

MODÉLISATIONS GRAPHIQUES D'UN PLAN DE NIVELLEMENT MILITAIRE DE STRASBOURG EN 1774

par Thierry Hatt

EA 3400 ARCHE (Arts, civilisation et histoire de l'Europe), Équipe de recherche en sciences historiques
7 Place de l'Université 67000 Strasbourg
Courriel : thhatt@gmail.com

L'étude d'un plan militaire de nivellement de la ville de Strasbourg en 1774 découvert à la Bibliothèque universitaire de Strasbourg il y a quelques années s'est révélée enrichie grâce à deux découvertes peu fréquentes : l'ordre ministériel très bien daté qui lui correspond et la « mise au net » du même plan au Service historique de la Défense à Vincennes. Nous discutons la qualité de réalisation de ce plan par les ingénieurs militaires de la place et sur cette base nous construisons un modèle numérique en courbes de niveau et des vues 3D basses obliques en les comparant avec le plan relief de 1725¹. Ce travail s'inscrit dans la continuité de la construction d'un système d'information géographique XVII^e siècle-XXI^e siècle sur Strasbourg² entrepris dès 2002³.

1 Introduction

Nous présentons deux plans de nivellement des fortifications de la ville de Strasbourg en 1774. Nous démontrons que celui conservé à Strasbourg est un brouillon préparatoire pour une mise au net disponible au Service historique de la Défense de Vincennes. Nous menons ensuite une étude critique des 1678 cotes de ces deux plans complémentaires pour réaliser sur cette base des modèles numériques en courbes de niveau et en visualisation 3D en les comparant avec le plan relief de 1725.

2 Les sources : un ordre ministériel, deux plans de Strasbourg en 1774, BNU et SHD

2.1 Le plan de la Bibliothèque nationale universitaire de Strasbourg

Le premier plan, (fig. 1), a été découvert^{4,5} à la Bibliothèque nationale de Strasbourg. Il s'agit d'un

plan manuscrit, à l'encre de Chine, coloré en vert et rouge au lavis et aux encres de couleur. Sa taille est de 88,8 cm x 144,5 cm, à l'échelle de « 2 pouces pour 100 toises⁶ » soit 1 : 3609, une note manuscrite figure en tête mais la colonne double habituellement réservée à la légende est vide. L'état général est correct quoique deux pliures courent au centre du papier, N-S et E-W. La vignette d'entête (transcrite plus bas, paragraphe 4.2, transcription de la vignette entête du «brouillon») indique clairement qu'il s'agit d'un plan de nivellement, il est daté de 1774. Lors d'un colloque⁷ Isabelle Warmoes⁸ a porté à notre connaissance la transcription⁹ de l'ordre du ministre daté du 7 mars 1774 ; lettre écrite par le duc d'Aiguillon, ministre de la Guerre. Il est assez rare de pouvoir associer un plan et les ordres correspondants et d'avoir un contexte aussi précis.

Cet ordre reprend une initiative de 1771, il est national, « il sera très utile, monsieur et il paroît même indispensable de former un atlas pour chacune des places du royaume, dont une copie sera

1 Mes remerciements à F. Pluinage, J. P. Deville, Mathieu Hatt pour leur aide dans l'approche statistique des procédures de nivellement ; à R. Tabouret, ingénieur et architecte et Michel Chinal, ancien géomètre expert et historien des techniques pour leurs apports.

2 On trouvera les publications concernant ce projet à l'adresse : <http://bit.ly/Publications-Cartographiques> ; vérifié en février 2014

3 Un certain nombre de figures qui n'ont pas été publiées dans cet article sont disponibles sur l'Internet à l'adresse : <http://bit.ly/Plans-de-nivellement-Strasbourg-1774> ; vérifié en février 2014.

4 Par J. J. Schwiens, maître de conférences en archéologie à l'Université de Strasbourg.

5 Le plan « brouillon » de 1774 est visible sur le site de l'EA3400 Arche, Histcarto : <http://histcarto.u-strasbg.fr/accueil.htm>; vérifié en février 2014.

6 Unités du XVIII^e siècle, équivalences choisies : 1 toise (1 949 m) vaut 6 pieds, un pied (0.325 m) vaut douze pouces, un pouce (2.7 cm) vaut 12 lignes, 1 ligne égale 2.26 mm.

7 « Les cartes anciennes, une source pour les SHS ? » Jeudi 15 et vendredi 16 novembre 2012; Maison interuniversitaire des sciences de l'homme – Université de Strasbourg.

8 Ingénieur d'études, Musée des plans relief, Paris.

9 Dans Nelly Lacrocq, op. cit.

déposée au bureau des fortifications... », il est adressé « à mrs les directeurs des fortifications », il doit être présenté normalisé : « cet atlas ... doit être fait dans un format uniforme grand infolio de 20 pouces de hauteur sur 16 pouces¹⁰ de largeur tant pour les mémoires qui y seront écrits que pour les plans qui y seront pliés suivant cette dimension ». Parmi les treize articles de cette lettre, le troisième décrit le plan de la BNU :

« 3°) - un troisième plan pour servir de nivellement général au moyen des cottes qu'on y mettra en des points qui indiqueront ou tombent des perpendiculaires que l'on imaginera abaissées sous une ligne de niveau supposée ; cette ligne doit passer au moins à 15 pieds au dessus du point le plus élevé des hauteurs dans les 300 toises aux environs de place ou du point le plus élevé de la fortification : le nivellement servira de profil général en ayant attention de faire tomber sur les fonds des fossés, sur les terrepleins des ouvrages, sur les cordons des revêtements en rouge et sur les parapets les perpendiculaires imaginées sous la ligne de niveau lesquelles seront représentées par un point avec une cotte ... »

Le ministre veut : « recevoir de vous la collection des volumes ou atlas ... au 1er avril de l'année prochaine », soit avril 1775. En considérant l'énorme travail que cela représente, cette demande est-elle satisfaite ? Soixante-sept plans sur quatre-vingt-onze, sont livrés dans les délais exigés (fig. 2), l'institution militaire fonctionne bien.

Après avoir photographié ce que nous appellerons le « brouillon de la BNU », dont la mise à plat est possible, puis géorectifié et géoréférencé en Lambert I le fond numérique, nous pouvons présenter le document source, enrichi du tracé des murs revêtus, inséré en repérage sur le fond cadastral de 2013. Ce plan inscrit dans ses limites toute la fortification entre Rhin et collines (fig. 3).

2.2 Le plan du Service historique de la Défense à Vincennes

Poursuivant nos investigations nous avons étudié au Service historique de la Défense l'atlas¹¹ commandé par le ministre. C'est un bel album relié, 28 pages de texte très pâli et difficile à lire, cinq plans bien conservés dont deux grands formats dont la version du plan nivelé correspondant exactement aux instructions ministérielles. Ces plans ont été pliés dans le volume et leur photographie est très difficile à réussir en vue d'ensemble sans table à aspiration mais une approche détaillée est possible. Le volume a été livré signé par l'officier responsable¹² à la date du 27 août 1774 soit huit mois avant la date limite ! Il est certain que ce travail dont nous allons mesurer l'ampleur, avait déjà été préparé et devait être largement disponible.

2.3 En conclusion deux plans disponibles : le « brouillon de la BNU », la « mise au net du SHD »

La comparaison des deux plans permet d'établir que la version de la BNU est un « brouillon » et que la « mise au net » se trouve au SHD. Ces plans étaient obligatoirement établis à la main, secret militaire, ils avaient vocation à rester entre les mains de l'état-major. Les fortes différences planimétriques entre les deux plans montrent une « mise au net », sans beaucoup de souci de précision pour l'environnement en particulier hydrographique. La « mise au net » a été faite à Strasbourg, en effet 15 cotes d'altitude manquent sur le brouillon et ont été ajoutées sur la « mise au net », il eût été impossible de les inventer à Paris, d'autre part la livraison est signée de l'ingénieur en chef en service à Strasbourg à cette époque. Donnons quelques exemples graphiques qui étayaient ces points, (fig. 4, fig. 5, fig. 6).

10 54 cm x 43 cm.

11 Voir la cote en bibliographie

12 Paul Louis Antoine de Rozières, 1723-1794, cité dans De la Chenay-Desbois, Dictionnaire de la noblesse, t. XII, 1778, p. 368 : « ingénieur en chef à Strasbourg » ; et dans Blanchard A., 1981, Dictionnaire des ingénieurs militaires : 1691-1791, 786 p., Montpellier : « Né à Verdun le 17 janvier 1723, mort à Paris en octobre 1794 ».

Plan « brouillon de la BNU »	Plan « mise au net du SHD »
Quinze points manquants	Quinze points ajoutés
Lisibilité faible, 1220 cotes lisibles	Bonne lisibilité, 1678 cotes lisibles
Cadrage E-W pour occuper la feuille au mieux, espaces manquants au NW et au SE	Cadrage au Nord, espaces complétés au NW et au SE
Tracé des cunettes ¹³ incomplètes	Tracé des cunettes complétées
Plateformes de tir sans les « traverses ¹⁴ »	266 « traverses » ajoutées
Nombreux tracés manquants, chemin couverts, accès aux plateformes	Nombreux tracés ajoutés
Hydrographie simplifiée ou absente	Hydrographie détaillée quoique souvent déplacée
Tous les tracés (86) des lignes de visée sont présents	Seuls les principaux tracés (32) des lignes de visée sont présents

3 Qualité des procédures des ingénieurs

3.1 Une très grande technicité avérée

On peut mesurer l'énormité de la tâche en calculant quelques longueurs à parcourir (fig. 6). Il s'agit de mesurer, sur 25 km de lignes de visée, 1678 points de station soit 3356 « coups de niveau », 42 km de murs revêtus, 34 km de cunettes en eau, 11 km de digues, de positionner 266 « traverses » des postes de tir ... La technicité des ingénieurs de cette époque est très grande comme le montrent les manuels qui figurent dans leur bibliothèque professionnelle¹⁵ : « *Art de lever les plans* », « *Nouveau supplément ... de la trigonométrie...* », « *Traité du nivellement...* ». Ces ouvrages mettent à disposition les tables de logarithmes qui permettent, tous les calculs étant faits à la main, de remplacer élégamment multiplication et division par addition et soustraction. La trigonométrie qui permet de calculer hauteurs de parapet ou distances sans se déplacer n'a aucun secret pour eux comme en témoignent les pages du « *Traité de fortification ...* » d'Ozanam¹⁶ en 1694. L'usage de la « planchette »¹⁷ associée au graphomètre permet la construction des angles de la fortification à distance sur le terrain¹⁸.

3.2 Des distances très courtes entre stations

L'ordre ministériel précise que les ingénieurs doivent opérer à une distance fixée : aux « *environs de la place jusqu'à 300 toises* » - soit 585 m - c'est la portée des canons de l'époque. Il y a 86 tracés de

lignes de visée (fig. 7) sur le « brouillon », 54 de petite longueur (un seul bastion), 32 principaux. Les ingénieurs ont arpenté 24.5 km en comptant les tracés intérieurs à la fortification, 16.7 km en dehors, un travail considérable.

Le tracé des 32 lignes de visée principales montre que la règle des 300 toises n'est pas complètement respectée, la longueur moyenne est de 522 m mais les écarts, en rase campagne, sont très importants, compris entre 291 m et 707 m, probablement liés aux moyens de défense de l'inondation et du marais qui rendent inutile d'aller plus loin. Les lignes de visée, en terrain libre, sont parcourues en moyenne en cinq stations, (de trois à six), selon les conditions, traversées de fossés, de digues et d'obstacles divers. La distance entre deux stations est en moyenne de 150 m, comprise entre 79 m et 236 m, cette distance implique l'utilisation de niveaux à lunette, qui existent déjà¹⁹.

Les manuels de l'époque²⁰ recommandent une distance entre stations (fig. 8) de 200 à 240 toises, soit des « coups de niveau » compris entre 100 et 120 toises²¹. Le niveau est en effet installé au milieu de deux stations successives (fig. 8), la mesure est effectuée vers l'avant puis vers l'arrière pour compenser d'éventuelles erreurs de l'instrument et de l'opérateur. Les ingénieurs militaires qui procèdent aux mesures sont d'une très grande prudence, en effet, pour ce qui concerne les quatorze lignes de visée en rase campagne, sans obstacle notable, en moyenne trois stations (au maximum cinq) permettent de parcourir 490 m (au moins 224 m, au plus 618 m). La longueur moyenne de l'espace entre sta-

13 La cunette est le fond de fossé en eau.

14 La « traverse », inventée par Vauban protège les batteries de canon des tirs rasants latéraux à ricochet.

15 Blanchard A., op. cit., p. 314 et sq.

16 Ozanam J., 1694, op. cit.

17 Morizet M., op. cit., p. 7.

18 Dupain de Montesson, 1773, op. cit., « Nouveau traité ... de la trigonométrie », pl. 4.

19 Dupain de Montesson, 1773, op. cit., p. 5.

20 Par exemple, Béliador, op. cit., 1725, p. 253 et sq.

21 Béliador, 1725, op. cit., p. 254, « ... les coups de niveau... ne vont guère au-delà de 100 à 120 toises... ».

tions est de 171 m soit 88 toises, soit des « coups de niveau » de quarante-quatre toises, distance très inférieure aux recommandations des manuels. Cette pratique multiplie les tâches de relevé mais améliore la définition du relief. La ligne de visée la plus longue, 1040 m, se trouve au NW de la ville à partir du fort de Pierre, elle compte 17 stations soit trente-quatre « coups de niveau » (fig. 9).

3.3 Une bonne qualité statistique

L'étude statistique²² (fig. 10) de la partie fractionnaire de la mesure – en pouces donc – montre la qualité du travail des ingénieurs. Le choix de s'arrêter au pouce entier – soit 27 mm –, eu égard à la précision des mesures et à l'importance des enjeux, est très raisonnable, les « lignes » – soit 2.26 mm – n'auraient aucun sens pour mesurer les dénivelés d'une fortification et le défilement au vu de la précision des armes de l'époque. Pourtant l'opération de nivellement²³ décrite par les manuels est complexe et semble multiplier les risques d'erreur :

- L'opérateur vise avec son niveau une « perche » ou « jallon » distante tenue par un aide « le plus perpendiculairement qu'il est possible²⁴ », il n'y a pas d'autre recommandation (pas de fil à plomb par exemple).
- L'aide qui tient cette « perche » glisse, sur ordre, un repère en « carton »²⁵ jusqu'à « l'endroit de la toise qui se rencontre dans le rayon de mire ».
- Un deuxième aide réalise le « toisé » en mesurant « exactement » (?) la distance entre le sol et le repère et prend en note le résultat, sans autre précision d'une conduite à tenir quand le « carton » est placé entre deux repères.

La position du repère est manifestement bien tenue, le résultat est probablement arrondi quand c'est nécessaire avec cohérence, soit vers le haut soit vers le bas mais sans changer de stratégie, car aucune unité n'apparaît privilégiée sur le graphique alors même que les instructions ne précisent pas comment gérer ce « détail ».

L'arrondi au pied entier, - soit zéro pouce -, prédomine. « Cet arrondi résulte d'une économie d'écriture. Il évite en effet d'avoir à écrire une nouvelle unité, comme cela se fait encore aujourd'hui aux E.U., par exemple, quand on écrit 15 ft 7in pour une longueur. Ce problème ne se pose pas en système métrique avec la virgule décimale (ex. 3,86 m). Le relevé de 1920²⁶ ne minimise pas les décimales 1 et 9, alors que le relevé de 1774 minimise 1 et 11 » (Remarque de François Pluvillage).

Les autres parties fractionnaires, de 2 à 10 pouces, sont presque uniformément distribuées, aucune n'est privilégiée. Dans l'hypothèse de plusieurs équipes de travail qui se répartiraient quatre parties de la fortification, choisies un peu arbitrairement ici, on ne constate pas de gros écarts entre les mesures, peu s'écartent de la fenêtre de plus ou moins un écart-type, nous avons soit une seule équipe soit des équipes dont les procédures sont rodées et proches.

La carte de la distribution spatiale²⁷ des pieds entiers d'une part et de la partie fractionnaire à 11 pouces d'autre part, fournies ici en exemples, (fig. 11 a, b) de la même manière ne montre pas de particularité ou de zone de densité surprenante, qui seraient propres à des équipes différentes. On remarque par contre que la qualité planimétrique n'est pas le souci principal des dessinateurs, les erreurs de distance sur le brouillon²⁸ sont comprises entre -4.5% et +4.5% (fig. 12), il est vrai que ces différences sont d'une importance très relative étant donnés les objectifs du plan, protection des tirs ennemis par défilement et gestion de la fortification.

4 Des modèles numériques, comparaison avec le plan relief de 1725

4.1 Le contexte historique et technique

Ces deux plans, « brouillon » et « net », sont construits dans un moment chronologique intéressé-

22 Les coefficients d'asymétrie (=0.03, p=0.7) et d'aplatissement (= -1.17, p<0.0001) démontrent que leur distribution s'approche de celle de la loi uniforme, caractérisée par une asymétrie nulle et un aplatissement de -1.2.

23 Opérations décrites minutieusement dans les ouvrages scientifiques et techniques dont disposent les ingénieurs à cette époque (op. cit. La Hire, Manesson-Mallet, Ozanam, Dupain de Montesson, Bion etc.), ouvrages souvent réédités jusqu'au début du XIX^e siècle.

24 Belidor, 1725, op. cit. p. 253.

25 Selon M. Chinal, cette technique existait encore dans les années 1930. Il faut attendre 1830 pour l'invention de la mire parlante par Bourdaloue.

26 Nous nous appuyons sur notre étude statistique de 1420 cotes de niveau de 1919 : Projet Metacult, UdS, p. 8, « Plans de dérasement des fortifications de Strasbourg, 1919-1920, numérisation et interprétation graphique » ; 34 p. ; adresse vérifiée en février 2014 :

<http://bit.ly/Hatt-Plans-derasement-1919>.

27 La totalité des plans de distribution des unités, soit de 1 à 10 pouces est disponible dans la version Internet de ce travail : <http://bit.ly/Plans-de-nivellement-Strasbourg-1774>; vérifié en février 2014.

28 Les plis très marqués rendent impossible de faire ces mesures sur la « mise au net du SHD ».

sant. Le dessin des plans a été normalisé depuis longtemps par Vauban²⁹, le rassemblement des plans en atlas est devenu une habitude depuis l'atlas des places de Louis XIII ou celui de Louis XIV. Les militaires se posent le problème du défilement ou comment masquer la place aux tirs tendus de l'ennemi, et résolvent d'abord ce problème par de multiples coupes dont Vauban donne des exemples nombreux. Les cotes de nivellement ne sont utilisées qu'après 1748 et permettent de dessiner directement tous les profils de défilement nécessaires mais au prix d'un gros travail de terrain puis de dessin. D'autres moyens existent, représentation cavalière³⁰ basse oblique perspective sans rigueur mathématique, ou les plans relief, mais on ne sait pas exploiter autrement les cotes cartographiées. À l'époque, la marine pratiquait déjà les courbes de niveau, isobathes de profondeur à partir de la surface de la mer, mais l'armée de terre n'avait pas cette pratique et il faut attendre la fin du XVIII^e siècle et le début du XIX^e siècle pour que cette technique soit utilisée, donc après la date du plan de 1774. Il semble que Du Carla, 1782, *op. cit.*, en soit le promoteur sinon l'inventeur^{31 32}.

4.2 Modèles graphiques d'interprétation du plan de nivellement coté

L'ordre ministériel est répété sur l'en-tête du « brouillon » :

« PLAN du nivellement général de la Place au moyen des cotes mises à des points qui indiquent ou tombent des perpendiculaires imaginées abaissées sous un plan de niveau³³ de 20 pieds au dessus du Sommet du parapet, à l'Angle saillant du cavalier du Bastion 120, point le plus élevé de la Fortification et du Terrain à 300 toises aux environs de la place. »

On imagine au-dessus de la fortification une surface horizontale et ce sont des profondeurs qui sont mesurées à partir de ce plan, comme le feraient des marins. La cote la plus basse est 89 pieds 3 pouces aux chutes d'eau des Ponts Couverts, la plus élevée, par construction, 20 pieds, au-dessus du bastion 120, point le plus haut à l'ouest de la ville. On remarque la belle densité des points de mesure (fig. 13). Il s'agit de déterminer un « profil général » en cotant « les fonds des fossés, les terrepleins des ouvrages », « les cordons des revêtements en rouge et ... les parapets ». Par souci de com-

paraison avec la situation de relief actuel nous avons converti ces cotes de profondeur en altitudes métriques positives en les recalant sur celles du modèle numérique de terrain lidar 2008 de Strasbourg³⁴.

Ces 1678 cotes nous ont servi à calculer le modèle numérique en courbes de niveau (fig. 14). Nous avons choisi, parmi les multiples techniques possibles d'interpolation, celle des triangles de Delaunay qui rend le mieux compte du caractère anguleux de la fortification. L'intérieur des murs n'a pas été interpolé, il n'y a pas de cotes sauf aux chutes des Ponts Couverts déjà indiquées et pour le canal du Pont aux chats. C'est la même grille d'interpolation qui est utilisée pour représenter les vues perspectives 3D, (fig. 15, fig. 16), depuis l'ouest et le nord en comparaison avec des vues du plan relief³⁵ de 1725³⁶. On remarque que le plan relief ne rend pas compte des différences d'altitude – certes faibles, 20 mètres seulement – entre le nord et le sud, pas plus que les collines de l'ouest ne sont visibles alors que le modèle topographique appuyé sur les cotes de 1774 les met en valeur de manière parfaite. On observe également que Vauban qui a été chargé de renforcer les défenses après 1681 n'a pas réussi à « défiler » toutes les fortifications ouest dans le paysage, la remontée du relief des collines est trop forte.

Le troisième modèle (fig. 17), superpose par des visualisations de couleurs identiques mais d'intensités différentes 1774 et 2008. On aperçoit, à l'ouest, la rocade actuelle un peu plus élevée que la fortification ancienne, elle repose sur les remparts élevés par les Prussiens entre 1875 et 1885. Les fortifications de 1774 dominent cette zone de l'ouest. Cette position élevée n'existe plus, le dérasement du XIX^e siècle a largement servi à remblayer le vaste triangle alloué au nord de la Ville, lors de l'installation de la Neustadt par la Prusse après 1880. Vauban en 1681 se contente d'aménager une fortification existante et ne peut mettre en œuvre sa méthode d'effacement de la muraille telle que pratiquée à Salses ou Mont Dauphin. La proximité de la nappe phréatique (plus haute à l'époque qu'aujourd'hui), l'omniprésence de l'eau ont contribué à rendre plus difficile cet effacement de la muraille.

Plusieurs points restent à explorer: pourquoi cette technique "d'anti-altitudes" ? Pourquoi ce repère 15 pieds au-dessus du point le plus haut ? Pourquoi n'y

29 Warmoes I., 2008, *op.cit.*

30 Exposés par Allain Manesson Mallet, 1691, *op. cit.*, « l'orthographe », p. 60, « plans relief », p. 173.

31 Voir Graber F., 2006, *op. cit.*

32 Voir Lamandé P., 2009, *op. cit.*

33 Cette technique est encore utilisée vers 1830 pour les forts de Lyon (Communication de M. Chinal).

34 Ce modèle est publié, Tabouret R., Hatt Th. Grigorovski A., « Strasbourg de la grande île à la Neustadt », dans *Strasbourg, la formation d'une ville et ses représentations*, Lyon, 2013, p. 50-51.

35 Ce plan relief est conservé au Musée historique de la Ville de Strasbourg.

36 Hatt Th., 2006, « La fiabilité documentaire du plan relief de 1725 », *Cahiers alsaciens d'archéologie, d'art et d'histoire*, t XLVII, 2004, p. 139-149, <http://bit.ly/2004-fiabilite-1725>, vérifié en janvier 2014.

a t'il aucune exploitation - par des coupes au moins - de ces centaines de cotes d'altitude ?

5 Conclusion

Les deux plans de nivellement des fortifications de la ville de Strasbourg en 1774, « brouillon BNU » et « mise au net SHD », associés à l'ordre ministériel

sont complémentaires et s'enrichissent l'un l'autre. L'étude critique des 1678 cotes de ces deux plans permet d'affirmer l'homogénéité et la qualité du travail des ingénieurs militaires. Les modèles numériques en courbes de niveau et en visualisation 3D comparés au plan relief de 1725 apportent des informations inédites sur les relations entre la place et le relief environnant.

Bibliographie

Sources des plans étudiés

Atlas ms de 1774, du Service Historique de la Défense, désigné dans l'article par "mise au net SHD", Bibliothèque Vincennes-Terre, entresol pièce 23, atlas037, code-barre 4190.

Plan manuscrit de 1774, désigné dans l'article par "brouillon BNU", Bibliothèque universitaire de Strasbourg, cote MS.1.794- fol.18.

Copie de la lettre écrite par le duc d'Aiguillon le 7 mars 1774 : Archives de l'Inspection du Génie, Dépôt des fortifications, Art. 2, sect. 1, n°372; transcription dans Lacrocq, N., *Atlas des places fortes de France (1774-1788)*, Vincennes, 1981, p. V-VII

Ouvrages scientifiques et techniques issus des bibliothèques des ingénieurs du roi de la fin du XVIII^e siècle

La plupart de ces documents sont disponibles sur Gallica ou Google books, c'est précieux même si la qualité de reproduction est souvent médiocre (Google numérise les illustrations pliées ce qui les rend inutilisables). D'autres services disponibles publient des numérisations de qualité par exemple l'ETH-Bibliothek de Zürich.

Belidor Bernard de la Forêt de, 1716, rééditions de 1725-1729, *Nouveau cours de mathématique à l'usage de l'artillerie et du génie ...*, 650 p.

Belidor Bernard de la Forêt de, 1729, réédition de 1734, *La science des ingénieurs*, 533 p.

Belidor Bernard de la Forêt de, 1755, réédition de 1768, *Dictionnaire portatif de l'ingénieur*, 755 p.

Bion N. 1709, rééditions de 1716-1723 (trad. anglaise)-1725-1752, *Traité de la construction et des principaux usages des instruments de mathématique*, 417 p.

Bion N. 1716, rééditions de 1725-1729, *Nouveau cours de mathématique à l'usage de l'artillerie et du génie ...*, 560 p.

Bullet P., 1688, *Traité du nivellement*, 115 p.

Dupain de Montesson L. Ch., 1763, rééditions de 1775, 1804, *L'art de lever les plans de tout ce qui a rapport à la guerre...*, 316 p.

Dupain de Montesson L. Ch., 1766, rééditions de 1800, 1813, *La science de l'arpenteur dans toute son étendue*, 126 p.

Dupain de Montesson L. Ch., 1773, *Nouveau traité ou supplément théorique et pratique de la trigonométrie rectiligne*, 305 p.

1696, **L'ingénieur françois contenant la géométrie pratique...**, (rééditions des travaux de Vauban), 300 p.

Manesson Mallet A., 1691, *Les travaux de Mars ou l'art de la guerre*, 420 p.

La Hire P., 1692, rééditions de 1732-1780 (reprise par Picard), *L'école des arpenteurs*, 369 p.

Ozanam J., 1694, *Traité de fortification contenant les méthodes anciennes et modernes ...*, 378 p.

Etudes et articles

Augoyat C., 1862, *Aperçu historique sur les fortifications les ingénieurs et le corps du génie en France*, Paris, t II, 676 p.

Blanchard A., 1979, Les ingénieurs du «Roy» de Louis XV à Louis XVI, Montpellier, 635 p.

Dainville R. P., 1958, «De la profondeur à l'altitude, des origines marines de l'expression du relief terrestre par cotes et courbes de niveau», dans *Le Navire et l'économie maritime*, EPHE, VI^e section SEVPEN, Paris, p. 194-213.

Du Carla B., 1782, *Expression des nivellemens ou méthode nouvelle pour marquer rigoureusement sur les cartes terrestres & marines les hauteurs & les configurations du terrain*, 138 p.

Grabner F., 2006, «Le nivellement, une mesure pour l'action autour de 1800», *Histoire et Mesure XXI-2*, p. 29-54.

Hatt Th., 2002-2013, publications concernant le plan relief de Strasbourg en 1725 :

<http://bit.ly/Publication-Thierry-Hatt>; vérifié en février 2014.

Hatt Th., 2002-2013, exemples de publications concernant la construction d'un SIG sur Strasbourg :

<http://bit.ly/SIG-trois-etudes>; vérifié en février 2014.

Hatt Th., 2014, à propos de ce plan de 1774, d'autres figures qui ne sont pas publiées ici sont disponibles à l'adresse :

<http://bit.ly/Plans-de-nivellement-Strasbourg-1774>; vérifié en février 2014.

Lamandé P., 2009, «Les lignes de niveau à l'appui d'une nouvelle vision de la géographie physique», *CFC n° 199*, p.23-34.

Morizet M., 2008, «Les instruments de levé topographique à l'époque de Vauban, progrès et immobilisme», *CFC n° 195*, p. 7-14.

Warmoes I., 2008, «La rationalisation de la production cartographique à grande échelle au temps de Vauban», *CFC*, n° 195, p. 55-65.

Logiciel, données de base et référentiels géographiques

Les géoréférences et les modélisations ont été réalisés avec Surfer 12 de Golden Software.

Le cadastre de la communauté urbaine de Strasbourg est disponible, SIG à 9 couches, en licence ouverte depuis août 2013 (révisé en déc. 2013) à l'adresse : <http://bit.ly/SIG-Cadastre-CUS-2013> ; voir projetopendata@strasbourg.eu ; référentiel Lambert 93.

Les données brutes du modèle numérique de terrain lidar 2008 de la CUS sont fournies en référentiel.