

JOURNÉES NATIONALES de l'APMEP 2014

Toulouse 18 - 21 octobre 2014

Ciel, les mathématiques !

Atelier du lundi 20 octobre 2014

de 10 h 30 à 12 h

Atelier P3-16, salle 101

Communication ; lycée, post-bac

**Georges Poivilliers (1892-1968),
professeur de photogrammétrie au CnAM**

Jacques BOROWCZYK

Tours

*Qui devient biographe s'astreint à mentir, à dissimuler, à embellir et
même à cacher son propre manque de compréhension.*

Sygmund Freud (1856-1939)

*L'approche biographique est souvent décriée : mieux vaut expliquer l'évolution de
notre société et de son enseignement par le jeu des forces profondes. Pourtant le rôle des
hommes est essentiel, comme l'est parfois celui des accoucheurs.*

Antoine Prost, *Regards historiques sur l'éducation en France, XIX^e-XX^e siècles*, Paris, Belin, 2007.

Résumé :

Georges Poivilliers, ingénieur mécanicien et opticien, fut un des pionniers de la stéréophotogrammétrie aérienne. Il résolut le problème des photographies verticales en construisant de nombreux appareils de stéréophotogrammétrie qui restituent la vue d'un terrain à partir des vues d'avion et furent utilisés pour l'établissement des cartes géographiques, ainsi qu'en topographie et géodésie.

Compte rendu de l'atelier :

Avec les ingénieurs Paul Bourdaloué (1798-1868), né et mort à Bourges, responsable des études sur le nivellement de l'isthme de Suez (1847), l'astronome Hervé Faye (1814-1902), né à Saint-Benoît-du-Sault (Indre) qui découvrit en 1843 une nouvelle comète et le colonel Charles Moÿse Goulier, (1818-1891), né à Richelieu (Indre-et-Loire), qui termina sa carrière à la tête du Dépôt des instruments de précision, il perpétue une tradition d'études de topographie et de géodésie, particulièrement bien représentée en Région Centre.

L'art d'exécuter de levés topographiques par restitution des perspectives fournies par la photographie a été désigné dès 1854, par le colonel Laussedat (1819-1907), sous le nom de *métrophotographie* puis par le nom de *photogrammétrie* voire de *phototopographie*. Cette méthode photographique de lever a eu ses adeptes enthousiastes et ses ardents détracteurs, en particulier dans les années 1914-1918. Elle suscita des perfectionnements des instruments utilisés pour les levés topographiques effectués par photo et la transformation automatique des clichés obtenus en cartes cotées en convoquant géométrie, physique, physiologie.

Le Tourangeau Georges Poivilliers conçut dès 1919 le principe d'un instrument capable d'effectuer la restitution utilisant un couple de photographies aériennes associées et en mettant en œuvre la vision stéréoscopique.

Le 29 octobre 1914, un jeune combattant français, le lieutenant d'artillerie Georges Poivilliers, âgé de vingt-deux ans est blessé lors d'affrontements avec les troupes allemandes : c'est un étudiant brillant natif de la petite commune de Draché en Touraine où il est né le 15 mai 1892¹. Son père Jean Poivilliers, âgé maintenant de 54 ans et sa mère Marie Benjamine Gouin, âgée elle 51 ans, sont instituteurs (ils étaient, en 1892, en poste à l'école communale de Draché), vivent le conflit dans l'angoisse : Georges Poivilliers a préparé au lycée Descartes, à Tours, les concours d'admission aux Grandes Écoles et il venait d'être reçu à la session de 1913 à l'École centrale des arts et manufactures. Il n'a pas le temps de « monter » à Paris pour devenir ingénieur civil : les obligations du service militaire prévalent sur l'entrée dans l'École et, depuis le 1^{er} août, c'est la guerre.

C'est tout d'abord comme lieutenant d'artillerie, qu'il combat dans un conflit que tout le monde pense court et expéditif.

Après sa convalescence, suite à sa blessure du 29 octobre 1914, il devient observateur en avions et terminera le conflit comme officier de liaison aéronautique de la deuxième armée américaine.☒

Le Service géographique des Armées doit très tôt fournir des cartes à grande échelle pour des zones nouvelles, notamment les régions de l'Est de la France. L'emploi de la photographie aérienne n'est pas une technique complètement nouvelle pour le Service géographique des Armées qui y a eu recours pour photographier des zones inaccessibles, des régions de montagne rocheuses comme les glaciers ou des zones rocheuses. Le levé du terrain à l'aide de la photographie s'appelle alors la *photogrammétrie* et, en 1910 ; une délégation avait étudié l'organisation et le fonctionnement du bureau de photogrammétrie

¹ Les registres de la commune indiquent : Draché, 15 mai 1892, acte de naissance de Georges Jean POIVILLIERS : né ce jour, fils de Jean POIVILLIERS, âgé de 32 ans, instituteur à Draché, et de Marie Benjamine GOUIN, âgée de 29 ans, institutrice à Draché.

Les déclarants sont :

- GOUIN Honoré, 62 ans, rentier, demeurant à Saint-Avertin
- MAZEAU Auguste, 52 ans, charron à Draché.

Les mentions marginales complètent sa biographie :

- marié à Neuilly-sur-Seine le 26.08.1926 à Jeanne Marie Emilie THIBAUT
- marié à Neuilly-sur-Seine le 29.12.1959 à Paulette Léonie Charlotte CHAP (ou CLAP)
- décédé à Neuilly-sur-Seine le 09.03.1968.

allemand et le service avait acquis un stéréocomparateur du docteur Pulfrich qu'il avait testé dans la région du Pelvoux en 1911².

Au cours du conflit la publication des cartes nécessitent l'ouverture d'imprimeries à Clermont-Ferrand puis à Tours et Bordeaux.

Une fois l'Armistice conclu et la guerre achevée, pour un temps, Georges Poivilliers est rendu en 1919 à la vie studieuse et débute sa formation à l'École centrale des arts et manufactures. Il a ainsi l'occasion de rédiger, dès mars 1919, à la demande du professeur Geoffroy, son professeur de perspective, une note sur les méthodes employées pour reporter, sur les plans directeurs, les organisations ennemies décelées par les photographies aériennes. Il confie :

« En rédigeant cette note, je me rendis compte que, dans ces reports, nous avons traité seulement une petite fraction du levé de la carte. En fait, il fallait deux photographies de la zone du terrain prises à deux points de vue différents. Les deux photographies devaient être projetées simultanément sur un écran matérialisant un plan horizontal du terrain. Ces objectifs devaient permettre de reconstituer optiquement la gerbe des rayons perspectifs qui avaient formé les deux photographies et les images homologues en superposition devaient correspondre à des points du terrain situés dans un même plan horizontal. En colorant ces deux projections l'une en rouge, l'autre en vert et en les examinant à travers un lorgnon dont les verres seraient l'un vert, l'autre rouge, on devait percevoir une image en relief du terrain suivant le procédé des anaglyphes, connu depuis quelques années »

Les faits de guerre lui valent de devenir le 15 juin 1920, chevalier de la Légion d'honneur à titre militaire. Quelques mois plus tôt, il a déposé un premier brevet d'un « appareil destiné au tracé automatique des cartes ».

Notons que l'une des clauses du traité de Versailles, signé en 1919, contraint les Allemands et les Autrichiens à remettre aux Français le stéréo-autographe Von Ores-Zeiss comme dommage de guerre.

Georges Poivilliers a bien compris que le levé d'une carte ne peut être obtenu que si l'on dispose de deux photographies du même paysage prises de deux points de vue différents.

Georges Poivilliers complète en 1922 son invention qu'il nomme : « stéréo-autographe ».

Ces travaux lui valent en 1920 un prix de la Société d'encouragement de l'industrie nationale, et en 1930 le prix Binoux décerné par l'Académie des sciences.

Maître de conférences de topographie en 1939, il devient en 1941 professeur à l'École nationale des sciences géographiques créée par le nouvel Institut géographique national institué lors de l'armistice de 1940 pour soustraire le personnel du Service géographique des Armées à l'armée.

Georges Poivilliers sera professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers de 1945 à 1952.

Membre de la section de géographie et de navigation de l'Académie des sciences en remplacement du général Georges Perrier, le 9 décembre 1946, il assure en 1964 la présidence de l'Académie des sciences et celle de l'Institut.

Le 11 décembre 1952 il était devenu directeur de l'École Centrale des Arts et Manufactures.

De nombreuses distinctions lui sont alors décernées : Commandeur de la Légion d'honneur en 1956, Officier de l'Ordre de Léopold 1^{er} de Belgique.

Marié à Neuilly-sur-Seine le 26 août 1926 à Jeanne Marie Emilie Thibault, une Tourangelle qui exerce la profession de professeur de mathématiques, le couple a eu deux enfants, Michelle née en 1928 et Jean né en 1930. Jean Poivilliers a co-signé la notice Georges Poivilliers du *Dictionnaire biographique des professeurs du Conservatoire national des Arts et Métiers de 1794-1955*, établi pour le bicentenaire sous la direction de Claude Fontanon et Alain Grelon (Paris, 1994, t. II, 412-426).

² Martina Schiavon, *Itinéraires de la précision. Géodésiens, artilleurs, savants et fabricants d'instruments de précision en France, 1870-1930*, 2013, p. 360.

Le couple restera très attaché à la Touraine et les Poivilliers conserveront une maison familiale à Rivière (Indre-et-Loire), berceau de la famille.

Veuf en 1957 Georges Poivilliers épouse à Neuilly-sur-Seine le 29 décembre 1959, un médecin, Paulette Léonie Charlotte Paulette Clap.

Georges Poivilliers est président d'honneur de la Société française de photographie de 1949 à 1951 puis de 1956 à 1957.

Il est décédé à Neuilly sur Seine le 9 mars 1968 à l'âge de 76 ans et ses obsèques ont eu lieu, le 13, dans l'église Saint-Nicolas-des-Champs, une église proche à la fois du Conservatoire et de l'École centrale.

En 1929 lors du congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences qui se tint au Havre, Georges Poivilliers présenta ses travaux : nous étudierons les deux notes parues dans le *Compte rendu du congrès international de l'Association française pour l'avancement des sciences* (1930, 154-165) sur :

« Le Stéréotopographe Poivilliers ».

Quelques références bibliographiques :

Legros, *Éléments de photogrammétrie*, éditions scientifiques, 1891.

Paul Corbin, La stéréoautogrammétrie, *Revue générale des Sciences*, tome 25, 30 mai 1914, 223-252.

Ollivier Félix Louis Paul, *La topographie sans topographe. Traité de photogrammétrie*, éditions «de la Revue d'optique théorique et instrumentale, 1929.

Henri Rousilhe, *La photogrammétrie et ses applications générales*, Eyrolles, 1936, 210 p.

Départ à la retraite du directeur de l'École Centrale, *Arts et manufactures*, n° 124, octobre 1962.

Notice nécrologique, *Arts et manufactures* (Association des anciens élèves de l'École Centrale), n° 188, juillet 1968.

Pierre Tardi, "Notice nécrologique sur G. Poivilliers", 17 juin 1968, in *Comptes rendus de l'Académie des sciences* (CRAS) 266, 1968, p. 148-152 (in "Vie académique")

Edmond A. Brun, "Notice sur la vie et les travaux de George Poivilliers", in *Publications de l'Institut de France*, 14 septembre 1970, n° 17.

Leprince-Ringuet Louis [sous la direction de], *Les inventeurs célèbres - Sciences physiques et applications*, Mazenod, 1962, 452 p.

Cl. Fontanon et A. Grelon, *Les professeurs du Conservatoire national des Arts et Métiers. Dictionnaire biographique 1794-1955*, Paris, 1994, t. II, 412-426.

Martina Schiavon, *Itinéraires de la précision. Géodésiens, artilleurs, savants et fabricants d'instruments de précision en France, 1870-1930*, 2013, 775 p., 32 €.

Travaux

Sur un nouveau « stéréo-autographe », *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. 175, 1923, 752.

Note sur le « stéréotopographe Poivilliers », *Actes du congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences, Le Havre, 1929, 1930, 154-165.*

« Le Stéréotopographe Poivilliers », *Compte rendu du congrès international de l'Association française pour l'avancement des sciences, Le Havre, 1929, 1930, 154-165.*

Les principes généraux de la stéréotopographie aérienne, Méthodes et appareils de restitution, *Bulletin de photogrammétrie*, 1933, 126-137.

Propriété perspective de certaines surfaces et son application aux levés photo-topographiques aériens, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. 198, 1934, p. 1845.

Le Général Perrier (notice nécrologique), *Revue française de photogrammétrie*, n° 1, janvier 1950, 6-7.

La naissance de photogrammétrie, *Bulletin de la Société française de photogrammétrie*, n° 2, avril 1961, 1-4.

Annexe 1 : Lexique :

Photogrammétrie : technique visant à déterminer les dimensions, les positions et les formes d'objets à partir de clichés photogrammétriques

Stéréophotogrammétrie : technique qui utilise la perception stéréoscopique d'un couple de clichés pris de deux points de vue différents pour restituer la planimétrie et l'altimétrie ; elle peut être aérienne, terrestre ou spatiale.

SIG : un système d'information géographique est un ensemble de fonctions, de composants matériels (hardware) et logiciels gérant des données géographiques et sémantiques

Géodésie : étude de la forme et des dimensions de la planète Terre

Topographie : représentation graphique d'une partie plus ou moins étendue de la planète Terre et, plus précisément technique qui a pour objet l'exécution, l'exploitation et le contrôle des observations concernant la position planimétrique et altimétrique, la forme, les dimensions et l'identification des éléments concrets fixes et durables, existant à la surface du sol à un moment donné

planimétrie : représentation en projection plane

altimétrie : représentation du relief sur un plan ou une carte

nivellement : mesure de la différence des altitudes entre deux points ou dénivelée

théodolite : appareil de mesure en grade (norme AFNOR NF X 02-006 symbole *gon*) de l'angle horizontal ou azimutal et de l'angle vertical

éclimètre : appareil de mesure de l'angle vertical

lunette stadimétrique : lunette dont le réticule porte deux traits stadimétriques symétriques par rapport à un grand trait horizontal de l'axe optique, qui déterminent deux lignes de visée formant dans le plan vertical l'angle stadimétrique

Anaglyphe : photo ou projection stéréoscopique en deux couleurs complémentaires restituant le relief (du grec *anaglyphos*, ciselé)

Une photographie est une perspective conique inclinée de la surface de sol, depuis le centre de l'objectif de la prise de vue, sur le plan du cliché. Le plan topographique est une projection cylindrique verticale.

Restituteur : appareil de restitution, *i e* détermination et représentation en 3D d'un objet à partir de photos stéréoscopiques par observation binoculaire.

Cartographie : étude et réalisation des cartes géographiques et, plus récemment théorie des actes cognitifs et des technologies par lesquels l'homme réduit la complexité environnementale et s'approprie intellectuellement le Monde

Annexe 2 :

Quelques repères chronologiques

- 1892 12 août : naissance de Georges Jean à Draché (Indre-et-Loire) fils de Jean Poivilliers et de Benjamine Gouin, instituteurs
- 1903 bourse pour études secondaires au lycée Descartes de Tours
- 1908 voyage en Angleterre
- 1910 baccalauréat ès sciences (juillet) et philosophie (octobre)
- 1910-1913 classes préparatoires aux Grandes écoles au lycée de Tours
- 1913 juillet : admis à l'École centrale des Arts et manufactures et début du service militaire
- 1914 29 octobre : est blessé lors de la Grande Guerre :
- 1919 février : début des études à l'École centrale des Arts et manufactures
- 1920 janvier : dépose un brevet « pour un appareil destiné au tracé automatique des cartes, plans directeurs et cadastres à l'aide des photographies terrestres ou aériennes »
- 1920 15 juin : chevalier de la Légion d'honneur au titre du ministère de la Guerre
- 1922 Sur un nouveau stéréo-autographe, *CRAS*, 175, 752.
- 1926 mariage de Georges Poivilliers et de Jeanne Thibault, professeur de mathématiques
- 1928 naissance à Paris de Michelle
- 1929 Note sur le stéréotographe Poivilliers, *AFAS*, Le Havre, 154-165
- 1930 naissance de Jean
- 1937 enseigne la topographie à l'École centrale des Arts et manufactures
- 1939 capitaine du Service géographique de l'Armée
- 1940 ingénieur en chef géographe, enseigne la photogrammétrie à l'École nationale des sciences géographiques de l'Institut géographique national
- 1944 : levé de la Sainte-Chapelle à Paris
- 1945 Professeur de *photogrammétrie* au Conservatoire national des Arts et métiers
- 1946 membre de l'Académie des sciences (section de *géographie et navigation*)
- 1949 président du jury d'admission à l'École centrale des Arts et manufactures
- 1952 directeur de l'École centrale des Arts et manufactures
- 1962 retraite
- 1957 décès de Jeanne Thibault, son épouse
- 1959 mariage de Georges Poivilliers et de Paulette Clap, docteur en médecine
- 1968 9 mars : décès de Georges Poivilliers à Neuilly-sur-Seine (Hauts-de-Seine)
- 1956 13 mars : obsèques à l'église Saint-Nicolas-des-Champs proche du Conservatoire national des Arts et métiers à Paris

Annexe 3 :

Extraits de *Sur la philosophie des mathématiques*, publié en 1903, par Jules Richard (1863-1956) :

Les mathématiques sont intéressantes à un triple point de vue.

Au point de vue purement logique, en fournissant à l'esprit un exercice de raisonnement ;

au point de vue de la connaissance du monde, en donnant une explication complète d'un grand nombre de phénomènes physiques ;

au point de vue des applications, en fournissant à l'homme le moyen de trouver, pour l'utilité publique le plus grand profit possible de phénomènes naturels.

La construction des cartes géographiques est une application de la géométrie.

Le progrès a consisté surtout dans l'utilisation des forces naturelles. Il reste encore beaucoup à faire, et l'on arrivera sans doute dans peu de temps à utiliser toutes les forces naturelles encore improductives, les vents, les marées, le mouvement des vagues, la chaleur solaire en emmagasinant l'énergie produite de façon à n'utiliser que quand on voudra et où on voudra. C'est le vrai progrès à réaliser. Ceux qui voient dans l'avenir l'air sillonné de ballons dirigeables, qui s'imaginent ces nouveaux engins remplaçant les chemins de fer se trompent. Un célèbre mécanicien, Reulaux, inventeur d'appareils ingénieux, a indiqué en quoi consistait le progrès dans les applications de la mécanique. Ce progrès consiste selon lui dans un guidage de plus en plus parfait du mouvement. [...] D'après les idées de Reulaux, les ballons dirigeables ne seraient pas un progrès.

Tout exercice intellectuel est bon pour le développement de l'intelligence.

La géographie :

On ne comprend pas bien pourquoi cette science, liée intimement à la géométrie, à la géologie, à la théorie des phénomènes de l'atmosphère, toutes branches des mathématiques appliquées est considérée en France comme une annexe de l'histoire. La théorie même des cartes géographiques sort du domaine élémentaire.

Jules Richard, *Sur la philosophie des mathématiques*, 1903.

Extraits de du volume *Géographie mathématique*, de sa *Bibliothèque scientifique de l'ingénieur et du physicien*, Henri Bouasse (1866-1953), professeur de physique à l'université de Toulouse (1892-1937) :

Tout le monde n'est pas forcé d'être cartographe : il est même fort heureux que tout le monde ne le soit pas. Mais, pour Dieu ! si vous parlez *cartographie*, que ce ne soit pas d'une manière stupide. Je ne conteste pas la science de ces messieurs ; je constate seulement le grotesque de la servir en entier dans les quatre colonnes de l'introduction d'un atlas. Par de telles sottises on détraque l'esprit français en lui apprenant à se contenter de mots et d'*à peu près*...

C'est toujours la même rengaine. En Chimie, les élèves ne savent pas un mot des notations ; il est naturel qu'en Géométrie, ils ignorent tout des systèmes de représentation. Aussi bien, je ne réclame pas que, sous prétexte de *Science*, on leur débite ni surtout qu'on leur dicte les âneries qui ornent les atlas les plus réputés ; je suis plus modeste car je connais la question...

Je demande que les professeurs de Géographie sachent bien les choses élémentaires, soient capables de calculs simples et, au lieu d'apprendre par cœur que « la superficie de l'Europe est de 10 252 169 kilomètres carrés, sans l'Islande », soient capables d'évaluer *grosso modo*, cette aire d'après la carte.

Hélas, je leur demande d'être intelligents !

Henri Bouasse, *Géographie mathématique*, volume de la *Bibliothèque scientifique de l'ingénieur et du physicien*, Delagrave, 1923.

Henri Bouasse (1866-1953) a été professeur de physique à l'université de Toulouse (1892-1937).

Annexe 4 : Sur la localisation par le son d'une bouche de feu et sur les applications de la photographie aérienne aux relevés topographiques et à la reconnaissance des formes pendant la Grande Guerre

La géométrie a eu pendant la guerre de nombreuses applications. C'est elle qui a fourni à l'artillerie la carte d'état-major nécessaire pour guider les armées. C'est elle qui a fourni à l'artillerie les données nécessaires pour le pointage des canons et qui a donné aussi la méthode de repérage par le son pour déterminer la position des canons ennemis.

Jules Richard, discours de distribution des prix du lycée de Châteauroux, le 12 juillet 1925.

Une « solution de repérage au son des batteries ennemies grâce à un système d'analyse acoustique inventé par les physiciens français Pierre Weiss (1865-1940) et Aimé-Auguste Cotton (1869-1951) :

Brezinski indique que sur le site

[//pagesperso-orange.fr/jmpicquart/Reperageauson.htm](http://pagesperso-orange.fr/jmpicquart/Reperageauson.htm)

on trouve les informations suivantes :

« Alors qu'il était au fort du Bois Bourru à Verdun en septembre 1914, Ferdinand Daussy, un soldat du 45^e régiment d'instruction des télétransmissions, avait été frappé par le réflexe de ses camarades qui indiquaient du bras le moment où partaient les tirs de la batterie allemande. En février 1915, il fut envoyé à l'arsenal de Verdun où il réalisa, à partir d'un moteur de phonographe et d'un diapason entretenu électriquement, un appareil de repérage au son inscrivant sur un papier d'enregistrement le 1/100^e de seconde. En juin 1915, pendant un brouillard intense qui gênait tous les autres modes habituels d'observation, il utilisa ce matériel pour détecter l'emplacement des canons allemands. Ces canons, bien dissimulés, causaient de graves dommages aux cantonnements français dans le village de Douaumont. A partir de trois postes d'observation [...]. Daussy procédait à une triangulation et situait les pièces allemandes derrière les Jumelles d'Ornes. Le colonel Plassiart déclencha ensuite un tir des batteries françaises sur cet emplacement, arrêtant ainsi le feu de l'ennemi. Par la suite ce matériel fut placé sur trois observatoires, aux bois d'Herbebois, des Caurières et du Grand Chenas. Peu de temps après, Daussy quittait le front pour une affectation à l'inspection des forges de Paris, compte tenu de son expérience dans la sidérurgie, laissant sur place un ingénieur (le canonnier Gabriel Moinet ?) qu'il avait formé à l'utilisation de son invention ».

Claude Brezinski s'intéresse aussi aux applications de la photographie aux relevés topographiques et à la reconnaissance des formes.

« Dès 1850 Aimé Laussedat (1819-1907) professeur suppléant à l'Ecole polytechnique est l'un des pionniers français de la photogrammétrie, application de la photographie aux relevés topographiques et à la reconnaissance des formes. [...] Le procédé est ensuite développé, de 1863 à 1871, par le capitaine Javary, un élève de Laussedat. A partir de 1892 Henri et Joseph Vallot se servent de ce procédé pour leur levé topographique du Mont Blanc. [...]

C'est au cours d'un séjour en Perse, entre 1874 et 1881, que le philosophe, historien, géographe, mathématicien, physicien et ingénieur allemand Franz Stolze (1836-1910) a l'idée qu'un examen stéréoscopique permet une précision supérieure dans l'identification de points identiques entre différentes photographies ainsi qu'une meilleure appréciation de la forme du terrain. [...]

En France, l'ingénieur géographe Henri Roussilhe (1879-1945) inventa en 1917, un appareil utilisé industriellement. Puis en 1919, l'ingénieur Georges Poivilliers (1892-1968) construisit une machine qui restituait parfaitement le terrain à partir de vues stéréoscopiques prises d'avion. Le relais viendra à partir de 1957, avec des satellites artificiels. »

Claude Brezinski, *Les images de la Terre, cosmographie, géodésie, topographie et cartographie à travers les siècles*, L'Harmattan, 2010.

[La thèse de Martina Schiavon, *Itinéraires de la précision. Géodésiens, artilleurs, savants et fabricants d'instruments de précision en France, 1870-1930*, 2013, 775 p. développe la question du repérage au son des batteries ennemies par un système d'analyse acoustique]