

Rapport technique travail effectué pour le groupe MNT de *Paris Time Machine*

Mathieu Fernandez

Version 2 : 08 décembre 2019

Validé par Hélène Noizet le 20 février 2020

Propos liminaire, sources et compléments historiques.....	5
Sources et travail du groupe « MNT »	5
Les systèmes de nivellements dans les archives et dans la ville	6
Nivellement à l'échelle de Paris et du département de la Seine.....	6
Nivellement à l'échelle nationale	8
Repères de nivellement à Paris.....	9
Sur la complexité apparente des sources	11
Autres sources identifiées.....	11
Théodore Vacquer (1844-1899)	11
Projet de fortification de Paris (années 1830)	14
Nivellement général de la France (à partir de 1857)	15
Géoréférencements des sources	15
Géoréférencement de (Delesse, 1858).....	15
Géoréférencement de (Delesse, 1880).....	16
Géoréférencement de (Girard, 1805-1807)	21
Géoréférencement de (IGC, 1994)	21
Saisie des entités.....	21
Conversion des systèmes altimétriques.....	23
Liaison aux sources et création d'attributs	23
Système 1 : Girard (1805-1807) disposant de sa propre origine.....	23
Système 2 : nivellement de la Seine (env. 1842 – env. 1897) disposant de sa propre origine.....	24
Système 2-bis : adaptation du système 2 par Delesse (1858)	24
Système 3 : Bourladouë de 1860 à 1897 (en France hors travaux dépendant de l'administration de la Seine)	25
Système 4 : NGF-Lallemand (1897 à 1969 pour la France et de 1897 à aujourd'hui à Paris sous le nom de Nivellement de Paris)	26
Système 5 : NGF-69 (de 1969 à aujourd'hui pour la France).....	26
Attributs.....	26
Création des MNT	27
MNT de Paris dans l'enceinte des Fermiers Généraux au début du XIX ^e siècle : « MNT_GIRARD ».....	27
MNT du département de la Seine de la seconde moitié du XIX ^e siècle : « MNT_XIX_EME »	29

MNT du paléorelief de Paris : « MNT_PALEO »	31
Références	34
Annexes : éléments nécessaires à la production de fiches INSPIRE	37
Nom de la couche : Lignes_Delesse_1858.....	37
Source.....	37
Géoréférencement	37
Aperçu du géoréférencement	38
Saisie	38
Champs attributaires.....	38
Nom de la couche : Points_Delesse_1858	39
Source.....	39
Géoréférencement	39
Aperçu du géoréférencement	40
Saisie	40
Champs attributaires.....	40
Nom de la couche : Plan_eau_Delesse_1858.....	41
Source.....	41
Géoréférencement	41
Aperçu du géoréférencement	42
Saisie	42
Nom de la couche : Lignes_Delesse_1880.....	42
Source.....	42
Géoréférencement	43
Aperçu du géoréférencement	43
Saisie	44
Champs attributaires.....	44
Nom de la couche : Points_Delesse_1880	44
Source.....	44
Géoréférencement	45
Aperçu du géoréférencement	45
Saisie	46
Champs attributaires.....	46
Nom de la couche : Plan_eau_Delesse_1880.....	46

Source.....	46
Géoréférencement	47
Aperçu du géoréférencement	47
Saisie	48
Champs attributaires.....	48
Nom de la couche : Points_IGC_1994	48
Source.....	48
Géoréférencement	48
Aperçu du géoréférencement	49
Saisie	49
Champs attributaires.....	49
Nom de la couche : Lignes_Girard_1805-07	50
Source.....	50
Géoréférencement	50
Saisie	50
Champs attributaires.....	50
Nom de la couche : Points_Complets_Girard_1805-07.....	50
Source.....	50
Géoréférencement	50
Saisie	51
Champs attributaires.....	51
Nom de la couche : Plan_Eau_Girard_1805-07.....	51
Source.....	51
Géoréférencement	51
Saisie	51
Nom de la couche : Lignes_MNT_GIRARD.....	52
Aperçu de la couche	52
Nom de la couche : Lignes_MNT_XIX_EME.....	52
Aperçu de la couche	53
Nom de la couche : Lignes_MNT_PALEORELIEF.....	53
Aperçu de la couche	54

Propos liminaire, sources et compléments historiques

Sources et travail du groupe « MNT »

Le groupe « modèles numériques de terrain » constitué au sein du projet *Paris Time Machine* poursuit l'objectif de constituer des références exploitables géomatiquement concernant l'aspect tridimensionnel des cartes de Paris et du département de la Seine produites au XIX^e siècle.

Le relief dispose en effet d'une histoire bien spécifique au sein de celle de la cartographie. Son invention théorique est datable de la fin du XVIII^e siècle avec la ligne de niveau en tant que procédé graphique de restitution (Ducarla, 1782) ensuite théorisée mathématiquement par Lacroix (1804). La première expérimentation pratique d'ampleur date du tout début du XIX^e siècle avec une carte de Paris disposant de lignes de niveaux (Girard, Verniquet, 1810). Les cartes en relief ont la particularité d'être un savoir-faire maîtrisé par les corps d'ingénieurs des Ponts et Chaussées et des Mines jusqu'à la fin du siècle où le corps des ingénieurs géographes militaires entame la production de la carte d'État-Major avec des lignes de niveaux. Concernant de manière générale l'aménagement du territoire (routes, chemins de fers, canaux, carrières, décharges, travaux de renouvellement et d'extension urbaine, *etc.*), elles permettent de fournir un cadre spatial et historique 3D qui renouvelle les thématiques abordées jusque-là avec la seule carte bidimensionnelle : archéologie, hydrologie, géologie, pollution, métabolisme, *etc.* Le travail du groupe se propose de fournir une porte d'entrée vers l'environnement urbain historique, potentiellement exploitable dans une perspective diachronique.

En pratique, le groupe met en place un processus de traitement de données basé sur les systèmes d'information géographique qui soit adapté à ce type de cartes comprenant, sur la base de versions numérisées, le géoréférencement, l'estimation des marges d'erreurs des données, leur saisie, la conversion des systèmes altimétriques, la valorisation sous une forme comparable aux standards actuels (modèle numérique de terrain – MNT –) (Fernandez, 2018), la diffusion.

Quatre références ont été sélectionnées (Girard et Verniquet, 1810), (Delesse, 1858, 1880), (Inspection générale des carrières, 1994). Un échange opéré avec l'Atelier parisien d'urbanisme permet de disposer de la référence actuelle la plus précise qui est un MNT de résolution 1 m sur l'emprise de Paris. Les données en entrée ont permis de constituer trois MNT comme références historiques. Le relief au début XIX^e siècle sur l'emprise des Fermiers Généraux et le relief de la seconde moitié du XIX^e siècle sur l'emprise du département de la Seine sont issus de l'interpolation des données historiques mesurées par les corps d'ingénieurs à ces époques. Le paléorelief sur l'emprise de Paris est modélisé par l'interpolation des données de l'IGC qui sont des mesures contemporaines mais échelonnées dans le temps de

l'altimétrie du toit du substrat géologique mesurée au fil de divers sondages et travaux menés dans Paris.

Cette mise en cohérence en vue de leur diffusion élargie de diverses sources dans le cadre du groupe MNT du projet *Paris Time Machine* est à placer dans la continuité d'un travail débuté en 2011 (Fernandez, 2014). Le travail concernant la source (Girard et Verniquet, 1805-1807) s'est échelonné dans le cadre d'une thèse. Le travail concernant les sources (Delesse, 1880) et (IGC, 1994) a été réalisé dans le contexte d'un post doctorat sur le métabolisme urbain à l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée entre 2016 et 2018 (Fernandez, 2018). Le travail réalisé durant l'été 2019 a consisté à travailler sur la mise en cohérence du corpus : parfaire les géoréférencements, les saisies et les conversions altimétriques des sources (Girard et Verniquet, 1810) et (Delesse, 1880), à compléter le corpus par la saisie de la source (Delesse, 1858) et enfin à créer trois modèles numériques de terrain (MNT) de référence : paléorelief, début du XIX^e siècle pour l'emprise des Fermiers Généraux, seconde moitié du XIX^e siècle pour l'emprise du département de la Seine.

Les systèmes de nivellements dans les archives et dans la ville

Les systèmes de nivellements disposent d'une histoire développée au sein celle des techniques et des sciences. Sabine Barles y consacre une section en 1999 dans *La ville délétaire. Médecins et ingénieurs dans l'espace urbain : XVIII^e-XIX^e siècle*, remarquant qu'il s'agit d'un chapitre laissé de côté dans les sommes d'histoire des techniques antérieures. L'auteure explore notamment la dimension théorique d'un débat animant le milieu des ingénieurs en France entre 1840 et 1860 visant à pallier aux absences de système de nivellement unifié et d'un zéro altimétrique (Barles, 1999, p. 187-200). On saisit notamment la complexité de la question à résoudre à travers la temporalité de plus d'une décennie précédant une solution. On perçoit également qu'un avant et un après entourent une période de débats théoriques entre experts des Ponts et Chaussées et des Mines. Il nous paraît nécessaire ici d'élargir cette période dans l'objectif de relier de manière précise les systèmes théoriques aux sources historiques qui les matérialisent, pour *in fine* les rendre interopérables avec les références actuelles *via* l'interface SIG. En effet, si le débat historique des ingénieurs consistait à fournir un référentiel commun dans l'espace pour l'aménagement d'un territoire national, il consiste ici à en fournir un qui le soit dans le temps pour l'étude historique liée à leurs archives.

Nivellement à l'échelle de Paris et du département de la Seine

Le système originel : 1800-1830

Au début des années 1800, l'État *via* Napoléon est commanditaire d'un canal d'adduction d'eau pour Paris (Grabert, 2009). Des membres du corps des Ponts et Chaussées, avec Pierre-Simon Girard en tant qu'ingénieur en chef ayant notamment participé à l'expédition d'Égypte

ou Pierre Égault et d'autres jeunes ingénieurs, sont mobilisés à cette fin et chargés de la conception puis de la construction de l'ouvrage et de son exploitation. Girard rapporte alors, dans ses *Mémoires*, la nécessité d'un nivellement général de la ville comme première nécessité :

« La décision du 17 ventôse [9 mars 1805] portait que l'on s'occuperait sur le champ du projet général de la distribution des eaux de l'Ourcq dans Paris. Ce projet ne pouvait être solidement assis que sur une parfaite connaissance du relief des différens quartiers de cette ville, et de leur abaissement au-dessous du bassin de la Villette qui servirait de réservoir à ses eaux. Un nivellement général de Paris était indispensable pour faire connaître ce relief, mais cette opération devait se prolonger pendant plusieurs années ; on ne pouvait donc la commencer trop tôt. M. Égault reçut à ce sujet, le 1^{er} germinal [22 avril 1805], une instruction préliminaire de l'ingénieur en chef. » (Girard, 1831, p. 65)

Il résulte de cette initiative un système de nivellement perfectionné appliquant la ligne de niveau sur un espace urbain complet, c'est-à-dire le plus ancien qui soit répertorié sur un vaste espace. La source matérialisant ce travail prend la forme d'un atlas conservé à la bibliothèque historique de la Ville de Paris (Fernandez, 2014 ; 2018) et représentant « sur papier » le relief de Paris :

« Afin de présenter avec ordre et clarté les résultats de ce nivellement général, il fallait pouvoir en indiquer les cotes sur un plan de Paris de grandes dimensions. Celui qui est connu sous le nom de Verniquet, terminé en 1788, offrait cet avantage. On a porté aux intersections de toutes les rues les hauteurs correspondantes du sol ; et comme ces hauteurs diffèrent de quantités inégales, on a cherché entre deux intersections consécutives, en supposant la pente du terrain uniforme, un ou plusieurs points de la même rue, dont les hauteurs variaient d'une quantité constante que l'on a fixée à un mètre. Tous les points des diverses rues qui ont été trouvés à la même hauteur, ont ensuite été réunis par des lignes droites ; on a obtenu ainsi le tracé de plusieurs polygones qui représentent évidemment les intersections du sol par une suite de plans horizontaux élevés d'un mètre les uns au-dessus des autres. » (Girard, 1843, p. 104)

S'il s'agit d'un système nouveau, il a toutefois dans un premier temps uniquement desservi l'œuvre technique des ingénieurs et semble s'être peu répandu dans le reste des administrations gestionnaires de la ville. On peut donc considérer que cet outil a exclusivement servi à déployer le système d'adduction d'eau pour Paris sous la responsabilité principale de Girard, avec quelques péripéties administratives lors de la période suivant la fin de l'Empire, et ce jusqu'à son remplacement le 1^{er} janvier 1832. Son successeur Duleau étant emporté par l'épidémie de choléra, c'est Henri-Charles Emmery de Sept Fontaines qui devient le directeur durable du service des eaux de Paris à partir de 1832.

La connexion avec la mer

Le préfet de la Seine nomme le 21 janvier 1839 une commission dont l'objet est de relier l'origine du nivellement de Paris au niveau moyen de la mer. La méthode de calcul est complexe, et même qualifiée d'aberrante par Barles d'après une lettre des années 1850 résumant les opérations¹, du fait qu'elle fasse des moyennes entre des valeurs contradictoires issues de différentes mesures. Des résultats sont fournis en 1842 et seront tout de même

¹ Lettre de Michal au sous-secrétaire d'état du ministère des travaux publics (dépôt des cartes et plans), 185., Archives Nationales, F¹⁴ 4562.

validés par l'administration de la Seine. Le zéro à partir duquel seront désormais calculées les valeurs du nivellement parisien est alors fixé à 101,49 m en dessous du plan imaginaire de Girard, lui-même situé 50 m au-dessus d'un repère incrusté dans le « socle d'une colonne dans le mur de clôture de Paris à la barrière de Pantin, à gauche en entrant dans Paris » (Girard, Verniquet 1810, s.p.). La **figure 1** est une estampe de Palaiseau représentant la porte de Pantin en 1819. Dans ses *Mémoires*, Girard précise la raison de ce choix : car le repère, « élevé de 25 mètres 75 centimètres au-dessus des basses eaux de la Seine » représentait également la « hauteur à laquelle devaient être soutenues les eaux du grand réservoir dont l'emplacement avait été fixé près de cette barrière » (Girard, 1831, p. 23).



Figure 1 : estampe de Palaiseau représentant la barrière de Pantin en 1819

Crédit : BNF (<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b10302425r>)

Nivellement à l'échelle nationale

Le système originel

Jusqu'en 1860, les principaux systèmes de nivellements sont réalisés sous la responsabilité et certainement à l'initiative des ingénieurs en chef des Ponts et Chaussées gérant les grands bassins versants fluviaux. C'est une décision ministérielle le 13 janvier 1860, fixant un point d'origine national pour le nivellement, qui met un terme à une dizaine d'années « d'errements » selon Barles dans la volonté d'unification pour le territoire français. L'état précédent, morcelé, peut être bien saisi lorsque le secrétaire d'État du ministère des travaux publics crée dans les années 1840 un service des cartes et plans chargé de réunir les plans de nivellement des cours d'eau ou de lancer leur réalisation. Dans ce contexte, une demande est faite en 1846 aux divers ingénieurs responsables de ces bassins de navigation de rattacher leurs nivellements respectifs au niveau de la mer. Les archives de leurs réponses montrent que chaque bassin versant avait conçu son propre point de référence : un niveau de la mer spécialement mesuré pour le Rhin ; 10,55 m au-dessus de la confluence avec la Marne pour le Rhône ; 4,5 m en dessous de la tablette de l'écluse de Calais pour le fleuve Aa ; 139,732 m

au-dessus du niveau moyen de la mer pour la Garonne ; impossibilité pour la Loire². De plus, comme nous l'avons vu précédemment, Paris avait également développé sa propre réponse vers 1842 à l'instar de ces autres régions.

Nivellements postérieurs : Bourladouë, Lallemand, IGN-69

Par la décision ministérielle dans le contexte du travail confié en 1857 à Paul-Adrien Bourladouë de mener à bien un nivellement général de la France, le système Bourladouë fixe donc en 1860 les mesures altimétriques nationales autour du « niveau moyen de la méditerranée » représenté par « le trait 0,40 m de l'échelle de marée du Fort Saint-Jean à Marseille » (Barles, 1999, p. 198).

En 1897, un nouveau système, dit orthométrique, entre en vigueur pour la France :

« Il sera en effet remplacé en 1897 à l'occasion de la réalisation du nouveau nivellement général de la France (NGF-Lallemand, du nom de l'ingénieur en chef des Mines responsable de l'opération à partir de 1884), ce zéro normal, toujours en vigueur, correspond à la cote 0,329 de l'échelle du Fort Saint-Jean. L'altitude a d'ailleurs continué à changer. La différence entre les niveaux Bourladouë et Lallemand ne réside pas dans ce seul choix de zéro ; Bourladouë n'ayant appuyé aucune correction orthométrique ou dynamique pour tenir compte du défaut de parallélisme des surfaces de niveau terrestre, la différence entre les cotes Lallemand et Bourladouë varie sur le territoire national de 7,1 cm à Marseille à 1,10 m à l'extrémité ouest de la Bretagne. À Paris, la différence est de 62 cm environ, à ajouter aux altitudes Bourladouë pour obtenir les cotes Lallemand » (*id.*, d'après J. Vignal, Nivellement de précision, Paris, 1948, p. 252-255)

Le système orthométrique Lallemand de 1897 est remplacé en 1969 par le réseau IGN-69 qui utilise les valeurs de la pesanteur réelle et non théorique, créant la notion d'altitude normale (*id.*, p. 199). Il convient par ailleurs de retenir que le dernier réseau de repères mis en place à Paris depuis 1978 reste basé sur le système orthométrique, c'est-à-dire Lallemand, afin de pouvoir les comparer avec les systèmes antérieurs (*id.*, p. 200). Cette information est corrélée par les informations d'urbanisme et maintient donc une spécificité parisienne³.

Repères de nivellement à Paris

La campagne de nivellement de Girard et Égault semble n'avoir laissé que des traces de papier. Les 559 points de repères nécessaires aux opérations de nivellement sont décrits avec minutie au début de l'atlas, ce qui induit probablement une absence de matérialisation spécifique dans la ville. Le point n°5 est par exemple décrit ainsi : « Rue St Maur, sur le haut d'une petite borne au coin d'une maison sur laquelle il est écrit carrosses de place ». Le premier point, celui de référence, le « premier repère à La Villette », fait toutefois exception

² Archives Nationales, F¹⁴ 4562 (Nivellement de la France, 1823-1882) cité dans (Barles, 1999, p. 194)

³ « Nivellement orthométrique (N.O.) Le Nivellement orthométrique (ou nivellement Lallemand), noté N.O., est le système dans lequel sont exprimés les repères de nivellement à Paris. Il diffère du Nivellement général de la France (NGF 69) par les paramètres pris en compte (niveau de la mer pris pour référence, champ de pesanteur utilisé pour le calcul). À Paris, le NGF-69 est plus haut que le Nivellement orthométrique de 33 cm. » URL : <https://teleservices.paris.fr/ru/jsp/site/plugins/ru/lexique.html>

notable car il semble avoir fait l'objet d'une commémoration soignée et bien visible le 23 septembre 1802 lors de sa pose :

« En conséquence, le ministre de l'intérieur, le directeur général des ponts et-chaussées, le préfet de la Seine auquel l'administration générale des travaux était exclusivement confiée dans toute l'étendue du territoire où ils seraient exécutés, le préfet de police, la plupart des fonctionnaires municipaux de la ville de Paris, tous les ingénieurs du département et un assez grand nombre d'autres, s'étant réunis en cortège, se rendirent, le 1^{er} vendémiaire de l'an XI (23 septembre 1802), à la barrière de la Villette ; il y fut posé, en leur présence, un repère élevé de 25 mètres 75 centimètres au-dessus des basses eaux de la Seine, hauteur à laquelle devaient être soutenues les eaux du grand réservoir dont l'emplacement avait été fixé près de cette barrière. » (Girard, 1831, p. 23)

Si cet exemple de repère matériel semble unique lors de la phase de conception du système de nivellement originel, on trouve en revanche la trace de d'une véritable campagne d'installation pour de nombreux repères physiques vers 1835-1836 dans le *Rapport sur l'administration générale de la Ville de Paris* :

« Une opération importante et commencée depuis plusieurs années, la pose et la fixation de la hauteur des repères de nivellement dans les rues, a été poussée avec activité en 1835, et se trouve à peu près terminée. Le préfet se propose d'en publier les résultats et de les donner pour base à toutes les opérations de nivellement, soit pour la fixation de la pente des rues, des ruisseaux et des égouts, soit pour l'établissement des seuils de constructions privées. La hauteur de ces repères, qui sont fixés par des plaques en fonte aux armes de la ville, est rapportée à un plan horizontal fixe qui passerait à 50 mètres au-dessus du niveau légal des eaux du bassin de la Villette. » (Rambuteau, 1837, p. 37)

Cette campagne est confirmée et précisée dans le *Compte-rendu de l'administration du département de la Seine et de la Ville de Paris pendant l'année 1836* :

« Une opération plus générale, à laquelle se rattache celle que nous venons d'indiquer, a été terminée en 1836 : il s'agit du nivellement de 500 repères aux armes de la Ville, fixés dans Paris sur les monuments ou autres constructions d'un caractère durable. Le nivellement de ces repères vient d'être achevé et vérifié par des opérations qui se servent mutuellement de contrôle et qui attestent l'exactitude des résultats. » (Rambuteau, 1836, p. 123)

Enfin on retrouve la trace de l'installation de repères physiques lorsque le préfet Haussmann signe un arrêté le 31 mai 1856 qui stipule :

« [Qu']à l'avenir, les nivellements pour tous les travaux publics et privés dépendant de la Préfecture de la Seine seront rapportés au niveau moyen de la mer ; en conséquence, les cotes de nivellement exprimeront la distance en ordonnée de chaque point considéré à ce niveau pris pour zéro.

La vérification de ces cotes sera rapportée à des repères en fonte, aux armes de la Ville placés aux carrefours, aux angles des rues, sur les soubassements des monuments, sur les murs des quais et sur les autres points jugés nécessaires » (Barles, 1999, p. 197)

Des repères sont posés dans Paris en système Lallemand après 1897 - sans qu'on n'en connaisse toutefois la date exacte. C'est pour ne pas avoir à les remplacer que ce même système Lallemand perdure à Paris dans les années 1970 (Barles, 1999, p. 200). Les **figures 2 a, b, c** représentent certains de ces repères subsistant dans Paris.



Figures 2 a, b, c : repères de nivellement de diverses époques observables dans Paris

Crédits : sites internet consultés suite à la requête « repère de nivellement Paris »

Sur la complexité apparente des sources

En résumé, les principales initiatives engendrant l'état de complexité pour la compréhension des sources ont été les suivantes. D'abord, un système précurseur et cohérent à l'échelle de la ville est inventé en 1805-07 lors de la construction du canal de l'Ourcq. Puis, le département de la Seine désire relier ce système au niveau de la mer entre 1839 et 1842. Un niveau de référence est entériné en ce sens vers 1842 suite à la remise des résultats d'une commission scientifique. Le 31 mai 1856, le préfet de la Seine signe un arrêté conservant la légitimité de ce système pour « tous les travaux publics et privés dépendant de la Préfecture de la Seine », induisant une cohabitation après 1860 avec le système Bourladoué qui est institué pour le reste de la France pour les autres travaux. Ce système, spécifique et lié à l'administration de la Seine, semble avoir été maintenu dans les repères et les productions cartographiques au moins jusqu'en 1897 – ou après – avec l'instauration du système Lallemand. Enfin, lorsqu'en 1969 le réseau IGN 69 crée un nouveau système national, Paris persiste dans l'utilisation du système Lallemand pour ses repères de voirie, ce qui crée une différence de 33 cm entre le système français norme actuel et les repères de nivellement parisiens.

Autres sources identifiées

Théodore Vacquer (1844-1899)

La lecture attentive des manuscrits de Théodore Vacquer conservés dans les manuscrits de la Bibliothèque Historique de la Ville de Paris et récemment numérisés par le service d'archéologie de Paris (DHAAP) semble fournir des informations sur la méthode de travail de ce dernier entre ses plus anciens relevés datant de 1844 et sa mort en 1899. Vacquer est un pionnier de l'archéologie urbaine liée à l'exploration des chantiers urbains. Ses carnets fourmillent dans leur grande majorité de cotes altimétriques qui ont donc forcément une place essentielle dans ses recherches. Au compte des résultats principaux de celles-ci, on peut très

certainement compter la publication tardive en 1896 (Noizet, 2011) d'une « carte du sol naturel de Paris » paraissant aux yeux du grand public à travers la publication d'un collègue :

« À notre demande, M. Vacquer, sous-conservateur du musée Carnavalet, qui depuis quarante ans suit avec la plus grande attention les travaux effectués à Paris, a bien voulu dresser les courbes de niveau du sol naturel dans la partie comprise entre la Seine et le pied des hauteurs de Chaillot, de Montmartre, de Belleville et de Charonne. C'est le résultat de nombreuses observations faites soigneusement, consignées dans des carnets, et dont nous avons pu, comme on le verra plus loin, constater toute la précision. » (Villain, 1896, p. 2)

Il résulte de la citation précédente deux conséquences.

En premier lieu, la compréhension précise des cotes des manuscrits Vacquer peut permettre la compréhension exacte des relevés réalisés au XIX^e siècle lors des grands travaux de Paris et leur traduction dans les systèmes d'information géographique contemporains (SIG). Les nombreux plans, croquis et notes disposant de cotations altimétriques peuvent ainsi trouver leur position tridimensionnelle dans une base de données spatiale et historique.

En second lieu, elle peut permettre de faire l'hypothèse d'un lien fort entre les repères de nivellements précédemment décrits lors de leur installation dans Paris et les recherches de Vacquer concernant la connaissance du sol naturel de la ville. On trouve dans le manuscrit intitulé « Relief du sol. Bièvre. Rû de Ménilmontant »⁴ trois pages dont la première est intitulée « Nivellement général. Levé de ces repères à raison de 12 à l'heure soit 1 par 5 minutes » (p. 70) et disposées en trois colonnes (**figure 3**). La première de celles-ci fournit la description du repère, par exemple pour le premier, « Rues St-Jacques et Soufflot, angle N. E., sur le trottoir près des maisons. » Une seconde colonne donne une première cote et une troisième s'intitule « niveau de la mer » et fournit une seconde cote. Ces deux colonnes vérifient l'opération vérifiée par nous-même (seconde colonne - 101,49 = première colonne), ce qui induit avec certitude qu'une partie des cotes des manuscrits est notée dans le système de nivellement institué par Girard et qu'une autre partie l'est dans le système de nivellement propre au département de la Seine postérieurement à 1842. Par ailleurs, les cotes « niveau de la mer » sont parfois modifiées dans les manuscrits avec une encre différente avec la mention « mer ancienne altitude » et « mer nouvelle altitude » (*id.*, p. 70 ; p. 224). Une différence de 35 mm semble être à ajouter aux cotes « mer ancienne » pour obtenir des cotes « mer nouvelle » sans que nous n'ayons pu la rattacher aux évolutions des systèmes de nivellements contemporains à Vacquer.

⁴ BHVP, Ms 223

NIVELLEMENT GENERAL.		70	63
L'un de ces repères a raison de 12 à 1 heure ou 4 par 5 minutes.			
Rues R. Jacques et Buffelot, angle NE, sur le trottoir près du mur. Niv. 13		58.995	
Rue de Saint, vis-à-vis St. Pierre, sur le trottoir au nord de l'édifice. 13.28		58.245	
Grille du Théâtre, à l'ouest du parterre vis-à-vis l'arc de l'opéra.			
Voie, sur le trottoir et au long de la grille.	44.07	57.475	
Fontaine, grille angle NE, côté de l'arc de l'opéra.	44.09	57.485	
Place de l'Église.	40.84	60.685	
Id.	40.32	61.225	
Place de l'Église, angle NO l'arc de l'opéra, côté de la place.	43.03	58.495	
Fontaine, angle NE. l'arc de l'opéra.	41.51	57.215	
Fontaine des Rues Montmartre et Châteaubert, (fontaine de la Vierge).	64.29	57.275	
Place de l'Église, angle S.O. l'arc de l'opéra.	41.50	60.185	
Rues de l'Église, vis-à-vis celle des Belandiers.	42.77	58.775	
Rue de l'Église, vis-à-vis celle du Pont qui parle.	43.00	57.25	
Rues de l'Église, vis-à-vis celle du Pont de l'Église.	44.27	57.275	
(L'intersection première de la R. de l'Église.)			
à l'angle de la rue de l'Église, commune de la rue de l'Église.			
Place de l'Église, vis-à-vis l'arc de l'opéra et du côté de l'Église.	47.33	54.195	
Fontaine de l'Église, commune de la rue de l'Église.			
Rues de l'Église, à env. 12.00 au-dessus du passage des Belandiers.	52.13	49.395	
(L'intersection de la rue de l'Église.)			
Fontaine, vis-à-vis l'arc de l'opéra, angle S. de l'Église.			
Rue de l'Église, vis-à-vis celle des Belandiers.	59.35	42.165	
Rue de l'Église, angle S. Montmartre.	62.35		
Rue de l'Église, angle S. Montmartre.	64.45		
Rue de l'Église, côté E, vis-à-vis St. Pierre et St. Louis.	67.08		
Fontaine, l'Église.	67.48		
(L'intersection de la rue de l'Église.)			
Rue de l'Église, vis-à-vis l'arc de l'opéra.	61.91		
Rue de l'Église, côté droit de la Seine.	66.80		
Rue de l'Église, côté droit. L'arc de l'opéra.	68.28		
(L'intersection de la rue de l'Église.)			
Rue de l'Église, vis-à-vis l'arc de l'opéra.	69.23		
(L'intersection de la rue de l'Église.)			
Rue de l'Église, vis-à-vis l'arc de l'opéra.	67.18		
(L'intersection de la rue de l'Église.)			

Figure 3 : extrait d'un manuscrit Vacquer (BHVP, Ms 223, fol. 70)

Crédits : BHVP (conservation), DHAAP (photographie)

L'hypothèse la plus plausible est donc que Vacquer se soit basé sur les repères de nivellement installés dans la ville par la préfecture de la Seine et disposant des systèmes de nivellement « au-dessus du niveau moyen de la mer », « au-dessus de l'étiage au pont de la Tournelle » et « Nivellement de Paris » (**figure 2 b**) (relevés de visu), pour disposer de cotes exactes dans les chantiers urbains explorés dans une perspective archéologique. La principale plus-value d'un repère commun à tous les chantiers observés est la mise en relation de la totalité des observations, ce qui a été possible pour Vacquer lors la publication de sa « carte du sol naturel ». La plausibilité de l'hypothèse est à relier à l'observation de la **figure 2** où les repères les plus complets fournissent à la fois le système nivellement de Paris, l'altitude par rapport au Pont de la Tournelle et l'altitude par rapport au niveau de la mer.

Une question restant en suspens reste la datation de l'accès à cette information par Vacquer et donc de la date exacte d'installation de ces repères. Les manuscrits étant très rarement datés et, lorsqu'ils le sont, pouvant avoir été réagencés postérieurement, il convient ici d'être

prudent. Par exemple, une note datée du 27 mai 1844 dans la rue Rambuteau stipule « dernière maison du côté nord, vers les Halles de cette époque (Halle au poisson), nappe d'eau à env. 30,20 m. d'altitude » (*id.*, p. 165 et p. 192). Cette note semblerait induire que Vacquer ait eu accès à une information altimétrique dès 1844, mais la même note parle aussi « de cette époque » en parlant des Halles et pourrait donc avoir été réécrite postérieurement à la rénovation des Halles par Haussmann et Baltard.

Nous pouvons donc retenir avec certitude que Vacquer a disposé durant la seconde moitié du XIX^e siècle d'une information altimétrique dans la totalité de ville, lui permettant de relier toutes ses observations à une origine identique *via* les repères de nivellement et rendant possible la production de la « carte du sol naturel de Paris » lors de ses dernières années de travail.

Projet de fortification de Paris (années 1830)

Le projet militaire d'enceinte pour Paris semble avoir engendré la production d'un plan de la zone des communes périphériques avec des lignes de niveau à l'échelle 1/1000^e dans les années 1830 (Barles, 1999, p. 141). L'accès à la source de ce relevé, conservée aux « Archives du génie dans la section travaux de défense », permettrait l'accès à l'information tridimensionnelle de grande précision pour la zone de l'extension de Paris. Un plan remarquable au 1/3333^e de la commune de Montmartre produit en 1843 et disposant très précocement de lignes de niveau y a possiblement puisé son information⁵. La **figure 4** reproduit une partie de ce plan.



⁵Bibliothèque nationale de France, département Cartes et plans, GE C-7369, URL : <https://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb40753834z>

Figure 4 : extrait du *Plan de la commune de Montmartre* de 1843 disposant de lignes de niveau

Crédit : BNF

Nivellement général de la France (à partir de 1857)

Selon Barles, le nivellement général de la France débute en 1857 sous la responsabilité de Paul-Adrien Bourladouë qui a notamment réalisé le nivellement du canal de Suez dans les années 1840. Le nivellement national fait suite à son initiative et démonstration pour le département du Cher dont il est élu et dont il fait réaliser le nivellement complet en 1854. Pour ce seul département, l'importance du travail est ainsi décrite : « ce travail, qui a exigé 6 années d'études, plus de 10 000 journées d'opérateurs, de dessinateurs, de lecteurs, de portemires, et de manœuvres, se compose de 125 volumes-minutes, desquels on a extrait 80 000 points d'altitudes portés sur le présent atlas et 4 volumes de textes et tables, le tout tiré à 300 exemplaires. »⁶ L'accès aux archives de ce travail, ensuite généralisé à toute la France, permettrait d'accéder à la première information altimétrique pour d'autres territoires que les territoires urbains dont nous avons vu qu'ils tendaient à se distinguer dans la précocité de l'obtention de cette information géographique.

Géoréférencements des sources

Il convient de géoréférencer chacune des sources retenues pour la présente étude de manière à minimiser les distorsions par rapport aux sources contemporaines. Sur l'emprise de Paris et de la petite couronne, la référence contemporaine est celle de l'Atelier parisien d'urbanisme (APUR), elle-même issue de la saisie au format SIG des plans cadastraux de référence. Chaque source doit être géoréférencée en fonction des modalités de sa production : il convient donc d'adapter la stratégie de géoréférencement pour chacune.

Géoréférencement de (Delesse, 1858)

Le géoréférencement est opéré sur la base de la correspondance des angles d'îlots et les carrefours viaires repérés entre la couche bâti de l'APUR et la source (Delesse, 1858), dont l'échelle au 1/6666^e permet cette mise en correspondance pour un nombre important de points présentés dans le **tableau 1**. Le **tableau 2** confirme le degré de précision de cette source lors

⁶ Cité dans (Barles, 1999, p. 197), d'après P. A. Bourladouë, Nivellement général du département du Cher, Bourges, 1854, feuille 1 de l'atlas (1/40 000, 22 feuilles. Archives nationales, F¹⁴ 10355 (Cartes de nivellement, XIX^e siècle)

de transformations de géoréférencement projectives, avec une erreur quadratique moyenne (RMS) de moins de 5 mètres.



Tableau 1 : aperçu des 328 points de contrôle placés sur (Delesse, 1858)

Nom du raster	Nombre de points de contrôle	Type de transformation géométrique	Erreur RMS (pixels)	Taille du pixel	Erreur RMS (mètres)
EST_GEOREF	150	Projective	8,09	0,5684 m	4,60 m
OUEST_GEOREF	178	Projective	7,57	0,5698 m	4,31 m

Tableau 2 : bilan des erreurs RMS

Géoréférencement de (Delesse, 1880)

Cette source dispose d'un canevas dessiné par les cartographes de l'époque. Les données sont issues de mises à jour par les équipes de Delesse en partant de la base de Letellier qui est en 1852 la première tentative de cartographie à cette échelle disposant de lignes de niveau. Le cartouche de Delesse montre la complexité de l'agglomération des données, à la fois planimétriques et altimétriques, et permet de relier avec certitude le travail de 1880 à une première tentative publiée en 1862 de « carte hydrologique » pour laquelle « les courbes horizontales » avaient été tracées « par M. Letellier » (Delesse, 1880). De plus le cartouche de

de 1862 indique que « la carte hydrologique du département de la Seine a été exécutée sur la carte à l'échelle 1/25 000^{me} dressée sous la direction de M. l'Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées » (Delesse, 1862). La source planimétrique dont dispose Delesse est donc celle du service des Ponts et Chaussées. Nous partons ici de l'hypothèse, restant à démontrer formellement, que le service des Ponts et Chaussées se base pour sa production cartographique sur celles du corps des ingénieurs géographes militaires qui produit la carte dite d'État-Major.

Deux stratégies de géoréférencement sont mises en œuvre pour cette source. La première consiste à se servir du canevas pour respecter exactement les informations géographiques contenues dans la source. La seconde consiste à opérer des points de correspondances avec la topographie actuelle en se basant sur les intersections de rues et des routes. Nous nous inspirons des méthodes mises en œuvre par des recherches récentes concernant le géoréférencement de sources historiques (Duménieu, 2015 ; Lallemant et Touzet, 2016).

La méthode du canevas consiste à créer une grille identique à celle lisible sur la carte dans l'espace projectif utilisé par les cartographes de l'époque. Au XIX^e siècle, en dehors de l'espace urbain, la référence étant produite par le corps des ingénieurs géographes militaires pour la carte dite d'État-Major. Notre hypothèse nous amène donc à estimer que la source (DELESSE, 1880) est réalisée en suivant la projection historique dite de Bonne État-Major. Un géoréférencement a par conséquent été réalisé en suivant cette méthode.

A Géoréférencement dans un système de projection « Bonne État-Major »

Le canevas de (Delesse, 1880) est celui de l'État-Major conçu dans la projection de Bonne État-Major (celle du dépôt de la Guerre à partir de 1818)⁷. Une grille est constituée dans ce système projectif, centrée sur l'observatoire (d'après les coordonnées de l'observatoire exactes disponibles sur le site de l'IGN), et de côté 1 km (**figure 5**).

⁷ Codage de la projection sous le format « proj4 » d'après (Lallemant et Touzet, 2016, p. 151) : « +proj=bonne +lat_1=45 +lon_0=2.33722917 +x_0=0 +y_0=0 +ellps=plessis +towgs84=1127,22,57,0,0,0,0 +no_defs »

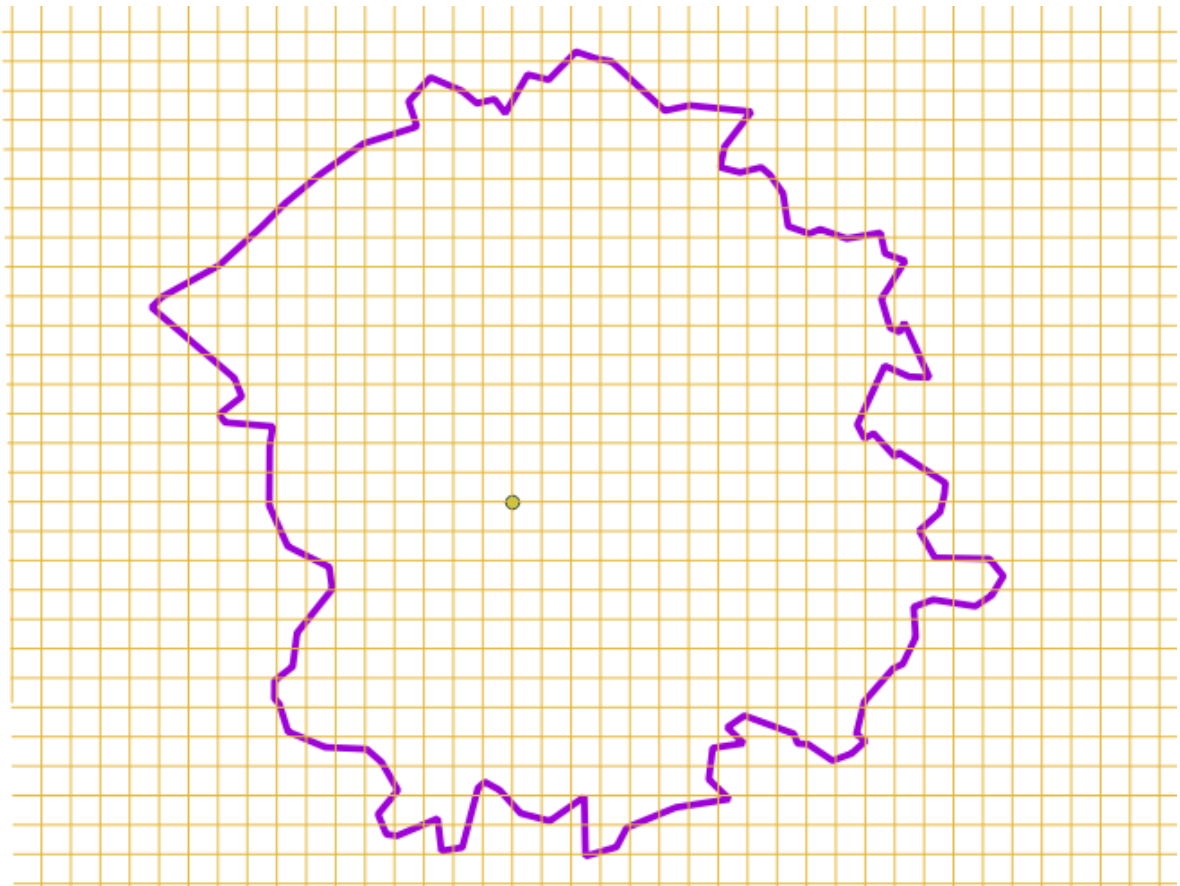


Figure 5 : création du canevas en vue de géoréférencer (Delesse, 1880)

Le canevas de (Delesse, 1880) est ensuite géoréférencé sur cette grille dans un espace projectif EPSG 2154 selon une transformation projective (**figure 6**).

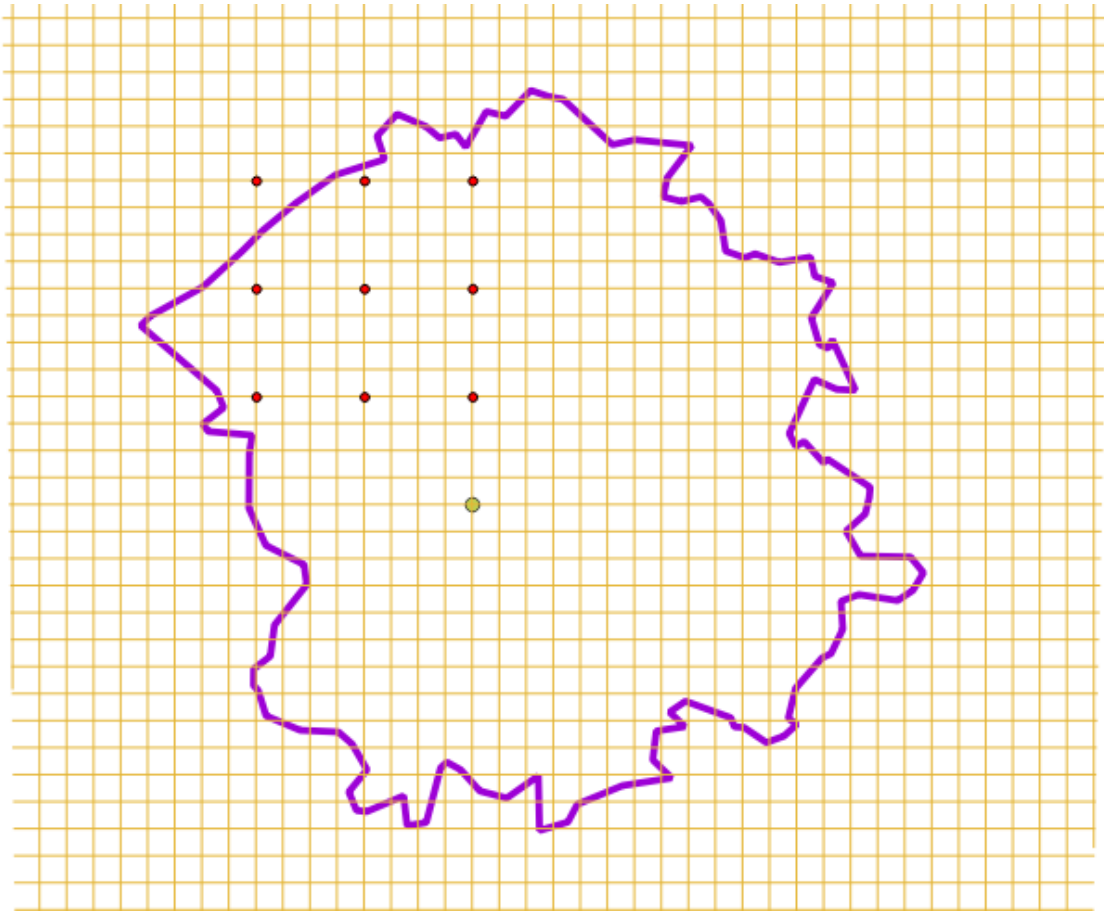


Figure 6 : géoréférencement d'une section de (Delesse, 1880)

B Géoréférencement par points de contrôles

Cette méthode consiste à assurer la correspondance la plus exacte possible entre les carrefours routiers (**tableaux 3 et 4**).

Nom du raster	Nombre de points de contrôle	Type de transformation géométrique	Erreur RMS (pixels)	Taille du pixel (mètres)	Erreur RMS (mètres)
NORD_EST	455	Projective	11,21	2,143	24,0
NORD_OUEST	490	Projective	10,94	2,139	23,4
SUD_EST	471	Projective	14,15	2,142	30,3
SUD_OUEST	608	Projective	12,82	2,140	27,4

Tableau 3 : bilan des erreurs RMS calculées avec la méthode des points de contrôles



Tableau 4 : aperçu des 2024 points de contrôles placés sur (Delesse, 1880)

Il devient alors possible de mesurer la différence entre la première méthode de géoréférencement et la seconde en mesurant la distance existant entre le canevas cartographique projeté sur le canevas théorique exact et celui issu des points de contrôles basés sur les objets topographiques réels. Cette différence séparant les canevas théorique et réel est toujours de 25 mètres ou moins (mesure manuelle sur l'interface). Elle confirme la cohérence de la valeur moyenne d'environ 25 mètres obtenue grâce aux très nombreux points de contrôles placés dans le géoréférencement par points de contrôles.

Au final, le géoréférencement par points de contrôles est retenu en vue de la saisie pour deux raisons :

- il permet de tendre vers la minimisation d'éventuelles erreurs cartographique originelles en rapprochant la carte vers les 2024 points de contrôles avec la transformation projective ;
- cette correspondance la plus proche possible avec l'espace planimétrique actuel est privilégiée car les ingénieurs ont reporté sur la carte des relevés altimétriques de terrain par correspondance des objets topographiques (les carrefours, routes, *etc.*). La correspondance optimisée de ces objets topographiques avec les objets actuels permet

donc *in fine* d'améliorer l'information altimétrique bien que la marge d'erreur moyenne soit retenue comme égale à 25 mètres.

Les opérations précédentes permettent de considérer que l'information géographique contenue dans la carte de (Delesse, 1880) contient une marge d'erreur de 25 mètres dans sa planimétrie.

Géoréférencement de (Girard, 1805-1807)

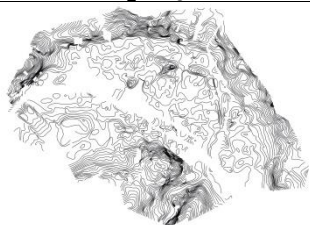
Girard et ses équipes se basent sur le plan Verniquet pour reporter les informations altimétriques recueillies. Par conséquent, le géoréférencement est réalisé sur la source la plus documentée du plan de Verniquet géoréférencé. Un état de l'art des précédentes recherches nous amène à choisir le plan issu du calage opéré par Bertrand Duménieu sur la base d'une analyse des opérations déployées lors du levé du plan et des marges d'erreurs calculées pour chaque carré du canevas (Duménieu, 2015, p. 147-174). Il peut donc permettre de disposer finement des marges d'erreurs planimétriques et servir *in fine* à estimer les marges d'erreurs altimétriques. Ce plan est librement disponible par un flux WMS au sein du serveur dédié au projet de recherche *Geohistoricaldata*⁸.

Géoréférencement de (IGC, 1994)

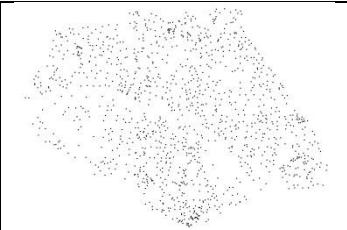
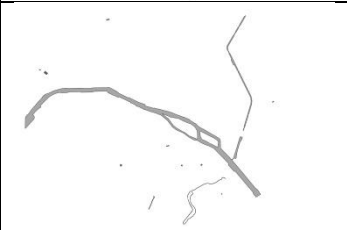
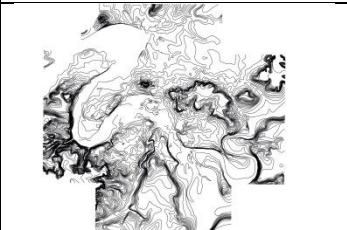
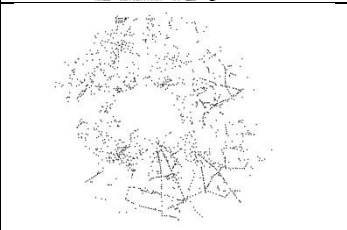
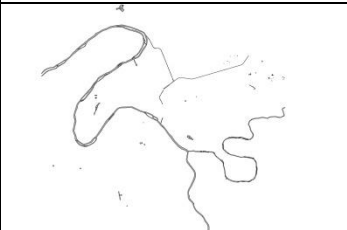
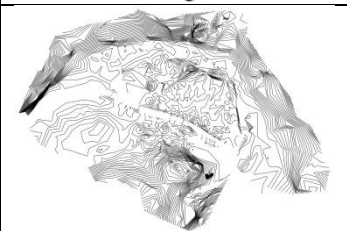
Le géoréférencement des planches est réalisé sur la base de la couche bâti de l'APUR car l'information d'origine concernant la planimétrie est considérée comme identique.

Saisie des entités

Sur cette base, la plupart des informations altimétriques des quatre sources sont saisies et présentées dans le **tableau 5**.

Nom de la couche	Nombre d'entités saisies	Aperçu
LIGNES_DELESSE_1858	37 898 points (sommets constituant les lignes)	

⁸ Adresse du flux WMS ouvert permettant l'accès au serveur de stockage de cette source (consulté le 8 décembre 2019) : <http://134.158.33.227/geoserver/wms>

POINTS_DELESSE_1858	1 272 points	
PLAN_EAU_DELESSE_1858	1 430 points (sommets constituant les sommets de 38 polygones)	
LIGNES_DELESSE_1880	80 490 points (sommets constituant les lignes)	
POINTS_DELESSE_1880	1 459 points	
PLAN_EAU_DELESSE_1880	7 106 points (sommets constituant 151 polygones)	
POINTS_IGC_1994	7 643 points	
POINTS_COMPLETS_GIRARD_1805-07	8 870 points	
LIGNES_GIRARD_1805-07	520 lignes brisées	

PLAN_EAU_GIRARD_1805-07	13 polygones	
Total	Env. 146 000 points	

Tableau 5 : nombre des entités constituant les couches de saisie et aperçus de ces couches

Conversion des systèmes altimétriques

Il convient ici de comprendre quels systèmes de mesures altimétriques ont été employés à Paris et dans le département de la Seine afin de comprendre précisément lesquels ont été utilisés dans les sources sélectionnées.

Liaison aux sources et création d'attributs

Nous simplifions volontairement les éléments historiques précédemment ébauchés en 6 systèmes ayant engendré des sources ou été en vigueur en France ou dans le département de la Seine. Il sera possible sur cette base de transformer systématiquement les informations altimétriques historiques en système actuel.

Système 1 : Girard (1805-1807) disposant de sa propre origine

Le point de référence d'origine du nivellement est le point numéro 1 des 559 points de contrôles (Girard et Verniquet, 1810). Il est coté à 50,000 mètres et situé sur le « socle d'une colonne dans le mur de clôture de Paris à la barrière de Pantin, à gauche en entrant dans Paris » (Girard et Verniquet, 1810). Ce point est assimilé par Pierre-Simon Girard au plan d'eau projeté du bassin de la Villette élevé d'un mètre cinquante au-dessus du fond du bassin. Le plan d'origine pour les mesures de nivellement est un plan imaginaire situé 50 mètres au-dessus de ce point de référence ».

Dans ce système de nivellement, le zéro du Pont de la Tournelle est mesuré à 75,239 en 1805-1807 et permet d'opérer précisément la conversion entre ce système et les suivants (Fernandez, 2018).

Nommé A

Source exprimée dans ce système : (Girard et Verniquet, 1810), (Vacquer, 1844-1899)

Système 2 : nivellement de la Seine (env. 1842 – env. 1897) disposant de sa propre origine

Ce nivellement est issu de la décision préfectorale postérieure aux résultats rendus par une commission scientifique en 1842 consistant à fixer le point d'origine du nivellement de Paris et du département de la Seine à la moyenne de plusieurs nivellements réalisés entre Paris et Le Havre : le « niveau moyen de la mer moyenne » (Barles, 1999, p. 193). Dans ce système, le zéro du pont de la Tournelle est fixé à 26,25 mètres d'altitude.

Le cartouche de la carte de (Letellier, 1852) confirme ces éléments par le calcul en précisant que « toutes ces cotes sont rapportées au niveau moyen de la mer au Hâvre : pour les mettre en rapport avec celles du nivellement de Paris, il suffit de les retrancher à 101,49 m ».

Nommé B
$B = 101,489 - A$
$B = 101,49 - A$

Sources exprimées dans ce système : (Letellier, 1852), (Delesse 1880), (Vacquer, 1844-1899)

Système 2-bis : adaptation du système 2 par Delesse (1858)

L'originalité de cette adaptation est remarquée par Barles :

« D'ailleurs, l'océan n'est toujours pas accepté par tous pour plan de comparaison : en 1858, Achille Delesse se distingue en choisissant pour une de ses cartes de rapporter les cotes à une origine située à 100,00 m au-dessous du niveau de la mer, pratiquant ainsi l'excès inverse de ses prédécesseurs [...] » (Barles, 1999, p. 198)

Et justifiée ainsi par Delesse :

« Toutes les côtes sont rapportées à un plan de comparaison passant à 100 mètres au-dessous de niveau moyen de la mer. Celles du niveau de l'eau sont à la couleur rouge quelque soit la nappe à laquelle elles appartiennent. Les lettres et les côtes relatives à un terrain sont à la couleur noire. » (Delesse, 1858)

Nommé B-bis
$B\text{-bis} = B + 100$
$B\text{-bis} = 201,49 - A$

Source exprimée dans ce système : (Delesse, 1858)

Système 3 : Bourladouë de 1860 à 1897 (en France hors travaux dépendant de l'administration de la Seine)

Il convient d'ajouter 62 centimètres aux cotes exprimées en système de nivellement Bourladouë à Paris pour obtenir les cotes exprimées en système Lallemand⁹.

Nommé C
$C + 0,62 = D$
$C = B - 1,25$
$C = 100,24 - A$

Sources exprimées dans ce système : aucune source ne semblant exprimée en système Bourladouë à Paris ou dans le département de la Seine, nous n'opérons pas de conversions attributaires pour ce système au sein du présent travail¹⁰.

⁹ « À Paris, la différence est de 62 cm environ, à ajouter aux altitudes Bourladouë pour obtenir les cotes Lallemand » (J. Vignal, Nivellement de précision, Paris, 1948, p. 252-255) ; relevé dans (Barles, 1999) »⁹

¹⁰ Un doute subsiste toutefois pour la carte de (Delesse, 1880) dont le cartouche explicatif est ainsi exprimé :

« L'orographie du sol est donnée par des cotes et par des courbes horizontales qui sont espacées de 4 m. Comme pour toutes les cotes de la carte, leur altitude est toujours rapportée au niveau moyen de la mer.

Les cotes sont inscrites en noir et en petits caractères ; quant aux courbes qui figurent le relief du sol, elles sont en traits noirs et très fins.

La provenance des cotes donnant le relief du sol est très complexe. La plupart ont été fournies par le Service des Ponts et Chaussées, par le nivellement Bourladouë, et se trouvaient sur la carte hydrographique départementale. MM. les officiers du Génie ont relevé les cotes de long de l'enceinte fortifiée, ainsi que dans le voisinage des anciens et des nouveaux forts de Paris.

Un grand nombre de cotes ont été extraites de ma Carte géologique souterraine ainsi que de ma Carte hydrologique du département de la Seine (NDLR (Delesse, 1862 ; 1862 b). Elles ont été déterminées par le Service de l'Inspection des Carrières, dans le but de niveler soit des carrières et des coupes géologiques, soit des puits à eau et des sondages. Comme les carrières sont habituellement assez isolées, on avait d'ailleurs l'avantage d'obtenir ainsi des cotes dans des endroits du département de la Seine, pour lesquels on n'en possédait pas.

Les nombreux nivellements exécutés sous ma direction par le Service de l'Inspection des Carrières étaient faits rapidement et avec le petit niveau de poche dit du colonel Hossard. Ils n'avaient pas la précision de ceux du Service des Ponts et Chaussées ; mais ils suffisaient bien pour le but que je me proposais, et ils ont permis de dresser la carte géologique ainsi que la carte hydrologique du département de la Seine.

Du reste, des nivellements exécutés avec une précision plus grande étaient d'autant plus nécessaires, que ceux faits à différentes époques dans le département de la Seine présentent entre eux des divergences qui ont été constatées récemment par une commission d'ingénieurs.

De plus, généralement, les nivellements du Service de l'Inspection des carrières portaient des nombreux repères en fonte placés par les ingénieurs des Ponts et Chaussées, et sur lesquels des cotes ont été marquées en fixant le zéro de l'échelle du pont de la Tournelle à 26,25 m au-dessus du niveau moyen de la mer au Havre.

Les travaux exécutés à l'intérieur de l'ancien Paris en ont notablement modifié le relief ; toutefois les courbes horizontales de cette partie de la ville antérieure à l'annexion ont été conservées telles qu'elles avaient été tracées par le Service des Ponts et Chaussées.

D'un autre côté, les nouveaux nivellements exécutés en très grand nombre dans l'ensemble du département de la Seine montraient que les courbes horizontales tracées d'abord par M. Letellier pour ma carte hydrologique, demandaient maintenant à être rectifiées ; ce travail a été fait par M^r Grouselle.

Parmi les plus communes des environs de Paris ayant donné lieu aux rectifications des plus importantes, citons : Vitry, Thiais, Villejuif, Lhay, Montrouge, Bagneux, Clamart, Fontenay aux Roses, Chatenay, Antony et Verrières ; Rueil, Nanterre, Suresnes, Puteaux et Courbevoie ; Villeteuse, Romainville, Montreuil, Villemomble et le Raincy ; Saint-Maur, Champigny et Sucy-en-Brie.

Système 4 : NGF-Lallemand (1897 à 1969 pour la France et de 1897 à aujourd'hui à Paris sous le nom de Nivellement de Paris)

Dans ce système de nivellement, le zéro du Pont de la Tournelle est fixé à 25,62 mètres.

Nommé D

$$D = B - 25,62 + 25,24 = B - 0,63$$

$$D = C + 0,62$$

$$D = B\text{-bis} - 100,63$$

$$D = 100,86 - A$$

Système 5 : NGF-69 (de 1969 à aujourd'hui pour la France)

Dans ce système de nivellement, le zéro du Pont de la Tournelle est à 25,95 mètres.

Nommé E

$$E = D + 0,33$$

$$E = C + 0,95$$

$$E = B - 0,30$$

$$E = B\text{-bis} - 100,30$$

$$E = 101,19 - A$$

Attributs

Il convient de saisir les données exactes continues dans les sources sélectionnées puis de les transformer en système contemporain, c'est-à-dire vers le système actuellement utilisé par l'IGN. Ces opérations sont détaillées dans le **tableau 6**.

En résumé les rectifications aux courbes horizontales représentant le sol ont eu lieu particulièrement sur les flancs des plateaux de Villejuif, de Chatillon, de Meudon, du mont Valérien, de Romainville, de Champigny. Elles proviennent surtout des nivellements spéciaux faits pour les puits à eau et pour les carrières. »

Delesse stipule donc parmi ses sources potentielles les deux types de nivellement en vigueur (nivellement de la Seine et nivellement Bourladouë) sans expliciter clairement vers lequel les conversions ont été effectuées, ni si elles l'ont été, ni à quel moment. La logique retenue dans le présent travail est celle d'un maintien dans le système de nivellement de la Seine, comme la carte (Delesse, 1858), pour laquelle l'expression des cotes en système de nivellement de la Seine est explicite.

Source	Champ altimétrique source	Caractéristiques	Système de nivellement	Champ transformé et opération	Caractéristiques	Système de nivellement
Points et lignes (Girard, 1805-07)	GIR1805	Nombre réel, longueur 10, précision 2	A	NGF69 = 101,19 - GIR1805	Nombre réel, longueur 10, précision 2	D
Points et lignes (Delessé, 1858)	DEL1858	Nombre entier, longueur 10	B-bis	NGF69 = DEL1858 - 100,30	Nombre réel, longueur 10, précision 2	D
Points et lignes (Delessé, 1880)	DEL1880	Nombre entier, longueur 10	B	NGF69 = DEL1880 + 0,95	Nombre réel, longueur 10, précision 2	D
Points (IGC, 1994)	NGF69	Nombre réel, longueur 10, précision 2	D	NGF69 = NGF69	Nombre réel, longueur 10, précision 2	D

Tableau 6 : principaux attributs altimétriques composant les champs des tables attributaires

Ponctuellement, quelques autres champs ont été créés afin de répondre à une utilité spécifique :

- concernant la couche « POINTS_COMPLETS-GIRARD_1805-07 » le champ « TOPOGR » (texte, longueur 150) renseigne la topographie du point qui est choisie parmi : CRETE-CARREFOUR, EGOUT RENSEIGNE EN Z, LIGNE ENTIERE ;
- Certains points de (Delessé, 1880) sont associés à la lettre « R. », signifiant qu'ils sont mesurés sur un repère. L'un d'entre eux étant associé à une ligne de niveau entière, il est possible d'estimer la hauteur des repères à 56 cm, qui sont soustraits à la cote indiquée le cas échéant. Ainsi, la couche « POINTS_DELESSE_1880 » dispose des champs « DEL1880 » ; « REPERE » ; « DEL_REP » ; « NGF69 ». Seuls 30 points sont concernés par cette spécificité.

Création des MNT

MNT de Paris dans l'enceinte des Fermiers Généraux au début du XIX^e siècle : « MNT_GIRARD »

Couche en entrée	Champ	Type
------------------	-------	------

Points_Complet_Girard_1805-07	NGF69	Élévation de points
Plan_Eau_Girard_1805-07	-	Lac

Tableau 7 : couches en entrée en vue de la création du MNT début du XIX^e siècle Fermiers Généraux

Outil : *Topo to raster*. Caractéristiques :

- *No Enforce*
- Vertical error : 0
- Roughness penalty (optional) : 0
- Discretisation error factor (optional) : 2 (maximum)
- Profile curvature roughness penalty (optional) : 0,8 (maximum)
- Taille des cellules : 5 m

Aperçu :

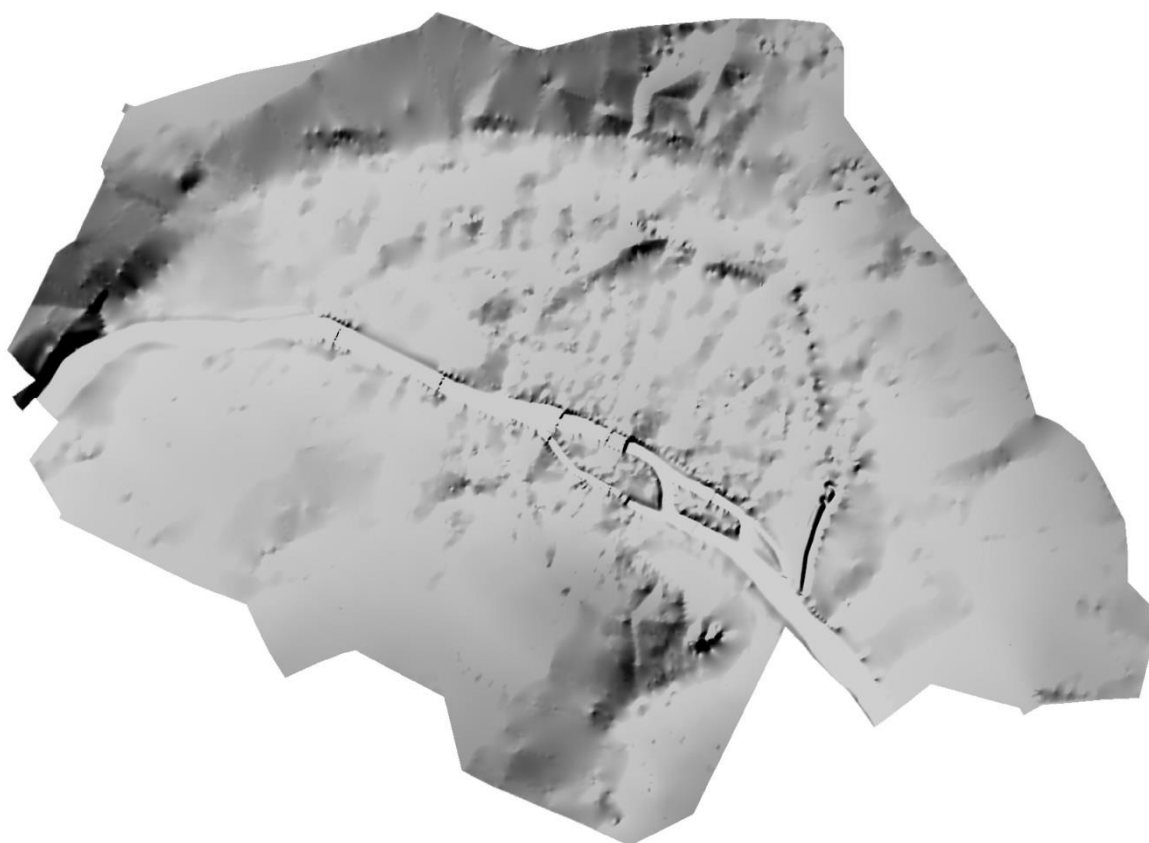


Figure 7 : illustration avec un relief ombré du « MNT_GIRARD » (pour un résultat graphique lisible les ombrages sont calculés sur la base d'un facteur de variation en z à 10 fois les variations en xy)

Sur cette base (**figure 7**), la couche « LIGNES_NIVEAU_MNT_GIRARD » est créée. Elle résulte en l'extraction des lignes de niveau par pas d'un mètre issues de ce MNT (**figure 8**).

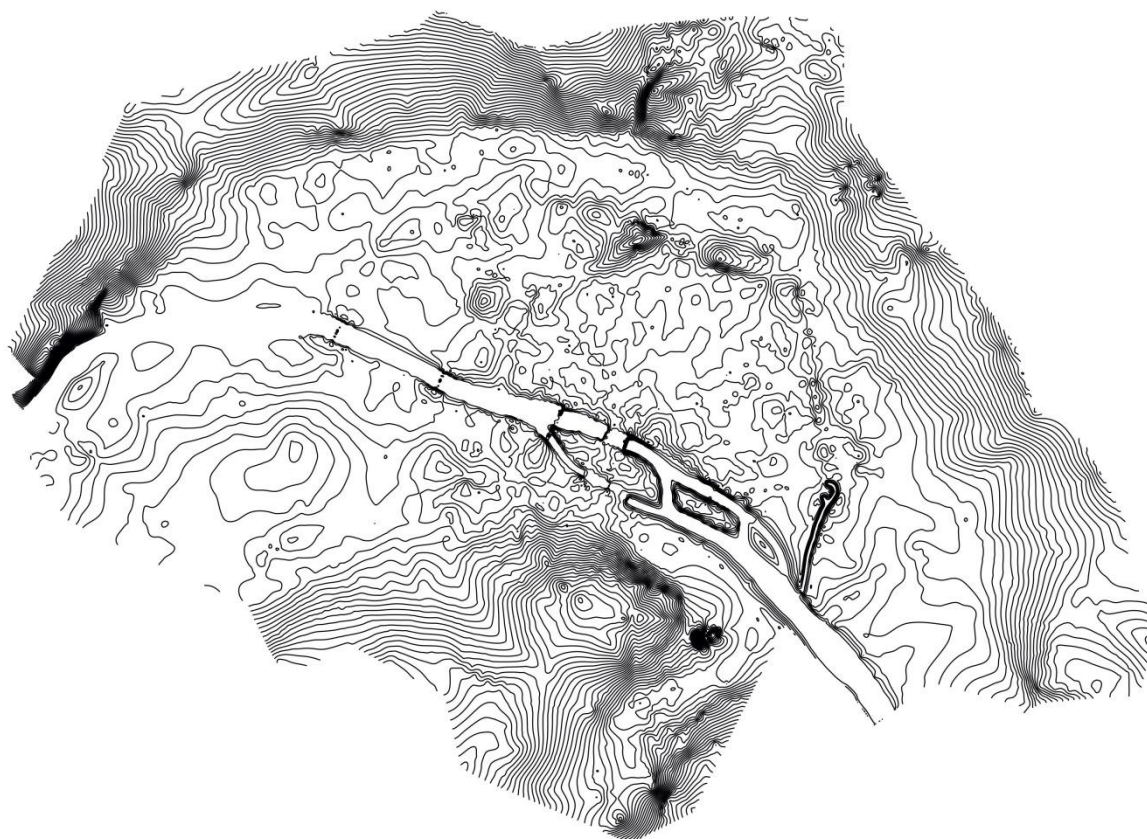


Figure 8 : les 667 « LIGNES_NIVEAU_MNT_GIRARD » calculées sur la base du « MNT_GIRARD »

MNT du département de la Seine de la seconde moitié du XIX^e siècle : « MNT_XIX_EME »

- Couches de découpage : Fermiers généraux et Seine
- Couche créée : plan d'eau Seine et Marne, jonction 1858/1880

Couche en entrée	Champ	Type
Points_Delesse_1858	NGF69	Élévation de points
Points_Delesse_1880	NGF69	Élévation de points
Lignes_Delesse_1858	NGF69	Ligne de niveau
Lignes_Delesse_1880	NGF69	Ligne de niveau
Plan_eau_Delesse_1858 (limité à la Seine)	-	Lac
Plan_eau_Delesse_1880 (limité à la Seine et à la Marne)	-	Lac

Tableau 8 : couches en entrée en vue de la création du MNT seconde moitié du XIX^e siècle Seine

Outil : *Topo to raster*. Caractéristiques :

- No enforce

- Roughness penalty (optional) : 0
- Discretization error factor (optional) : 2 (maximum)
- Profile curvature roughness penalty (optional) : 0,8 (maximum)
- Vertical standard error (optional) : 1 m
- Taille des cellules : 5 m

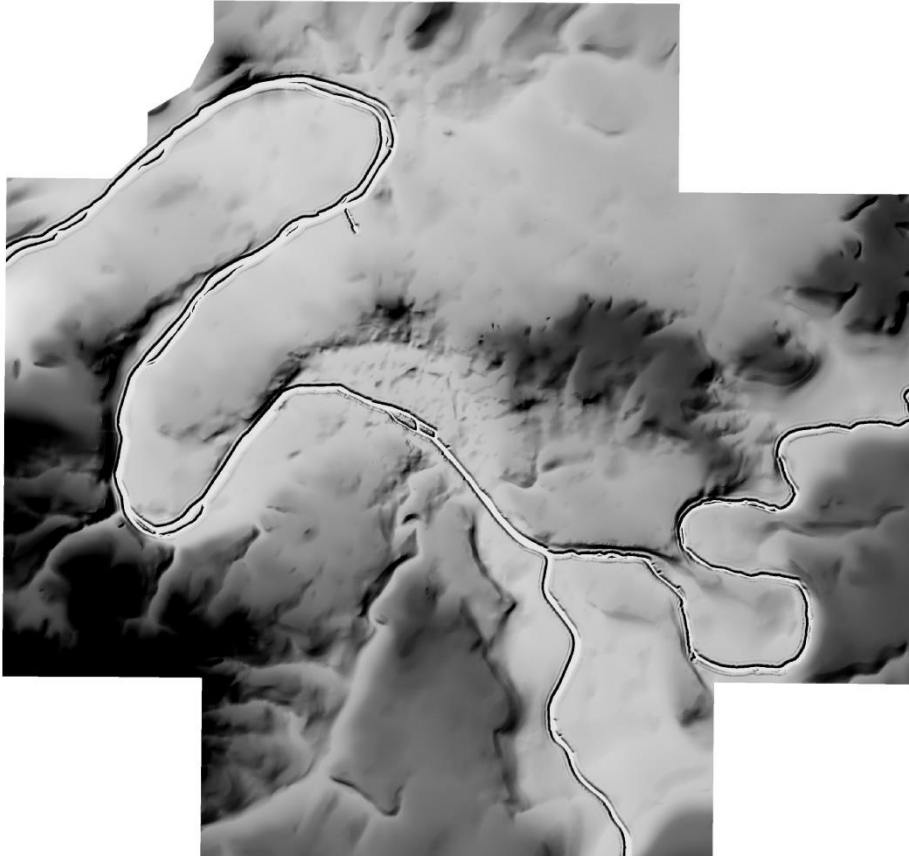


Figure 9 : illustration avec un relief ombré du « MNT_XIX_EME » (pour un résultat graphique lisible les ombrages sont calculés sur la base d'un facteur de variation en z à 10 fois les variations en xy)

Sur cette base (**figure 9**), la couche « LIGNES_NIVEAU_MNT_XIX_EME » est créée. Elle résulte en l'extraction des lignes de niveau par pas d'un mètre issues de ce MNT (**figure 10**).

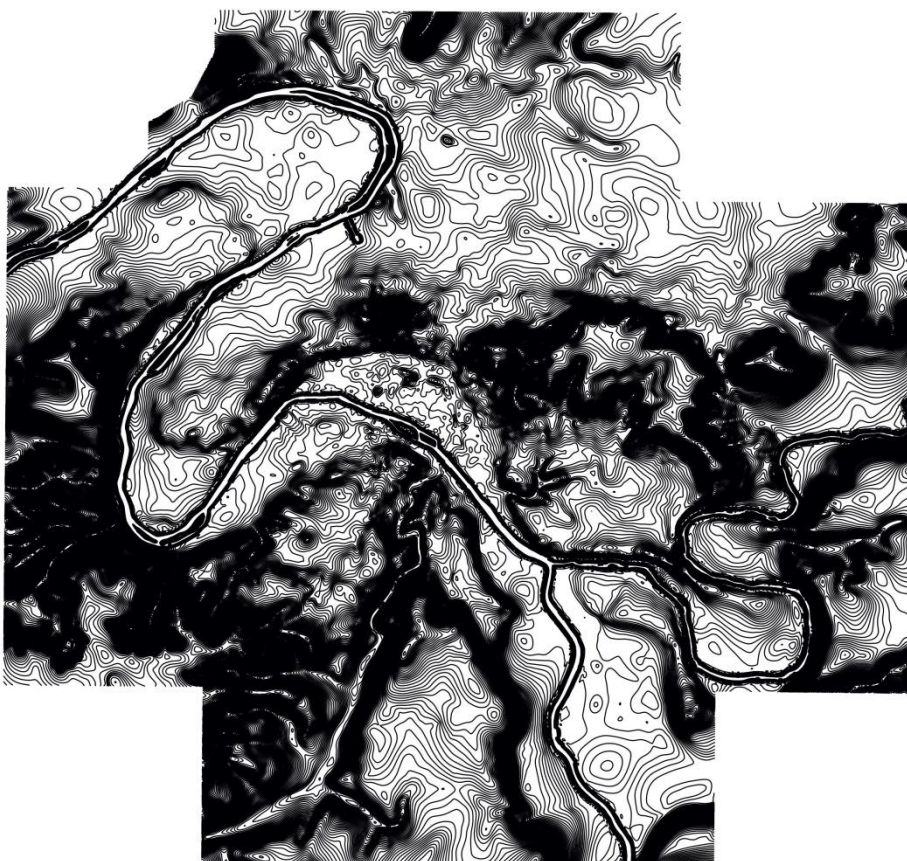


Figure 10 : les 3312 « LIGNES_NIVEAU_MNT_XIX_EME » calculées sur la base du « MNT_XIX_EME »

MNT du paléorelief de Paris : « MNT_PALEO »

Une première opération vise à nettoyer la couche de saisie de la source (IGC, 1994). En effet, on constate d'une part que certains points peuvent contenir une erreur de saisie (différence de position d'une planche sur une autre). D'autre part, la provenance de ces points est étalée dans le temps et ne résulte pas d'une campagne unifiée de mesures (sondages eux-même, report des informations, *etc.*). Nous en déduisons que l'information recherchée sur la forme du paléorelief ne doit pas être notablement impactée par un seul point lui-même soumis à un doute sur sa précision. Un algorithme manuel est mis en place en ce sens afin de maîtriser le processus de sélection des points par la couche de saisie.

La règle consiste en la suppression des points qui sont seuls à justifier plus de deux lignes de niveaux lors de l'interpolation du paléorelief. Ces points sont d'abord mis en évidence puis supprimés en vue de produire une couche nettoyée. Autrement dit, un minimum de deux points est jugé nécessaire pour éliminer au maximum les éventuelles erreurs de saisie au cours du processus de production des données.

Chaque couche d'interpolation est produite de manière tridimensionnellement exacte, par l'outil TIN qui relie les points par une surface d'apparence brisée. Des lignes de niveaux, également brisées sont extraites de cette surface. Puis, les points à éliminer sont sélectionnés

visuellement dès lors que deux lignes fermées ou davantage séparent ce point de n'importe quel autre point. Il s'agit donc bien d'un point qui est le seul à justifier d'une bosse ou d'un creux dans le modèle et par conséquent qui correspond aux points à éliminer. Le *tableau 9* présente le nombre de points restants dans la couche au fil des itérations de cet algorithme manuel.

Couche	Nombre de points
« POINTS_IGC_SAISIE_COMPLETE » (initialisation)	7643
ITERATION_1	7491
ITERATION_2	7446
ITERATION_3	7428
ITERATION_4	7411
ITERATION_5	7404
« POINTS_IGC_NETTOYES » (itération 6 et dernière)	7398

Tableau 9 : nettoyages successifs

De dernières opérations visent à produire un MNT au format raster classique sur la base de ces points et du dernier TIN produit. Le MNT est constitué sur la base de l'extraction des lignes de niveau du TIN lié à la couche « POINTS_IGC_NETTOYES ». Ces lignes sont lissées à l'aide de l'outil *ad hoc* du SIG. Enfin, une interpolation *Topo to Raster* est réalisée sur la base de ces lignes aux caractéristiques suivantes :

- No enforce
- Roughness penalty (optional) : 0
- Discretization error factor (optional) : 2 (maximum)
- Profile curvature roughness penalty (optional) : 0,8 (maximum)
- Vertical standard error (optional) : 1 m
- Taille des cellules : 5 m

Ce raster est ré-échantillonné de manière bi-cubique afin de disposer d'un raster de résolution 1 m.

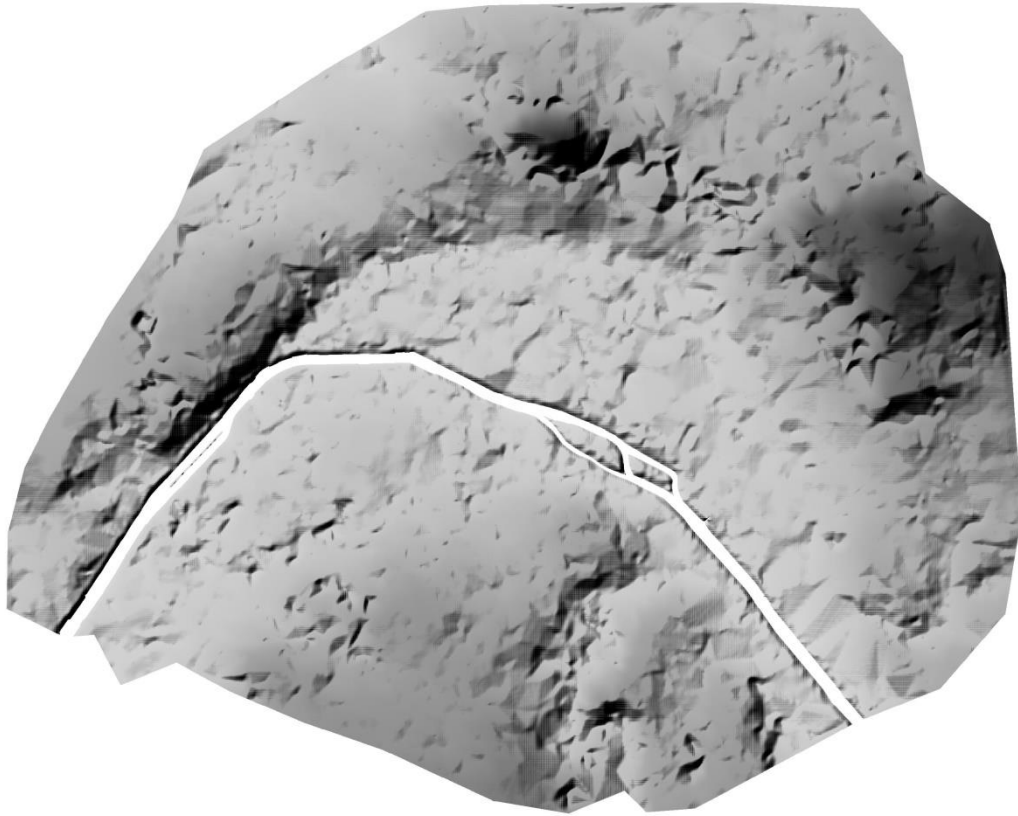


Figure 11 : illustration avec un relief ombré du « MNT_PALEO » (pour un résultat graphique lisible les ombrages sont calculés sur la base d'un facteur de variation en z à 10 fois les variations en xy)

Sur cette base, la couche « LIGNES_NIVEAU_MNT_PALEO » est créée. Elle résulte en l'extraction des lignes de niveau par pas de un mètre issue de ce MNT.

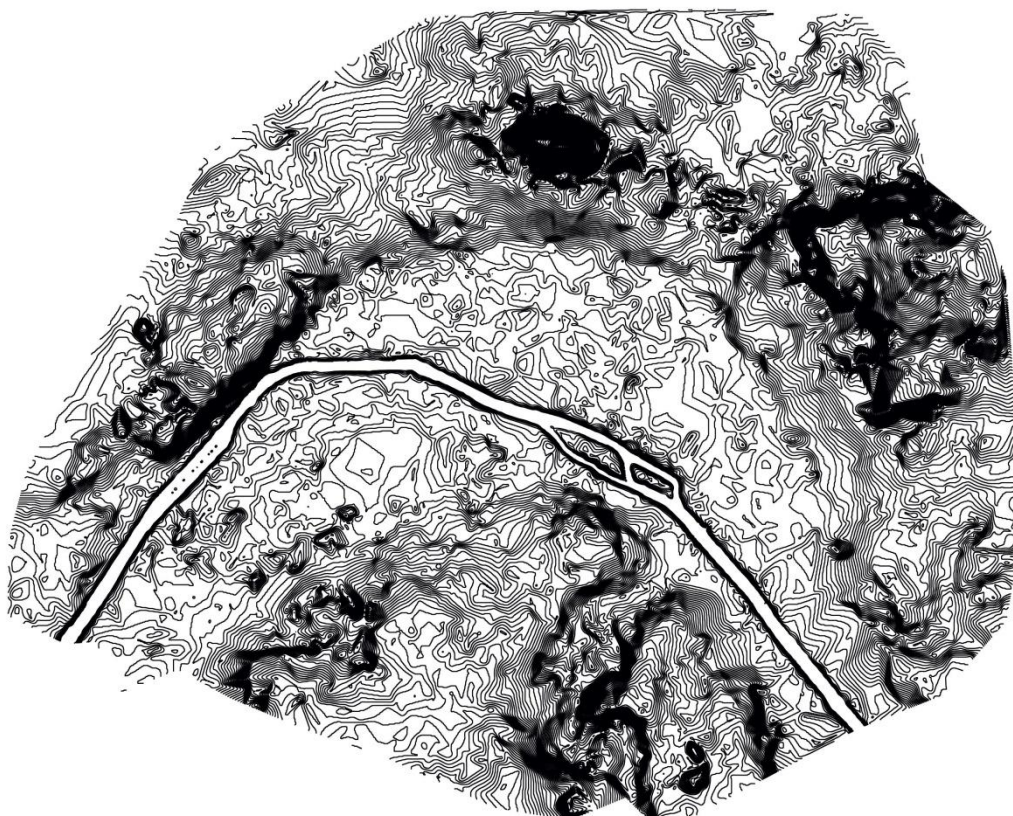


Figure 12 : les 1626 « LIGNES_NIVEAU_MNT_PALEO » calculées sur la base du « MNT_PALEO »

Références

BARLES S., 1999, *La ville délétère. Médecins et ingénieurs dans l'espace urbain, XVIII^e - XIX^e siècle*, Champ Vallon, Seyssel, 373 p.

BERTHAUT (COLONEL), 1902, *Les ingénieurs géographes militaires (1624-1831). Tome 2*, Imprimerie du Service Géographique, Paris, 526 p.

DELESSE A., 1858, *Carte hydrologique de la ville de Paris : 1858. Publiée d'après les ordres de Mr le baron G. E. Haussmann, préfet de la Seine et exécutée par Mr Delesse ; dessinée par Al. Babinski, F. Savy*, Paris, 1 Pl. Bibliothèque nationale de France, département cartes et plans : GE C-7201.

DELESSE A., 1862, *Carte géologique cotée du département de la Seine, publiée d'après les ordres de Mr le baron G.-E. Haussmann, sénateur, préfet de la Seine, conformément à la décision de la commission départementale et exécutée sur la carte topographique*, [s. e.]

DELESSE A., 1862, *Carte hydrologique du département de la Seine*, 4 feuilles 59 x 68 cm, Bibliothèque nationale de France, département Cartes et plans, GE C-1188

DELESSE A., 1880, *Carte géologique cotée du département de la Seine représentant le gypse, le calcaire grossier et la craie, d'après les ordres de M. Hérold, sénateur, préfet de la Seine, conformément à la décision du conseil général*, Imprimerie de Monrocq, Paris, 4 Pl. (114 * 117 cm). Bibliothèque nationale de France, département cartes et plans : GEC-41

DUCARLA M., 1782, *Expression des nivellemens ou méthode nouvelle pour marquer rigoureusement sur les cartes terrestres et marines les hauteurs et les configurations du terrain*, Dupain-Triel, Paris, 111 p.

DUMENIEU B., 2015, *Un système d'information géographique pour le suivi d'objets historiques urbains à travers l'espace et le temps*, École des hautes études en sciences sociales, Institut national de l'information géographique et forestière (France) et Laboratoire Conception Objet et Généralisation de l'Information Topographique, thèse de doctorat sous la direction de Maurizio Gribaudi et d'Anne Ruas, 377 p. URL (26/11/2019) : http://recherche.ign.fr/labos/cogit/pdf/THESES/DUMENIEU/memoire_dumenieu_COGIT.pdf

FERNANDEZ M., 2014, *Approche topographique historique du sous-sol parisien (1800-2000). La ville épaisse : genèse et évolutions morphologiques*, Conservatoire national des Arts et Métiers, thèse de doctorat en histoire des techniques sous la direction d'André Guillerme, 409 p. URL (26/11/2019) : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01223241>

FERNANDEZ M., 2018, « Variations d'épaisseur du sol urbain à paris entre 1807 et 2016 : méthode topo-historique et cartographie », *Flux*, N° 111-112, pp. 94-103

FERNANDEZ M., 2018, « La strate du sol d'une mégapole : observations localisées sur l'Anthropocène. Topographie et morphologie des couches préindustrielle et industrielle à Paris », *Géocarrefour*, N° 92-2

GIRARD P.-S., VERNIQUET E., 1810, *Plan de nivellement général de la ville de Paris rapporté sur l'Atlas du plan général de la ville de Paris de Verniquet*, [s. é.], Paris. Manuscrit : BHVP FOL AT 157

GIRARD P.-S., 1831, *Mémoires sur le canal de l'Ourcq et la distribution de ses eaux, sur le dessèchement et l'assainissement de Paris et les divers canaux navigables qui ont été mis à exécution ou projetés dans le bassin de la Seine pour l'extension du commerce de la capitale ; avec un atlas descriptif. Tome premier*, Carilian-Goeury, Paris, 612 p.

GIRARD P.-S., 1843, *Mémoires sur le canal de l'Ourcq et la distribution de ses eaux, sur le dessèchement et l'assainissement de Paris et les divers canaux navigables qui ont été mis à exécution ou projetés dans le bassin de la Seine pour l'extension du commerce de la capitale ; avec un atlas descriptif. Tome second*, Carilian-Goeury et Veuve Dalmont, Paris, 619 p.

GRABER F., 2009, *Paris a besoin d'eau : projet, dispute, et délibération technique dans la France napoléonienne*, CNRS éditions, Paris, 417 p.

INSPECTION GÉNÉRALE DES CARRIÈRES (IGC), 1994, *Atlas géologique de la Ville de Paris au 1/5000^e*, Mairie de Paris, Paris, 15 Pl.

LALLEMANT T., TOUZET T., 2016, *Méthodologie nationale pour le géoréférencement et la numérisation des cartes d'État-Major, minutes au 1:40000*, 177 p. URL (26/11/2019) : http://professionnels.ign.fr/doc/Rapport_Methodologique_IGN_v1-1.pdf

LACROIX S.-F., 1804, « Introduction à la géographie mathématique et critique », in PINKERTON J., *Géographie moderne*, Dentu, Paris, T.1, (CCXIV + 229) p.

LETELLIER A.-E., BARRIERE A., LAHANIER A., 1852, *Carte hydrographique du département de la Seine, présentant le relief du sol par des courbes horizontales et par des cotes de hauteur rapportées au niveau moyen de la mer ainsi que le tracé et le classement de toutes les voies de communication. Dressée et gravée sous la direction de l'ingénieur en chef des Ponts et Chaussées du département par ordre du préfet de la Seine*, [s.e., 6 rue Saint-Jacques], Paris. Bibliothèque historique de la Ville de Paris (BHVP) : G 43-1.

NOIZET H., 2011, « Les relations entre la ville et le fleuve à Paris de l'Antiquité gallo-romaine au Moyen Âge central », *Les Nouvelles de l'archéologie*, n°125, p. 32-40

RAMBUTEAU, 1836, *Rapport sur l'administration générale de la Ville de Paris présenté au conseil municipal par M. le comte de Rambuteau préfet de la Seine le 5 février 1836*, [s. é.], 51 p.

RAMBUTEAU, 1837, *Compte-rendu de l'administration du département de la Seine et de la Ville de Paris pendant l'année 1836*, Vinchon, Paris, 206 p.

VILLAIN G., 1896, *Rapport au nom de la 2^e commission sur une demande de crédits supplémentaires pour la reconstruction de la mairie du X^e arrondissement*, Imprimerie Municipale, Paris, 448 p.

Annexes : éléments nécessaires à la production de fiches INSPIRE

Nom de la couche : Lignes_Delesse_1858

Source

Version papier

DELESSE A., 1858, *Carte hydrologique de la ville de Paris : 1858. Publiée d'après les ordres de Mr le baron G. E. Haussmann, préfet de la Seine et exécutée par Mr Delesse ; dessinée par Al. Babinski, F. Savy, Paris, 1 Pl.*

Bibliothèque nationale de France, département Cartes et plans, GE C-7201

Échelle(s) : 1/6 666

Emprise : le mur des Fermiers généraux de Paris

Version numérique

Mise en ligne par Gallica le 22 décembre 2014

URL : <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b53085594t>

L'image est traitée par un découpage le long de sa pliure. Chaque partie est géoréférencée séparément. La partie Est est nommée EST, la partie Ouest est nommée OUEST.

Partie Est : 8021*11594 pixels

Partie Ouest : 7944*11476 pixels

Géoréférencement

Nom du raster	Nombre de points de contrôle	Type de projection	Erreur RMS (pixels)	Taille du pixel	Erreur RMS (mètres)
EST_GEOREF	150	Projective	8,09	0,5684 m	4,60 m
OUEST_GEOREF	178	Projective	7,57	0,5698 m	4,31 m

Aperçu du géoréférencement

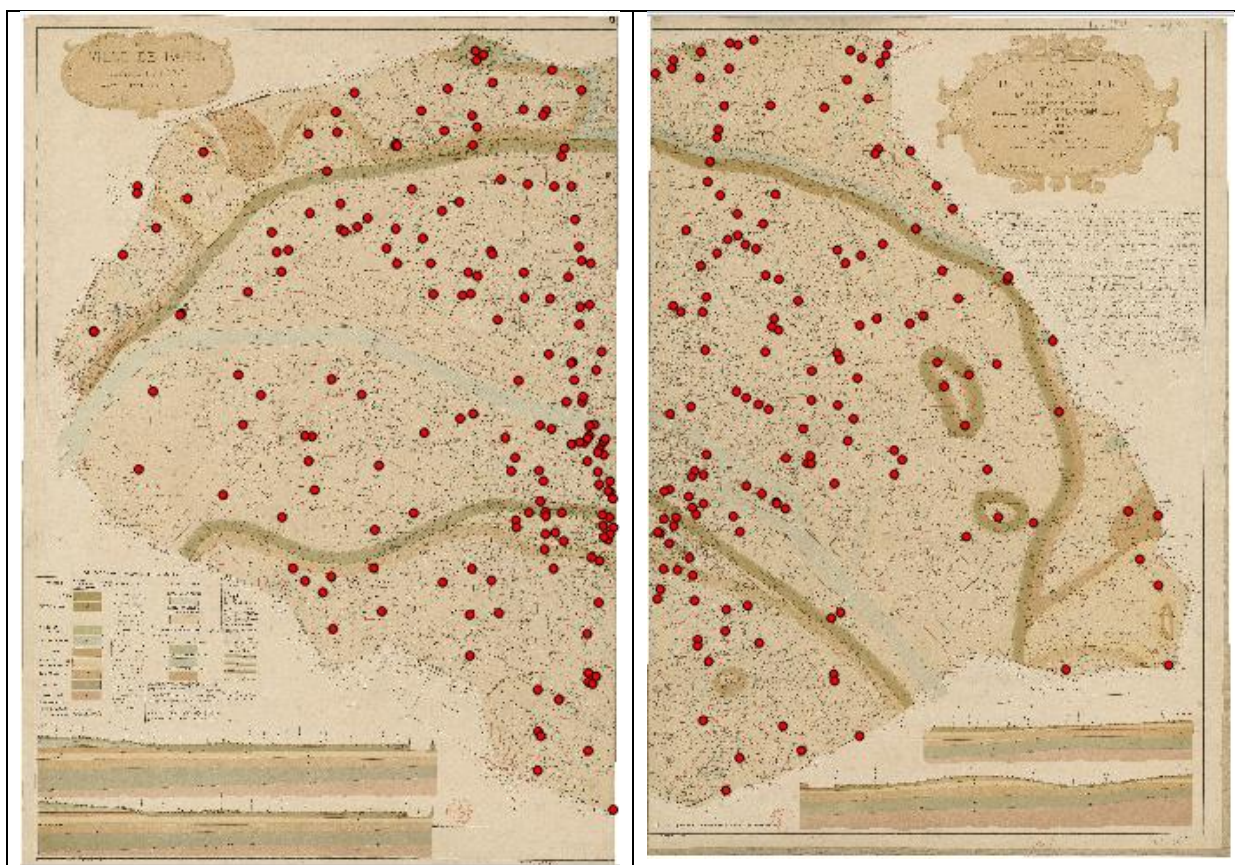
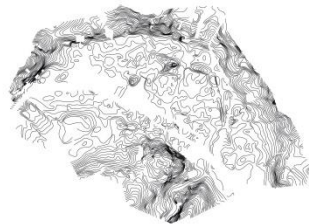


Tableau : Aperçu des 328 points de contrôle placés sur (Delesse, 1858)

Saisie

Nom de la couche	Nombre d'entités saisies	Aperçu
LIGNES_DELESSE_1858	37 898 points (sommets constituant les lignes)	

Champs attributaires

Source	Champ altimétrique source	Caractéristiques	Système de nivellement	Champ transformé et opération	Caractéristiques	Système de nivellement
Points et lignes (Delesse, 1858)	DEL1858	Nombre entier, longueur 10	B-bis	NGF69 = DEL1858 - 100,30	Nombre réel, longueur 10, précision 2	D

Nom de la couche : Points_Delesse_1858

Source

Version papier :

DELESSE A., 1858, *Carte hydrologique de la ville de Paris : 1858. Publiée d'après les ordres de Mr le baron G. E. Haussmann, préfet de la Seine et exécutée par Mr Delesse ; dessinée par Al. Babinski, F. Savy, Paris, 1 Pl.*

Bibliothèque nationale de France, département Cartes et plans, GE C-7201

Échelle(s) : 1/6 666

Emprise : le mur des Fermiers généraux de Paris

Version numérique

Mise en ligne par *Gallica* le 22 décembre 2014

URL : <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b53085594t>

L'image est traitée par un découpage le long de sa pliure. Chaque partie est géoréférencée séparément. La partie Est est nommée EST, la partie Ouest est nommée OUEST.

Partie Est : 8021*11594 pixels

Partie Ouest : 7944*11476 pixels

Géoréférencement

Nom du raster	Nombre de points de contrôle	Type de projection	Erreur RMS (pixels)	Taille du pixel	Erreur RMS (mètres)
EST_GEOREF	150	Projective	8,09	0,5684 m	4,60 m
OUEST_GEOREF	178	Projective	7,57	0,5698 m	4,31 m

Tableau : bilan des erreurs RMS

Aperçu du géoréférencement

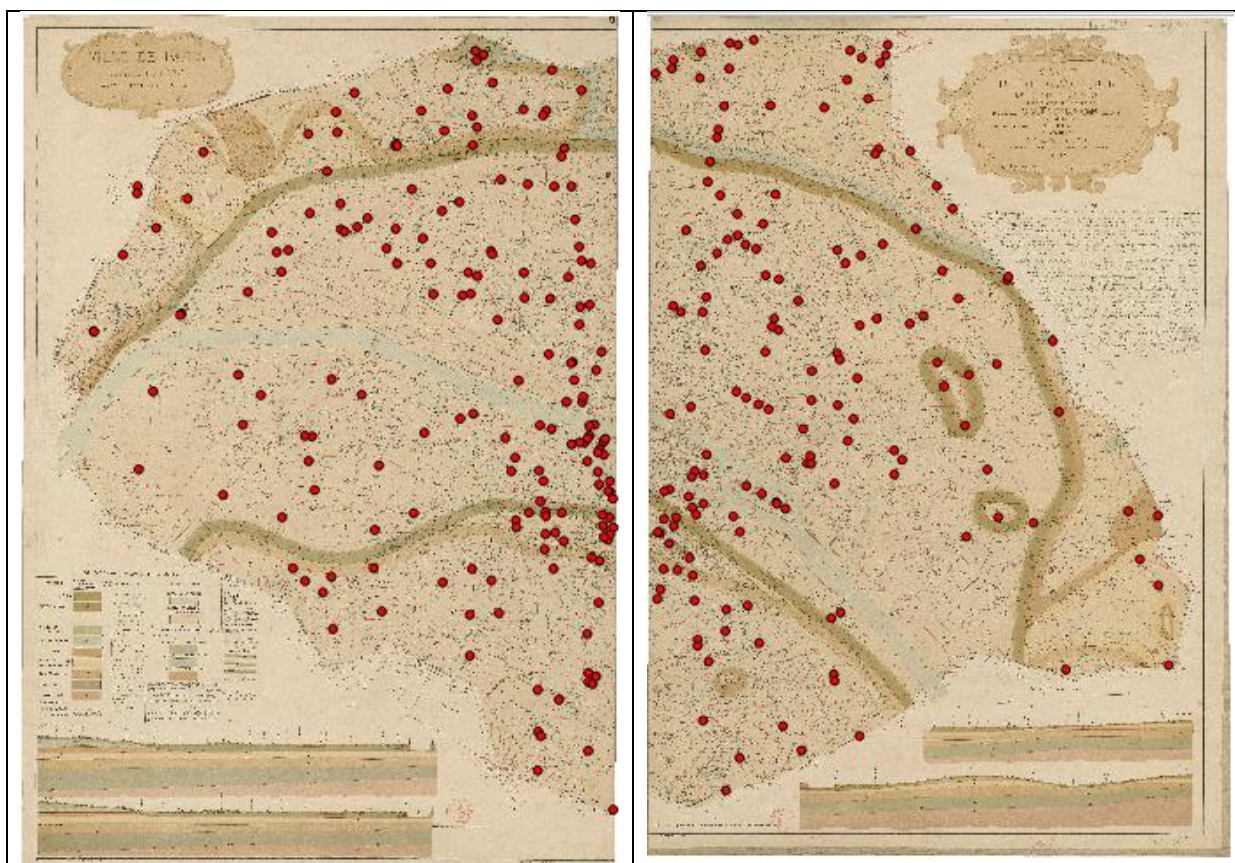


Tableau : Aperçu des 328 points de contrôle placés sur (Delesse, 1858)

Saisie

Nom de la couche	Nombre d'entités saisies	Aperçu
POINTS_DELESSE_1858	1 272 points	

Champs attributaires

Source	Champ altimétrique source	Caractéristiques	Système de nivellement	Champ transformé et opération	Caractéristiques	Système de nivellement
Points et lignes (Delesse, 1858)	DEL1858	Nombre entier, longueur 10	B-bis	NGF69 = DEL1858 - 100,30	Nombre réel, longueur 10, précision 2	D

Nom de la couche : Plan_eau_Delesse_1858

Source

Version papier :

DELESSE A., 1858, *Carte hydrologique de la ville de Paris : 1858. Publiée d'après les ordres de Mr le baron G. E. Haussmann, préfet de la Seine et exécutée par Mr Delesse ; dessinée par Al. Babinski, F. Savy*, Paris, 1 Pl.

Bibliothèque nationale de France, département Cartes et plans, GE C-7201

Échelle(s) : 1/6 666

Emprise : le mur des Fermiers généraux de Paris

Version numérique

Mise en ligne par *Gallica* le 22 décembre 2014

URL : <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b53085594t>

L'image est traitée par un découpage le long de sa pliure. Chaque partie est géoréférencée séparément. La partie Est est nommée EST, la partie Ouest est nommée OUEST.

Partie Est : 8021*11594 pixels

Partie Ouest : 7944*11476 pixels

Géoréférencement

Nom du raster	Nombre de points de contrôle	Type de projection	Erreur RMS (pixels)	Taille du pixel	Erreur RMS (mètres)
EST_GEOREF	150	Projective	8,09	0,5684 m	4,60 m
OUEST_GEOREF	178	Projective	7,57	0,5698 m	4,31 m

Tableau : bilan des erreurs RMS

Aperçu du géoréférencement

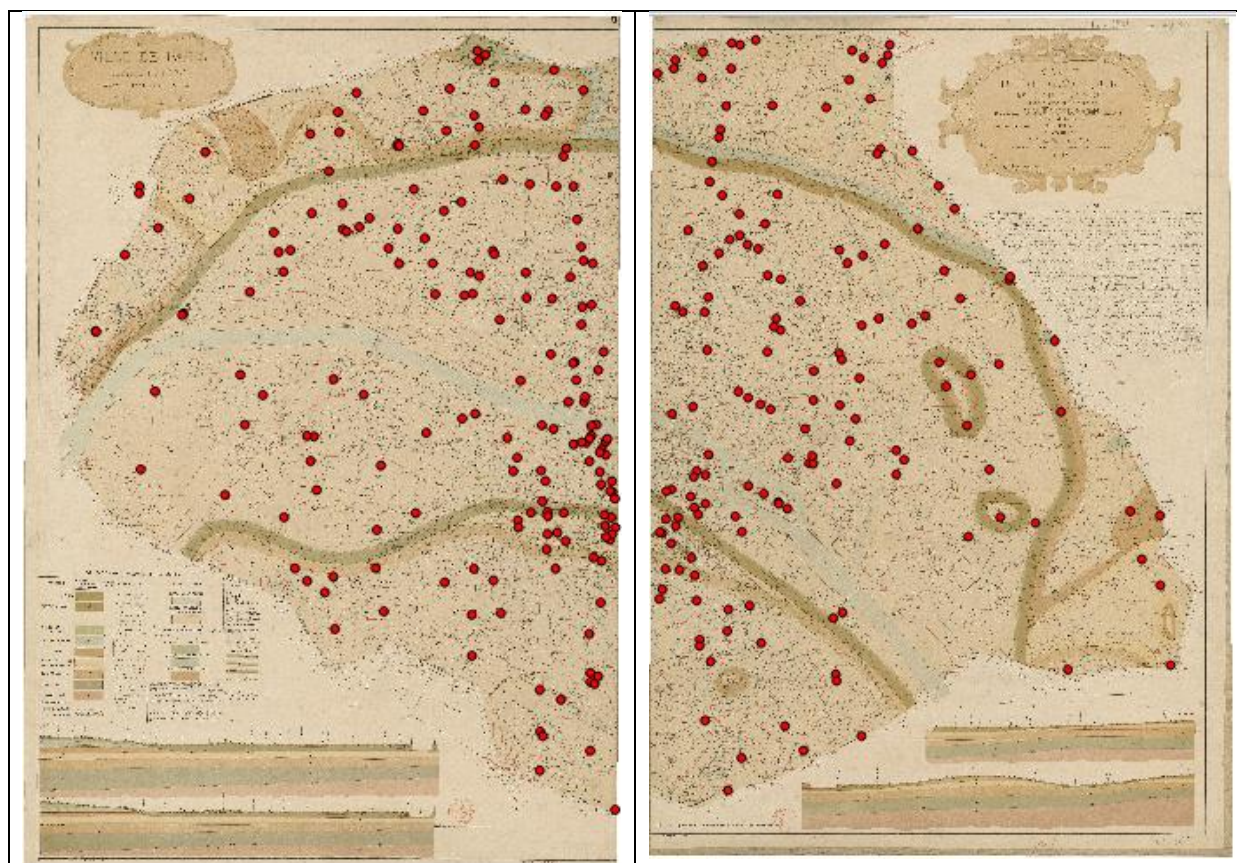
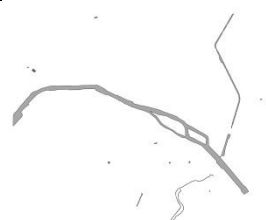


Tableau : Aperçu des 328 points de contrôle placés sur (Delesse, 1858)

Saisie

Nom de la couche	Nombre d'entités saisies	Aperçu
PLAN_EAU_DELESSE_1858	1 430 points (sommets constituant les sommets de 38 polygones)	

Nom de la couche : Lignes_Delesse_1880

Source

Version papier :

DELESSE A., 1880, *Carte géologique cotée du département de la Seine représentant le gypse, le calcaire grossier et la craie, d'après les ordres de M. Hérold, sénateur, préfet de la Seine, conformément à la décision du conseil général*, Imprimerie de Monrocq, Paris, 4 Pl. (114 * 117 cm)

Bibliothèque nationale de France, département Cartes et plans, GEC-41

Échelle(s) : 1 / 25 000

Emprise : le département de la Seine

Version numérique :

Mise en ligne par *Gallica* le 21/05/2012

URL : <http://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb40730659m>

Les quatre images sont téléchargées en haute résolution. Elles sont nommées SUD_EST, SUD_OUEST, NORD_EST, NORD_OUEST.

NORD_EST : 7188 * 6747 pixels

NORD_OUEST : 7093 * 6843 pixels

SUD_EST : 7068 * 6577 pixels

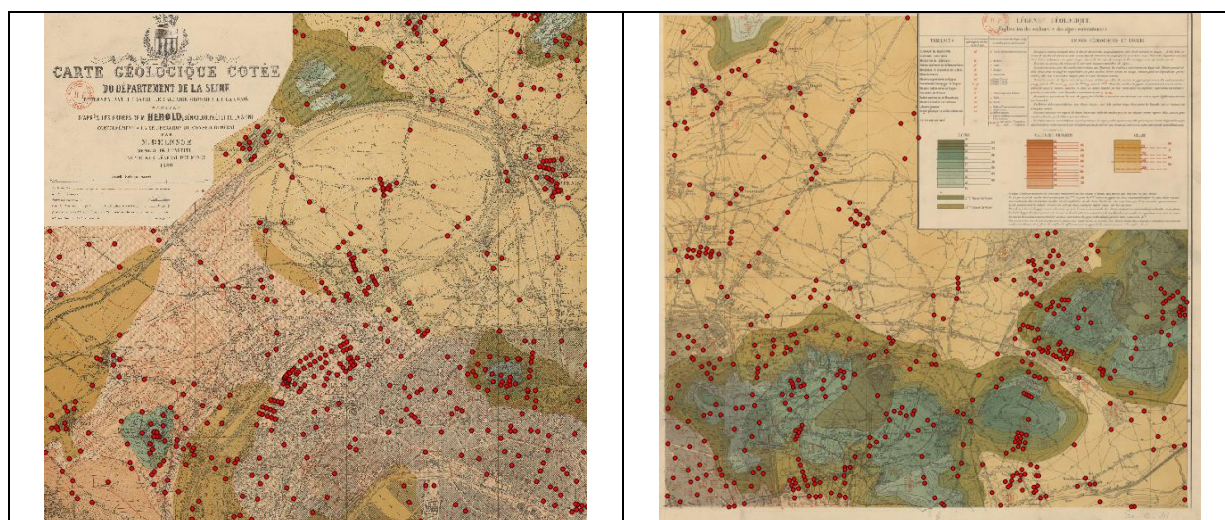
SUD_OUEST : 7158 * 7580 pixels

Géoréférencement

Nom du raster	Nombre de points de contrôle	Type de projection	Erreur RMS (pixels)	Taille du pixel (mètres)	Erreur RMS (mètres)
NORD_EST	455	Projective	11,21	2,143	24,0
NORD_OUEST	490	Projective	10,94	2,139	23,4
SUD_EST	471	Projective	14,15	2,142	30,3
SUD_OUEST	608	Projective	12,82	2,140	27,4

Tableau : bilan des erreurs RMS calculées avec la méthode des points de contrôles

Aperçu du géoréférencement



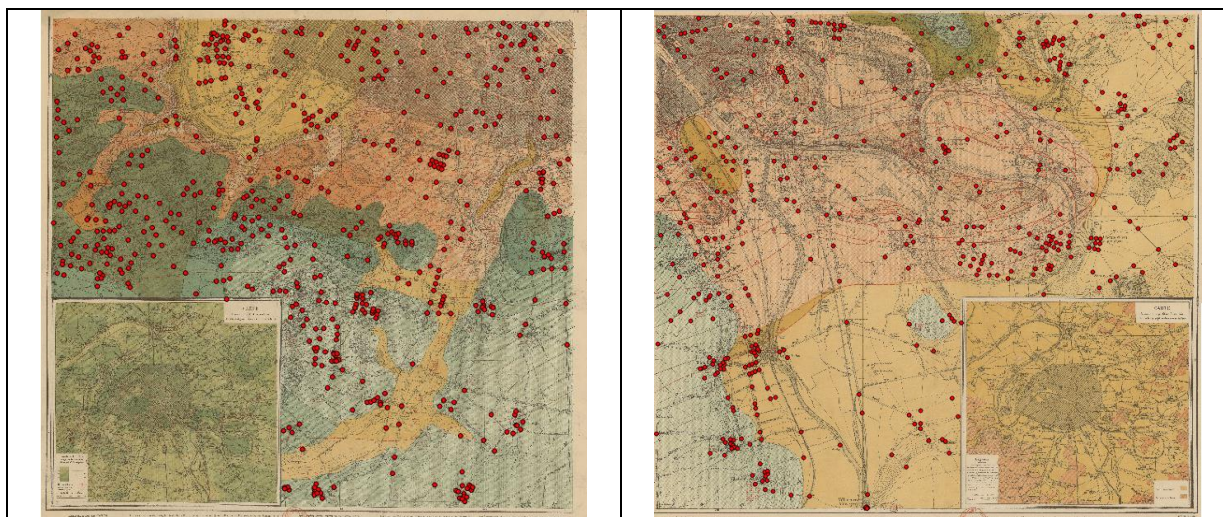
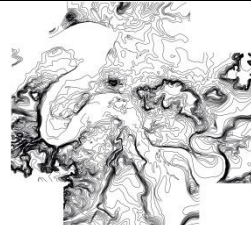


Tableau : aperçu des 2024 points de contrôles placés sur (Delesse, 1880)

Saisie

Nom de la couche	Nombre d'entités saisies	Aperçu
LIGNES_DELESSE_1880	80 490 points (sommets constituant les lignes)	

Champs attributaires

Source	Champ altimétrique issu de la source	Caractéristiques	Système de nivellement	Champ transformé et opération	Caractéristiques	Système de nivellement
Lignes (Delesse, 1880)	DEL1880	Nombre entier, longueur 10	B	NGF69 = DEL1880 - 0,30	Nombre reel, longueur 10, precision 2	D

Nom de la couche : Points_Delesse_1880

Source

Version papier :

DELESSE A., 1880, *Carte géologique cotée du département de la Seine représentant le gypse, le calcaire grossier et la craie, d'après les ordres de M. Hérold, sénateur, préfet de la Seine, conformément à la décision du conseil général*, Imprimerie de Monrocq, Paris, 4 Pl. (114 * 117 cm)

Bibliothèque nationale de France, département Cartes et plans, GEC-41

Échelle(s) : 1 / 25 000

Emprise : le département de la Seine

Version numérique :

Mise en ligne par *Gallica* le 21/05/2012

URL : <http://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb40730659m>

Les quatre images sont téléchargées en haute résolution. Elles sont nommées SUD_EST, SUD_OUEST, NORD_EST, NORD_OUEST.

NORD_EST : 7188 * 6747 pixels

NORD_OUEST : 7093 * 6843 pixels

SUD_EST : 7068 * 6577 pixels

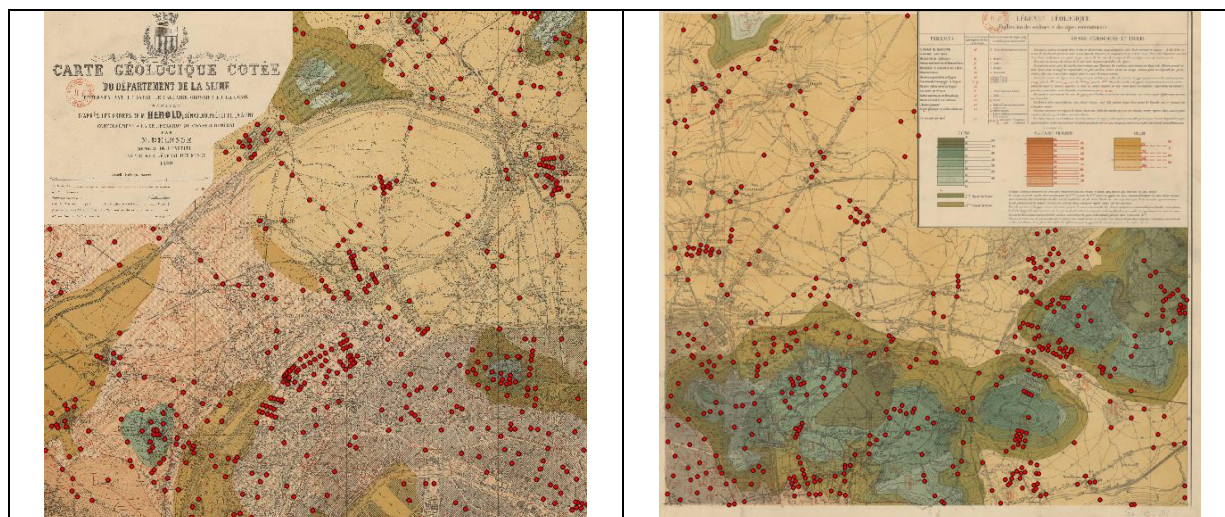
SUD_OUEST : 7158 * 7580 pixels

Géoréférencement

Nom du raster	Nombre de points de contrôle	Type de projection	Erreur RMS (pixels)	Taille du pixel (mètres)	Erreur RMS (mètres)
NORD_EST	455	Projective	11,21	2,143	24,0
NORD_OUEST	490	Projective	10,94	2,139	23,4
SUD_EST	471	Projective	14,15	2,142	30,3
SUD_OUEST	608	Projective	12,82	2,140	27,4

Tableau : bilan des erreurs RMS calculées avec la méthode des points de contrôles

Aperçu du géoréférencement



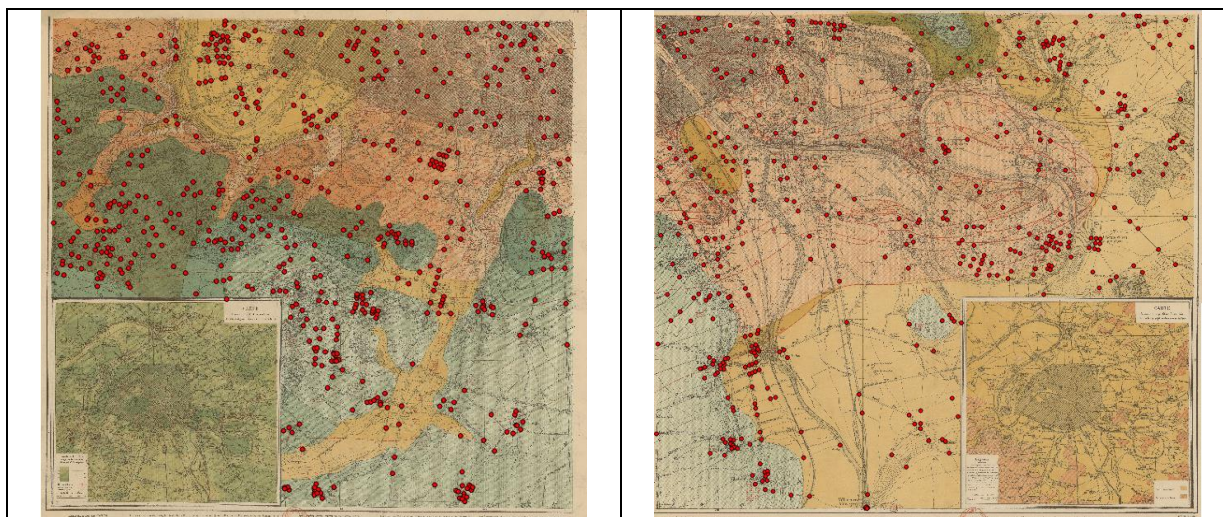
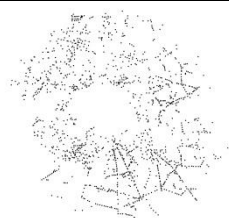


Tableau : aperçu des 2024 points de contrôles placés sur (Delesse, 1880)

Saisie

Nom de la couche	Nombre d'entités saisies	Aperçu
POINTS_DELESSE_1880	1 459 points	

Champs attributaires

Source	Champ altimétrique issu de la source	Caractéristiques	Système de nivellement	Champ transformé et opération	Caractéristiques	Système de nivellement
Points (Delesse, 1858)	DEL1858	Nombre entier, longueur 10	B-bis	NGF69 = DEL1858 - 100,30	Nombre reel, longueur 10, precision 2	D

Nom de la couche : Plan_eau_Delesse_1880

Source

Version papier :

DELESSE A., 1880, *Carte géologique cotée du département de la Seine représentant le gypse, le calcaire grossier et la craie, d'après les ordres de M. Hérold, sénateur, préfet de la Seine, conformément à la décision du conseil général*, Imprimerie de Monrocq, Paris, 4 Pl. (114 * 117 cm)

Bibliothèque nationale de France, département Cartes et plans, GEC-41

Échelle(s) : 1 / 25 000

Emprise : le département de la Seine

Version numérique :

Mise en ligne par *Gallica* le 21/05/2012

URL : <http://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb40730659m>

Les quatre images sont téléchargées en haute résolution. Elles sont nommées SUD_EST, SUD_OUEST, NORD_EST, NORD_OUEST.

NORD_EST : 7188 * 6747 pixels

NORD_OUEST : 7093 * 6843 pixels

SUD_EST : 7068 * 6577 pixels

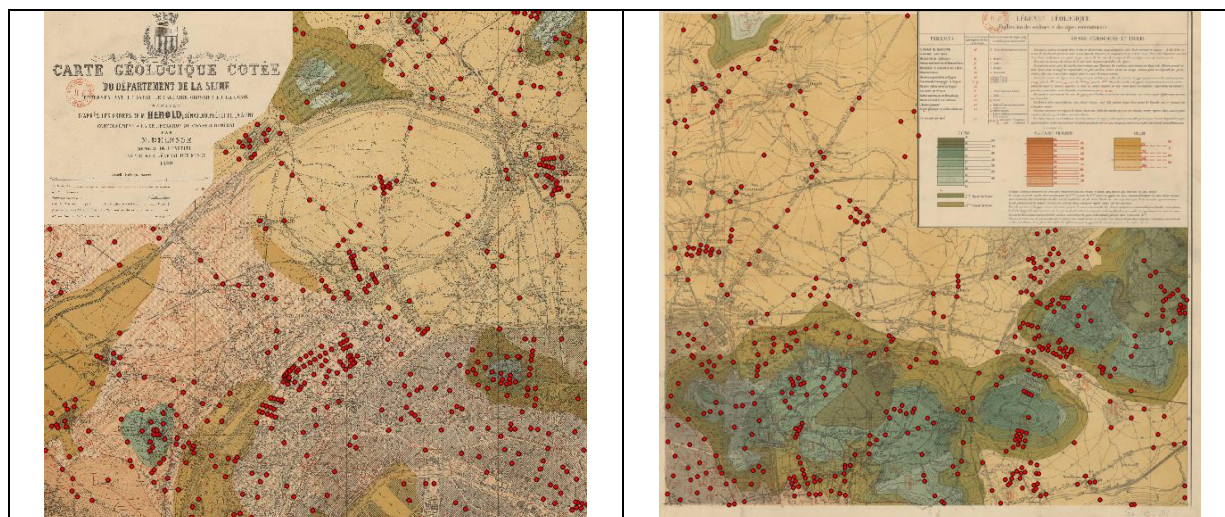
SUD_OUEST : 7158 * 7580 pixels

Géoréférencement

Nom du raster	Nombre de points de contrôle	Type de projection	Erreur RMS (pixels)	Taille du pixel (mètres)	Erreur RMS (mètres)
NORD_EST	455	Projective	11,21	2,143	24,0
NORD_OUEST	490	Projective	10,94	2,139	23,4
SUD_EST	471	Projective	14,15	2,142	30,3
SUD_OUEST	608	Projective	12,82	2,140	27,4

Tableau : bilan des erreurs RMS calculées avec la méthode des points de contrôles

Aperçu du géoréférencement



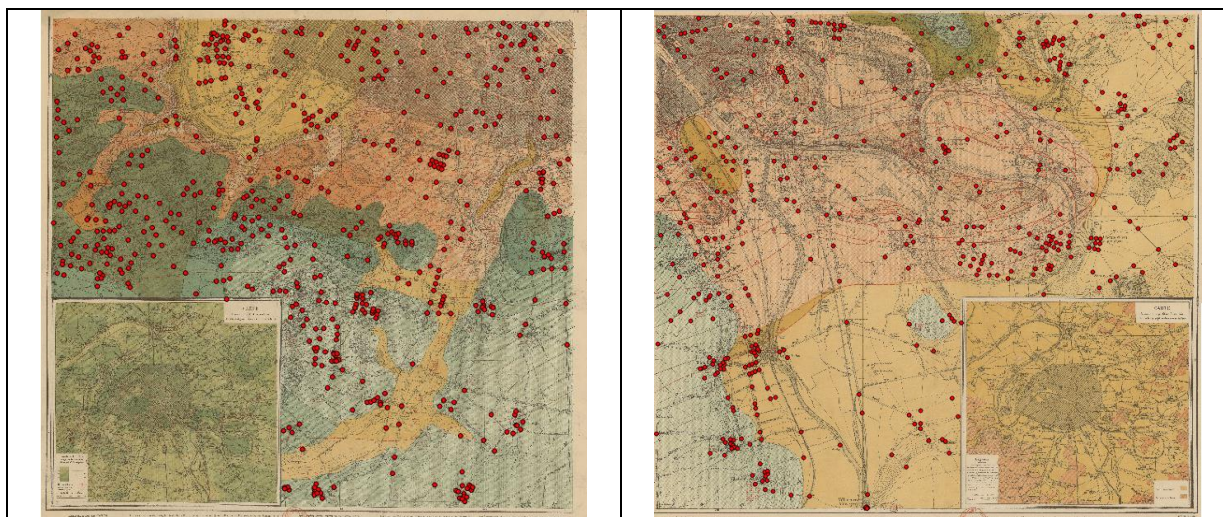
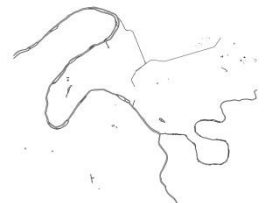


Tableau : aperçu des 2024 points de contrôles placés sur (Delesse, 1880)

Saisie

Nom de la couche	Nombre d'entités saisies	Aperçu
PLAN_EAU_DELESSE_1880	7 106 points (sommets constituant 151 polygones)	

Champs attributaires

Néant.

Nom de la couche : Points_IGC_1994

Source

INSPECTION GÉNÉRALE DES CARRIÈRES (IGC), 1994, *Atlas géologique de la Ville de Paris au 1/5000^e*, Mairie de Paris, Paris, 15 Pl.

Géoréférencement

Le géoréférencement des planches est réalisé sur la base de la couche bâti de l'APUR car l'information d'origine concernant la planimétrie est considérée comme identique.

Aperçu du géoréférencement



Saisie

Nom de la couche	Nombre d'entités saisies	Aperçu
POINTS_IGC_1994	7 643 points	

Champs attributaires

Sourc e	Champ altimétriqu e issu de la source	Caractéristique s	Système de nivellemen t	Champ transform é et opération	Caractéristique s	Système de nivellemen t
Points (IGC, 1994)	NGF69	Nombre réel, longueur 10, précision 2	D	NGF69 = NGF69	Nombre réel, longueur 10, précision 2	D

Nom de la couche : Lignes_Girard_1805-07

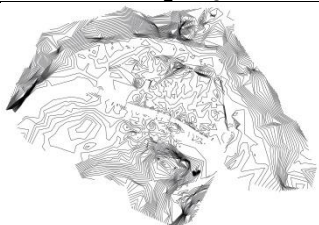
Source

Id.

Géoréférencement

Girard et ses équipes se basent sur le plan Verniquet pour reporter les informations altimétriques recueillies. Par conséquent, le géoréférencement est réalisé sur la source la plus documentée du plan de Verniquet géoréférencé. Un état de l'art des précédentes recherches nous amène à choisir le plan issu du calage opéré par Bertrand Duménieu sur la base d'une analyse des opérations déployées lors du levé du plan (Duménieu, 2015, p. 147-174). Ce plan est librement disponible par un flux WMS au sein du projet de recherche *Geohistoricaldata*¹¹.

Saisie

Nom de la couche	Nombre d'entités saisies	Aperçu
LIGNES_GIRARD_1805-07	520 lignes brisées	

Champs attributaires

Source	Champ altimétrique issu de la source	Caractéristiques	Système de nivellement	Champ transformé et opération	Caractéristiques	Système de nivellement
Points (Girard, 1805-1807)	GIR1805	Nombre réel, longueur 10, précision 2	A	NGF69 = 101,19 - GIR1805	Nombre réel, longueur 10, précision 2	D

Nom de la couche : Points_Complets_Girard_1805-07

Source

Id.

Géoréférencement

Girard et ses équipes se basent sur le plan Verniquet pour reporter les informations altimétriques recueillies. Par conséquent, le géoréférencement est réalisé sur la source la plus

¹¹ ADRESSE DU FLUX WMS (ouvert) : <http://134.158.33.227/geoserver/wms>

documentée du plan de Verniquet géoréférencé. Un état de l'art des précédentes recherches nous amène à choisir le plan issu du calage opéré par Bertrand Duménieu sur la base d'une analyse des opérations déployées lors du levé du plan (Duménieu, 2015, p. 147-174). Ce plan est librement disponible par un flux WMS au sein du projet de recherche *Geohistoricaldata*¹².

Saisie

Nom de la couche	Nombre d'entités saisies	Aperçu
POINTS_COMPLETS_GIRARD_1805-07	8 870 points	

Champs attributaires

Source	Champ altimétrique issu de la source	Caractéristiques	Système de nivellement	Champ transformé et opération	Caractéristiques	Système de nivellement
Points (Girard, 1805-1807)	GIR1805	Nombre réel, longueur 10, précision 2	A	NGF69 = 101,19 - GIR1805	Nombre réel, longueur 10, précision 2	D

Nom de la couche : Plan_Eau_Girard_1805-07

Source

Id.

Géoréférencement

Girard et ses équipes se basent sur le plan Verniquet pour reporter les informations altimétriques recueillies. Par conséquent, le géoréférencement est réalisé sur la source la plus documentée du plan de Verniquet géoréférencé. Un état de l'art des précédentes recherches nous amène à choisir le plan issu du calage opéré par Bertrand Duménieu sur la base d'une analyse des opérations déployées lors du levé du plan (Duménieu, 2015, p. 147-174). Ce plan est librement disponible par un flux WMS au sein du projet de recherche *Geohistoricaldata*¹³.

Saisie

Nom de la couche	Nombre d'entités saisies	Aperçu
------------------	--------------------------	--------

¹² ADRESSE DU FLUX WMS (ouvert) : <http://134.158.33.227/geoserver/wms>

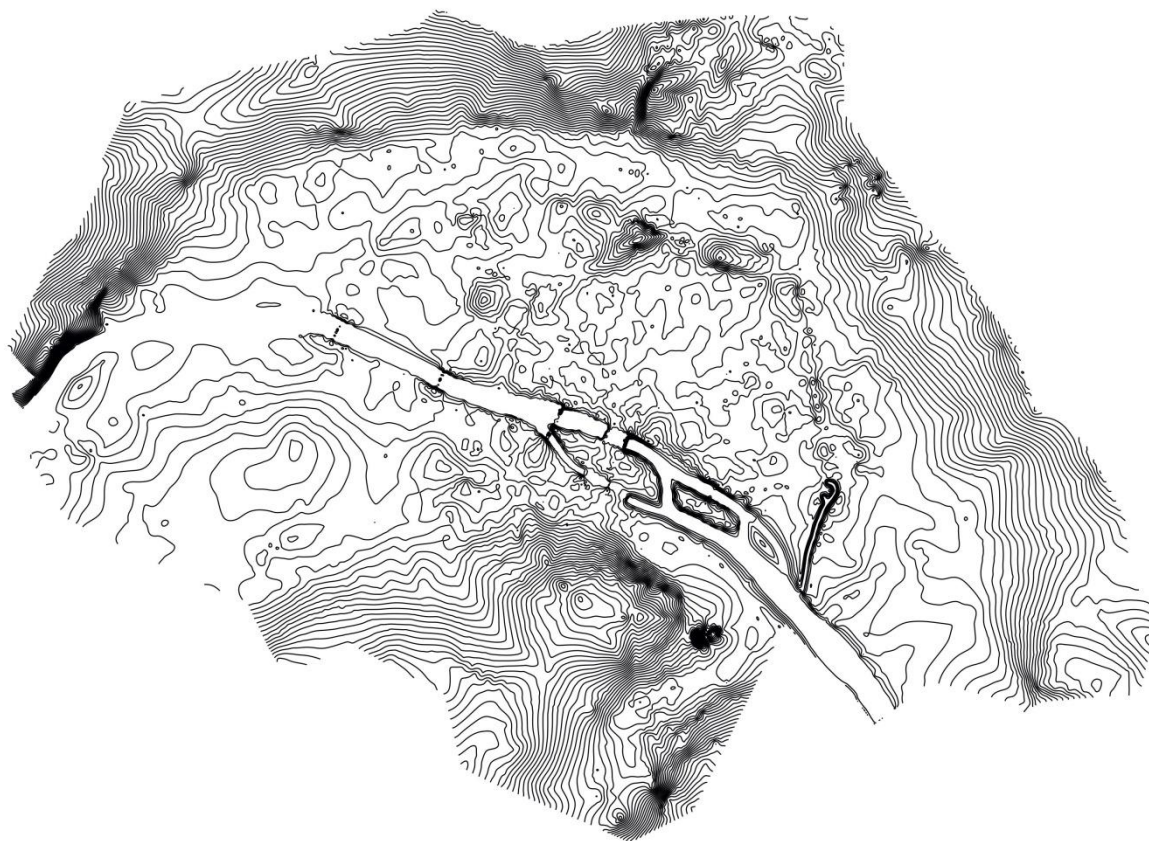
¹³ ADRESSE DU FLUX WMS (ouvert) : <http://134.158.33.227/geoserver/wms>

PLAN_EAU_GIRARD_1805-07	13 polygones	
-------------------------	--------------	---

Nom de la couche : Lignes_MNT_GIRARD

Sur la base du MNT_GIRARD, la couche « LIGNES_MNT_GIRARD » est créée. Elle résulte en l'extraction des lignes de niveau par pas de un mètre issue de ce MNT.

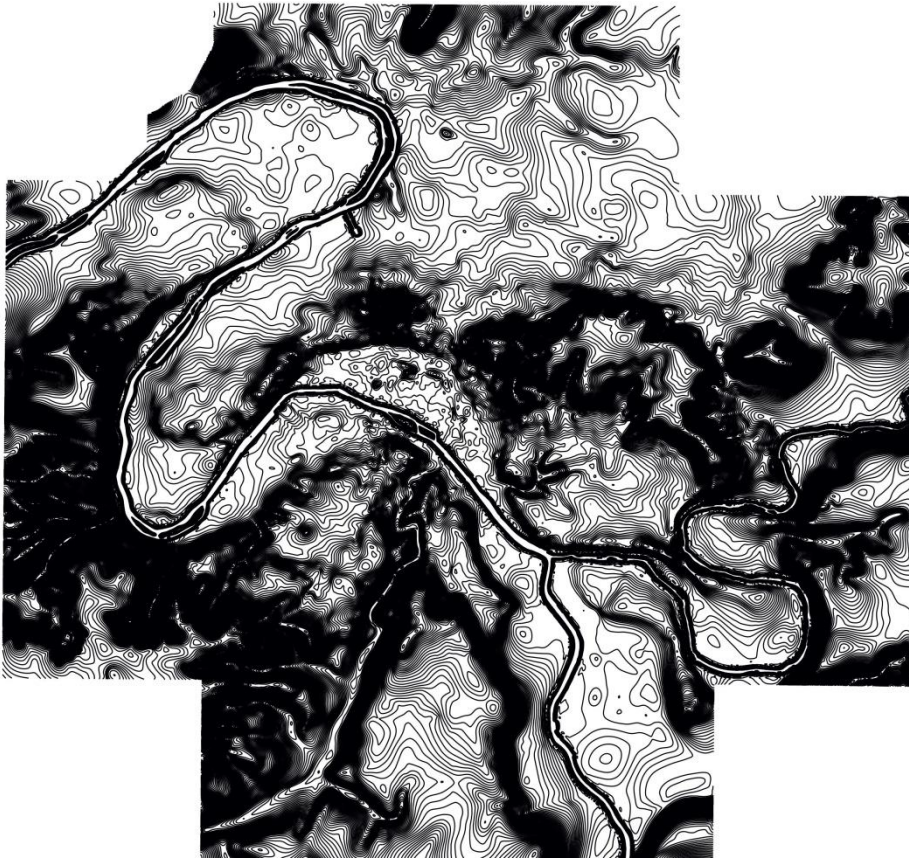
Aperçu de la couche



Nom de la couche : Lignes_MNT_XIX_EME

Sur la base du MNT_XIX_EME, la couche « LIGNES_NIVEAU_MNT_ XIX_EME » est créée. Elle résulte en l'extraction des lignes de niveau par pas de un mètre issue de ce MNT.

Aperçu de la couche



Nom de la couche : Lignes_MNT_PALEORELIEF

Sur la base du MNT_PALEORELIEF, la couche « Lignes_MNT_PALEORELIEF » est créée. Elle résulte en l'extraction des lignes de niveau par pas de un mètre issue de ce MNT.

Aperçu de la couche

