier de la meilleure façon possible la géographie, le climat, la faune et la flore d'Afrique du Nord, encore largement méconnus de la science occidentale.

Pour en finir avec la brigade topographique d'Alger, signalons que, les 21 et 22 juillet 1830, au moyen de deux chaînes de 20 mètres, elle procéda à la mesure de la première base de la triangulation de l'Algérie, entre l'embouchure de l'Harrach et un rocher isolé au-dessous du café de la Hamma. La triangulation de l'Algérie s'est poursuivie au fur et à mesure de l'avancée des troupes françaises et longtemps après. Elle a conduit à la grande carte de l'Algérie de 1873, puis au rattachement de la Méridienne de Paris et de la Méridienne d'Alger jusqu'à Laghouat, aux portes du désert, œuvre de François Perrier (X 1853, 1833-1888) et Léon Bassot (X 1861, 1841-1917). Sur cette histoire, on verra notamment [Blais, 2014], [Schiavon, 2014] et plus récemment l'importante thèse [Soulu, 2016], qui traite notamment des débuts de la brigade topographique d'Alger à partir de documents d'archives inédits.

D. Ce problème remonte très loin dans le temps, e.g. [d'Hollander, 2005] (X 1938, 1918-2013), [Brezinski, 2005]. Il a donné lieu à l'une des contributions originales de la thèse d'astronomie [Bravais, 1837b, 1854a], le contrôle de la précision de la formule de correction azimutale de Pierre Givry (1785-1867), par une étude au second ordre, qui sera exposée dans les traités de géodésie maritime des ingénieurs hydrographes du XIX^e siècle, [Bégat, 1839] (X 1818, 1800-1882), [Vincendon-Dumoulin, 1843] (X 1831, 1811-1858),... Mais Bravais dans sa thèse discute également de la précision de la méthode des arcs capables de Beautemps-Beaupré dans certaines configurations limites (par exemple lorsque les angles mesurés sont très aigus, etc.), [Bravais, 1854a].

E. Cet ensemble de mémoires fondamentaux de phyllotaxie le sont aussi pour l'histoire de la théorie des groupes et de la cristallographie. Bravais s'intéresse aux groupes de transformations des réseaux du plan et leurs applications [Bravais, 1837a]. On verra la 6^e session du Congrès scientifique de France de 1836, où la cristallographie est explicitement mentionnée comme une application possible [Bravais, 1836/1837], 9. L'auteur de la communication, Louis Bravais (1801-1843), est le frère aîné d'Auguste (qui est en mer en 1836). Il est médecin à Annonay. Sa thèse de 1827 sur l'épilepsie bravaisienne est encore citée. C'est aussi un savant naturaliste aux intérêts multiples.

Auguste Bravais reprendra la question des assemblages de points en 1848 et l'appliquera effectivement à la cristallographie en 1849 dans un mémoire célèbre. On verra [Boucard, Eckes, 2015] et [Bravais, 1866], qui rassemble les mémoires du savant sur ce thème. Les frères Bravais ont été aussitôt élus, dès 1835, correspondants de la Société philomatique de Paris, l'antichambre de l'Académie. Auguste Bravais a été élu membre de cette Société en 1845 et membre de l'Académie des sciences en 1854.

F. Sur cet épisode, on verra, aux Archives de la marine de Vincennes, le dossier [Bravais, CC7 324], qui contient le témoignage de Jules Rolland de Chabert, et aux Archives de Toulon [IC 1963, 2E/6/1931] le témoignage de Bravais. On peut voir aussi [A. de France, 1837], qui fait l'éloge de la culture et de l'humanité d'Abd el-Kader (1808-1883). Toutefois cet ouvrage paraît avoir été écrit par Ernest Alby (1809-1868), un écrivain saint-simonien de talent dont la fiabilité n'est pas assurée. Le témoignage de [A. de France, 1837] (revu par Alby) est quelque peu relativisé par celui d'Édouard de Mirandol (X 1836, 1817-1870) qui fut lui aussi prisonnier de l'Émir en 1841, [École polytechnique, 1895-1897], II, 290, 306. Ce qui n'enlève rien à la personnalité très riche d'Abd el-Kader qui fut un remarquable homme de guerre et de paix, un poète, un savant et un théologien mystique d'une grande élévation.

Le rapport sur l'affaire d'Arzew du commandant du Loiret conclut, parlant de Bravais : « Cet officier a fait preuve du plus grand sang-froid pour faire face aux bédouins et les repousser. Sorti de l'X, il est d'une profonde instruction en plusieurs branches de l'histoire naturelle, et il rendrait de très grands services dans une campagne scientifique autour du monde, c'est l'objet de ses vœux », Archives de la Marine [Bravais, CC7 324].

G. On verra la lettre de Bérard du 4 janvier 1837, dans le dossier Bravais de la Marine, à Vincennes (supra note 11). Ce travail sur commande permet à Bravais de continuer à percevoir son traitement complet pendant son long séjour à terre à Toulon, Paris et Lyon, du 21 septembre 1836 au 23 octobre 1837, date à laquelle il embarque pour quelques jours sur l'avis à vapeur le *Cerbère*, puis, rappelé d'urgence à Paris, il rejoint la Commission scientifique du Nord en formation sous la direction de Paul Gaimard. Dans le même temps, Bravais rédige une partie au moins de sa thèse d'astronomie qui est parfois voisine du premier chapitre de [Bérard, 1837] et des notes techniques de Tesson reproduites à la fin du même volume. Tesson fait alors le tour du monde à bord de la frégate la *Vénus* commandée par Abel du Petit-Thouars (1793-1864), le rêve de Bravais. Finalement Bravais embarque au Havre sur la corvette la *Recherche*, le 16 juin 1838, avec le docteur Charles Martins (1806-1889) qui restera son ami jusqu'à ses derniers jours, et qui, lui, aura la chance d'explorer le Sahara, [Martins, 1866], un autre rêve de Bravais.

H. C'est effectivement ce qu'il est advenu, lorsqu'il fut professeur à Lyon de 1841 à 1845, après son retour de Laponie et avant d'être nommé professeur de physique à l'École polytechnique. Il se fit, en effet, remplacer, le plus souvent, pour rédiger les *Voyages de la Commission du Nord* [Gaimard, 1843-1855], ou bien faire avec Martins l'ascension scientifique du Mont-Blanc en 1844, mais aussi publier en 1843 un long mémoire sur le mouvement de translation du soleil, largement en avance sur son temps, comme toujours, et qui correspond mieux à l'intitulé de sa chaire lyonnaise : « Mathématiques appliquées à l'astronomie », [AN, F/17/20275/B].

Notons cependant que Bravais n'a pas ménagé sa peine pour obtenir le grade de docteur ès sciences nécessaire à son entrée dans l'Université. Nous avons déjà esquissé le programme de sa thèse d'astronomie intéressante à plus d'un titre, mais sa thèse de mécanique ne l'est pas moins, qui résout pour la première fois dans une généralité suffisante le problème très difficile de la stabilité de l'équilibre des corps flottants, un problème (du second ordre) ouvert depuis un siècle au moins que Bravais aborde par des méthodes à la fois géométriques et analytiques très originales qui ne seront retrouvées qu'un demi-siècle plus tard, [Guyou, 1887]. On ne sait pas quand Bravais a eu le temps de rédiger cette thèse qui ne sera publiée qu'en 1840, mais on peut imaginer qu'il l'a fait dans la première moitié de l'année 1837 entre deux examens universitaires et les cours d'astronomie d'Arago qu'il suit à l'Observatoire, sans compter qu'il présente, début juillet 1837, une première version de sa théorie des réseaux de points, [Bravais, 1837a].

Ce qui militerait en faveur de l'hypothèse que le mémoire sur les erreurs de situation d'un point était terminé ou au moins très avancé avant la fin de 1836 et qu'il a été rédigé à Arzew pour l'essentiel, mais rien ne permet de l'assurer.

I. Il est visible que Bravais n'a pas étudié la *Théorie analytique* de Laplace dans les années 1830. S'il l'avait fait, il y aurait vu sans doute une partie de son mémoire, celle relative à la dimension deux, [Laplace, 1812], II, 21, qu'il aurait citée nécessairement s'il l'avait connue. Le grand traité de Laplace, le Mont Blanc de l'analyse mathématique du temps, n'est pas enseigné à l'École polytechnique, où le cours de probabilité fait par Arago jusqu'en 1830 reste très élémentaire. En 1831, Savary succède à Arago dans cet enseignement, et pour la première fois il y est fait mention du théorème de Bernoulli, forme embryonnaire mais remarquable du grand théorème de Laplace. Il est vraisemblable que Savary ait parlé en classe du théorème de Laplace et de ses applications à la théorie des erreurs et à la méthode des moindres carrés, sans y insister, la théorie laplacienne étant impénétrable. On verra les textes très importants de [Crépel, 1989 & 1994]. On ne peut guère en dire davantage, sinon que, probablement, Bravais a rédigé son mémoire sans autres sources que les premiers éléments du calcul des probabilités enseignés par Savary, et bien sûr la formule de Laplace de calcul d'un déterminant suivant une ligne ou une colonne, que Bravais cite d'après le mémoire original [Laplace, 1776]. Suivant ce dernier, Bravais nomme résultantes les déterminants et adopte les notations laplaciennes qu'il a pu apprendre dans les cours de Cauchy ou un autre à l'École polytechnique, avant juillet 1830. Rappelons que c'est Savary qui a rédigé le rapport académique sur le mémoire de Bravais. Ce rapport est très élogieux et il est probable que Savary ait remarqué Bravais dans ses classes de l'École polytechnique, en 1830-1831.

En revanche, Bravais paraît avoir étudié de façon approfondie le théorème de Laplace, au début des années 1840, alors qu'il est professeur à Lyon (peut-être pour ses cours d'astronomie), et si on n'en trouve pas trace ici dans son mémoire algérien, on peut lire, dans sa correspondance avec Quetelet, [Bravais, 1845], un exposé lumineux de ce théorème, de sa force mathématique et de ses limites (et des abus qu'on en fait). On peut voir aussi [Bravais, 1849], 7 et sqq. On sait qu'Adolphe Quetelet (1796-1874), « le » statisticien du XIX^e siècle, avait une grande admiration pour le génie de Bravais qui fut son maître, l'un d'eux au moins.

J. Un étudiant actuel commencerait sans doute par choisir des axes rectangulaires, par exemple en prenant OM comme axe horizontal. Si on appelle x_1, y_1 ces nouvelles coordonnées, l'équation de l'ellipse devient : $r^2 \left(x_1 - \frac{y_1}{\lg \phi} \right)^2 + r^2 \frac{y_1^2}{\sin^2 \phi} = cste$.

Les axes principaux sont alors portés par les vecteurs propres de cette forme quadratique. Mais Bravais ne procède pas ainsi. Il établit d'abord une propriété intrinsèque du grand axe principal, à savoir que le module de la projection des erreurs est

le plus petit possible sur cet axe, ou bien que sa variance est la plus grande, [Bravais, 1838-1846], 280. On reconnaît sans doute le principe de base de l'analyse en composantes principales du xx^e siècle, ou de la régression orthogonale de Karl Pearson (1857-1936). Bravais montre que le grand axe coupe MM' en un point p qui divise le segment dans le rapport des carrés de r et de r' , d'où il tire sa construction.

Sur la figure, on observe que les droites OM , OM' sont des diamètres conjugués de l'ellipse de Bravais, comme le seront plus tard les droites de régression de Francis Galton (1822-1911) (en coordonnées rectangulaires ou en coordonnées obliques). Rappelons que les propriétés des diamètres conjugués d'une ellipse, en particulier le théorème d'Apollonius, qu'utilise Bravais dans son mémoire, sont au programme du concours d'entrée à l'École polytechnique en 1829 et pour très longtemps encore. On verra [Lefébure de Fourcy, 1827], un classique polytechnicien que Bravais a lu certainement comme tous ses camarades.

K. Les lois de Gauss à deux dimensions ont déjà été considérées par Gauss et Laplace en 1811, (sans ellipses), et, quelque temps après Bravais, par [Bienaymé, 1852] (X 1815, 1796-1878) qui, lui, fait usage des ellipses bravaisiennes. Ces dernières ont été de nouveau étudiées théoriquement, dans la seconde moitié du xix^e siècle, par les géodésiens et les artilleurs européens [Helmert, 1872], [Didion, 1858] (X 1817, 1798-1878), [Jouffret, 1875] (X 1856, 1837-1904), [Schols, 1875] (1849-1897), ...) et certains pédagogues [Bertrand, 1888], (X 1839, 1822-1900), mais c'est l'École statistique britannique de Karl Pearson qui en a montré la richesse étonnante dans ses travaux biométriques de la fin du xix^e siècle et après elle toute la statistique mathématique du xx^e siècle. Sur cette histoire, on verra par exemple [Plackett, 1983], [Hald, 1998], [Stigler, 2016], et, pour un exposé moderne de la théorie, [Cramér, 1946], qui utilise les notations matricielles et, comme [Laplace, 1812, 1818], les fonctions caractéristiques, toutes deux ignorées de Bravais.

On minimise parfois l'originalité de l'étude gaussienne de Bravais, parce que Laplace et Gauss ont étudié les lois normales à deux dimensions avant lui et surtout parce qu'il n'a donné des droites de régression de Galton qu'une définition géométrique, [Bravais, 1838-1846], 273, sans indiquer qu'elles décrivent aussi la moyenne d'une coordonnée connaissant l'autre. Or c'est ce qui fait la richesse statistique de cette notion, comme l'ont montré brillamment Galton et Pearson. Certes, Bravais ne considère pas le conditionnement d'une des variables par les autres. Sans doute n'en a-t-il pas eu besoin et n'y a pas pensé. Mais il sait parfaitement que les coordonnées de ses points sont dépendantes dans des systèmes d'axes généraux, il parle à ce sujet de *corrélation*, et peuvent être indépendantes dans d'autres systèmes, les axes principaux par exemple [Bravais, 1838-1846], 279, et il comprend aussi bien que possible la logique de l'ensemble qu'il développe bien au-delà de ce qu'ont fait Gauss, Laplace ou Lagrange, [1776], qui lui aussi a considéré des lois normales de dimension quelconque comme limites de lois multinomiales, etc. On sait d'ailleurs, et Bravais ne le sait visiblement pas, et Galton non plus, que Laplace dans son mémoire géodésique de 1818 introduit déjà explicitement les droites de Galton comme moyennes conditionnelles, ce qui ne diminue en rien l'apport de Galton dans ces questions et pas davantage celui de Bravais, dont nous avons tenté de montrer la richesse et l'originalité.

Quoi qu'il en soit, on peut au minimum reconnaître que : « *Bravais's paper is valuable by giving the first systematic treatment of the mathematical properties of the two- and three-dimensional normal distributions. These properties are implicit in the writings of Laplace and Gauss, but they did not bother to give a systematic account.* », [Hald, 1998], 506.

L. Urbain Dortet de Tesson a été élu à l'Académie des sciences, section de géographie et navigation, en avril 1861. Il était correspondant depuis 1858, mais il n'a pu y côtoyer son ami Bravais, ce dernier étant depuis la fin de l'année 1855 atteint d'une maladie neurologique très grave, qui l'a très rapidement privé de toute conscience du monde extérieur, au point qu'en 1856 il fut incapable de signer sa demande de réforme ni d'ailleurs son serment de légionnaire, lors de la remise de la croix d'officier de la Légion d'honneur. Dans les deux cas on dut se substituer à lui, discrètement. Bravais a vécu dans cet état d'inconscience jusqu'en 1863, soigné par une épouse admirable. On l'a vu, Tesson reporte sur Bravais une grande part des mérites de sa femme. Ce qui peut surprendre, mais est assez bien vu. Le dévouement à un malade doit toujours être porté principalement au crédit de ce dernier, et non de celui qui le prodigue. À la mort de son mari, Eugénie Bravais se retira chez les Clarisses de Versailles où elle mourut en 1885. Bravais est enterré au Cimetière du Montparnasse, comme nombre de mathématiciens parisiens. On verra à cet égard le site merveilleux [[Brasseur]].