



**HAL**  
open science

## La strate du sol d'une mégapole : observations localisées sur l'Anthropocène

Mathieu Fernandez, Philippe Branchu, Emmanuel Dumont, André Guillerme, Laurence Lestel, Edwige Pons-Branchu, Valentin Pratesi, David Ramier, Valentin Pratesi

### ► To cite this version:

Mathieu Fernandez, Philippe Branchu, Emmanuel Dumont, André Guillerme, Laurence Lestel, et al.. La strate du sol d'une mégapole : observations localisées sur l'Anthropocène. International Conference: Groundwater, key to the sustainable development goals, 2022, Paris, France. hal-04440207

HAL Id: hal-04440207

<https://hal.science/hal-04440207v1>

Submitted on 5 Feb 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License



**HAL**  
open science

## Utilisation de cartes anciennes pour analyser l'évolution à long terme des nappes sous une mégapole : le cas de la carte de Delesse de 1882 à Paris

Mathieu Fernandez, Philippe Branchu, Emmanuel Dumont, André Guillerme, Laurence Lestel, Edwige Pons-Branchu, Valentin Pratesi, David Ramier

### ► To cite this version:

Mathieu Fernandez, Philippe Branchu, Emmanuel Dumont, André Guillerme, Laurence Lestel, et al.. Utilisation de cartes anciennes pour analyser l'évolution à long terme des nappes sous une mégapole : le cas de la carte de Delesse de 1882 à Paris. 2022 International Conference: Groundwater, key to the sustainable development goals, May 2022, Paris, France. , 2018. halshs-04439239

**HAL Id: halshs-04439239**

**<https://shs.hal.science/halshs-04439239>**

Submitted on 5 Feb 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives | 4.0 International License



# Utilisation de cartes anciennes pour analyser l'évolution à long terme des nappes sous une mégapole : le cas de la carte de Delesse de 1882 à Paris

Fernandez M. (1 & 4), Branchu P. (2), Dumont E. (2), Guillerme A. (4), Lestel L. (3), Pons-Branchu E. (1), Pratesi V. (2), Ramier D. (2)  
mathieufernandez@yahoo.fr; edwige.pons-branchu@lscce.ipsl.fr  
(1) CNRS-LSCE; (2) Cerema; (3) CNRS-Métis; (4) CNAM-HT2S

## Anthropisation et nappes de surface : urbanisation et industrialisation à Paris

Les synthèses hydrogéologiques parisiennes ont régulièrement cité la première source disponible sur ce territoire : la carte hydrogéologique du département de la Seine produite en 1862 puis mise à jour en 1882 par Achille Delesse, ingénieur du corps des Mines (Delesse, 1858, 1880, 1882; Diffre, 1969, 1979; Prunier-Leparmontier, 1988; Lamé, 2013). Cette carte est importante à plus d'un titre. Elle a une valeur en histoire des sciences puisqu'elle fournit une des toutes premières approches de cartographie piézométrique complète d'un territoire large à mettre en regard avec les premières applications au sol de la technique des lignes de niveau inventée au XVIII<sup>e</sup> siècle. Elle est essentielle, en histoire environnementale puisqu'elle fournit le plus ancien état renseigné pour l'eau souterraine d'une des grandes mégapoles mondiales qui est au cœur des préoccupations environnementales. Enfin, elle a une valeur en cartographie puisqu'elle doit être comprise au prisme de sa conception pour communiquer avec des données contemporaines et donner lieu à des applications diachroniques.

Cette communication vise à rendre compte d'un récent travail d'intégration complète de cette source dans un SIG environnemental parisien. Nous reviendrons sur les valeurs de la carte de Delesse à travers ce travail technique de fond. Les principes de l'utilisation des SIG appliqués aux cartes anciennes reposent avant tout sur le géoréférencement et la saisie vectorielle. Le géoréférencement le plus précis de la carte de Delesse est lié à son échelle de conception. Les techniques géomatiques permettent de mesurer les marges d'erreurs cartographiques. La conversion des systèmes de nivellements utilisés au cours du temps résulte d'une analyse bibliographique fouillée. Une fois ces opérations réalisées, il est possible d'appliquer des outils d'analyse spatiale fournis par les SIG pour mettre en évidence les évolutions des niveaux piézométriques sur plusieurs zones urbaines. De la même manière que pour des recherches concernant le sol et les remblais, ces résultats montrent comment la zone critique a évolué topographiquement dans une zone urbaine dense.

Ce type de données est essentiel pour caractériser l'impact de l'urbanisation ou de l'industrialisation sur les niveaux des nappes, et peut, par exemple, être utilisé dans des modélisations hydrogéologiques déterministes pour étudier les mécanismes de recharge en milieu urbain, les phénomènes de remontée de nappe, ou encore compléter des approches qualitatives. La pratique des humanités numériques permet de formaliser les échanges interdisciplinaires entre les sources archivistiques et les sciences environnementales. De plus, la réflexion sur le mode de conception de la carte, issue de relevés des niveaux d'eau dans les puits dans les années 1850 et suivantes, permet d'en rechercher les marges d'erreurs topographiques et d'en fixer les limites pour l'utilisation spatiale et quantitative.

Le ANR Huniwers porté par le Cnrs-Lsce (ANR-18-CE22-0009) se concentre sur les contaminations historiques concernant les eaux de surfaces urbaines à travers des ouvrages anciens drainant des nappes phréatiques ou des infiltrations. Les sources du XIX<sup>e</sup> siècle sont essentielles à ces recherches en fournissant un jalon qualifiable de "plus ancien état répertorié" indispensable pour saisir des évolutions environnementales urbaines.

## Achille Delesse (1817-1881)

"L'hydrogéologie de la région parisienne et la connaissance de son sous-sol doivent énormément à Delesse [...]. Delesse étudie aussi les nappes phréatiques et profondes, et en dresse une carte générale pour la France, ainsi que des cartes régionales. D'après J. Barral (1882, p. 315) Les cartes... de la ville de Paris, de la Seine et de la Seine-et-Marne restoront des modèles où la distinction des différentes nappes souterraines et leur représentation par des courbes permettent de résoudre une foule de questions relatives à la salubrité, au régime des rivières, au drainage et l'exécution des travaux en profondeur. Delesse a montré par exemple que ce sont les versants qui alimentent la rivière et non la rivière qui crée la nappe latérale. Les courbes de niveau se relèvent en effet à partir du talweg. Le livre du centenaire de Polytechnique (T. 3, p. 182) précise que ces cartes donnent au moyen de courbes horizontales et de teintes spéciales, la position et les conditions de gisement des nappes d'eau souterraines ainsi que leur mode d'écoulement." (Boulaïne & Trichet, 2014)

"Les fonctions que Delesse a remplies dans le Corps des Mines, notamment lorsqu'il était chargé de l'inspection des carrières de la Seine, lui ont fourni de nombreuses occasions de rendre service à la fois à la science et à la pratique. Ses cartes géologiques de Paris, de la Seine et de Seine-et-Marne, ne sont pas seulement de véritables trésors de renseignements relatifs à la composition du terrain; elles se font remarquer surtout par un essai de représentation souterraine des couches géologiques à l'aide de courbes de niveau, bien propres à faire apprécier les variations de leur allure, ces courbes imprimant à la définition du sous-sol une précision dont il est superflu de faire ressortir l'importance, non seulement au point de vue scientifique, mais encore en matière de constructions, de travaux publics et de recherches d'eau. C'est ce dernier objet qui a déterminé Delesse à entreprendre les Cartes hydrologiques de la Seine et de Seine-et-Marne, où les nappes d'eau sont figurées par le même procédé." (Lapparent, 1882)

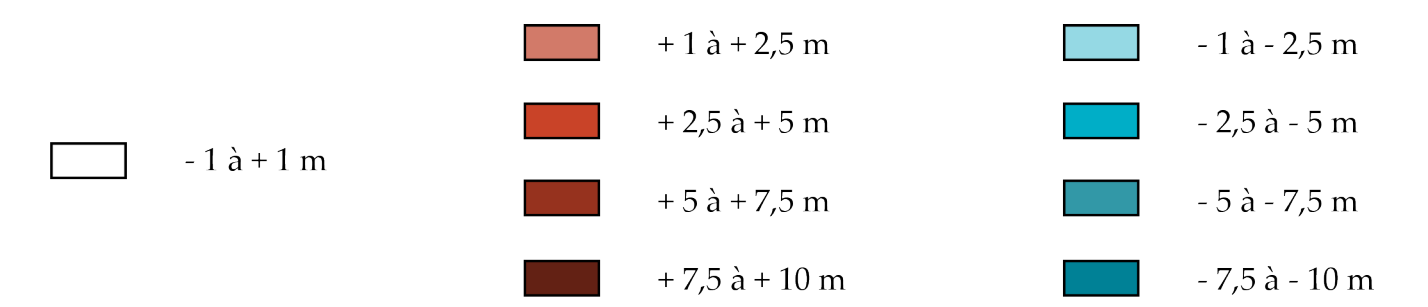


## Méthode et sources

Divers travaux menés sur les cartes topographiques, géologiques, hydrogéologiques nous permettent d'envisager l'utilisation des cartes de Delesse comme archives environnementales pour la mégapole parisienne (Fernandez, 2018, 2020). Les cartes 1880 et 1882 sont mobilisées dans la suite de ce travail. De manière plus générale, les méthodes exposées plus précisément par la suite concernent l'usage des systèmes d'information géographique (SIG) appliqués à cette catégorie d'archives urbaines.

## Principales étapes réalisées à l'aide d'outils SIG

(6) Soustraction du modèle numérique de terrain (ou ici de nappe) associé aux données de 1882 à celui de 1960-2020 :

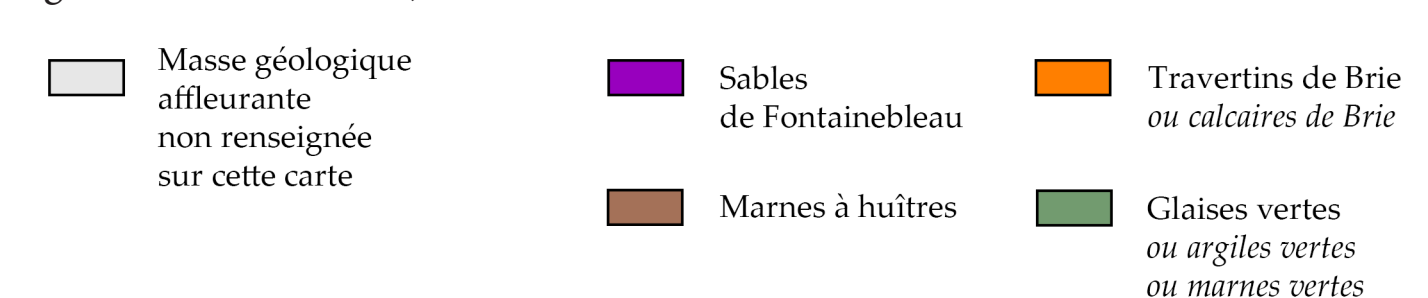


(5) Krigeage :

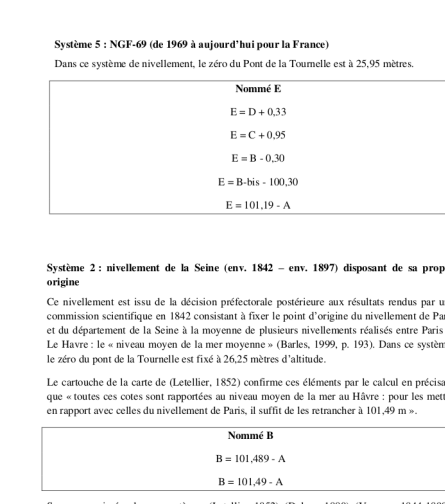
- outil géostatistique permettant une interpolation entre les points de la période 1960-2020
- sa dimension prédictive permet de supprimer les points susceptibles d'être des anomalies (effets de sources disparates étalées sur plusieurs décennies - institutions, archives, aléas techniques)

(4) Recherche de données concernant la période 1960-2020 pour deux nappes perchées parisiennes :

- 271 points piézométriques pour la nappe des calcaires de Brie sous le plateau de Malassis (Borst W. & Cerema, 2012, non publié ; sources primaires non détaillées ici)
- 77 points piézométriques pour la nappe des calcaires de Brie sous le plateau de Rungis (Fernandez d'après les cartes géologie petite couronne non publiées de l'Inspection générale des carrières)

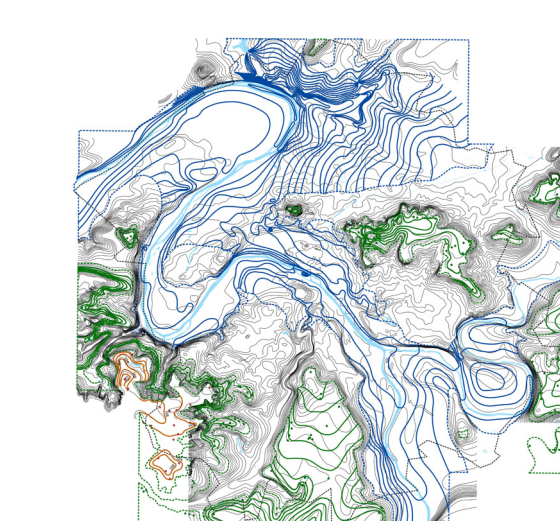


(3) Compréhension des systèmes de nivellements successifs de 1805 à 1969 :



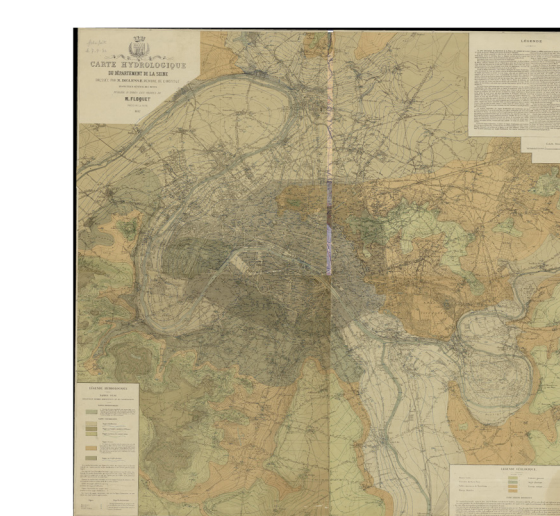
- cinq systèmes de nivellements ont été employés par les services techniques du département de la Seine ou au niveau national depuis l'invention du premier d'entre eux par Pierre-Simon Girard à Paris en 1805-07
- une recherche historique a permis de les convertir les uns par rapport aux autres (Fernandez, 2020)

(2) Vectorisation :

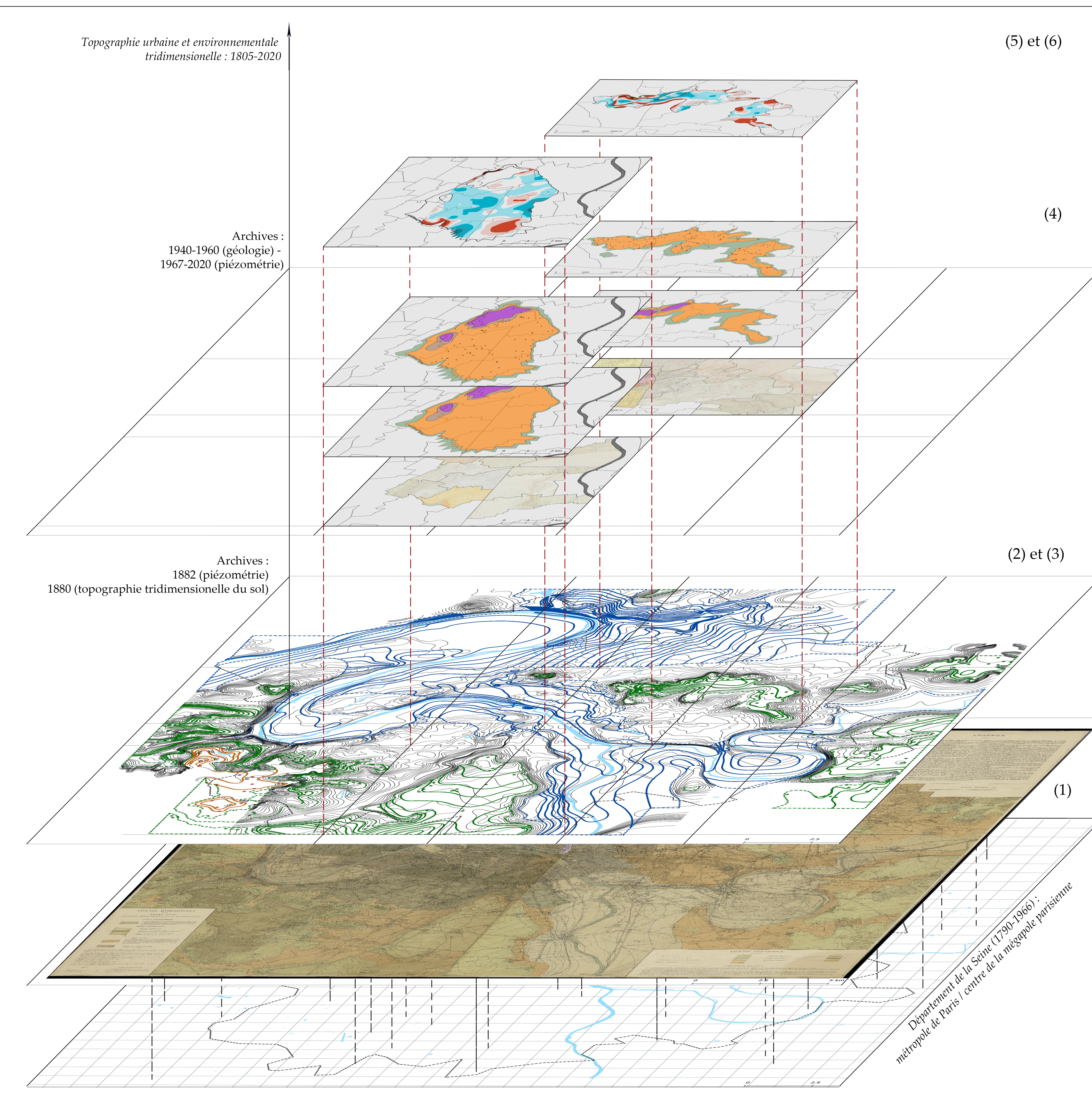


- Saisies vectorielles réalisées :
- courbes altimétriques 1880 ;
  - courbes piézométriques de la nappe alluvionnaire 1882 ;
  - courbes piézométriques de la nappe des marnes vertes 1882 ;
  - points piézométriques de la nappe des marnes vertes 1882 ;
  - bilan provisoire : environ 150 000 points associés à une altimétrie cartographiée en 1880-82.

(1) Géoréférencement :



- Caractéristiques :
- méthode de géoréférencement privilégiée : par points de contrôle sur la topographie actuelle (source cadastrale) ;
  - 2024 points sont affectés aux cartes de 1880-82 ;
  - transformations géométriques privilégiées : projectives ne déformant pas la source ;
  - bilan : erreur cartographique calculée comprise entre 23 et 31 m pour des cartes sources à l'échelle 1/25 000<sup>e</sup>



## Discussions : dimensions et interdisciplinarité

### Espace/volume : le territoire spécifique d'une mégapole

La mégapole est le plus ancien territoire mesuré en trois dimensions : le phénomène est explicable par l'urbanisation elle-même (densité technique et scientifique, laboratoire d'expérimentations précoces dont Achille Delesse est un personnage révélateur).

### Temps : archives environnementales "de papier"

Ce sont des archives de plus de deux siècles qui fournissent une profondeur temporelle spécifique du territoire étudié ; l'évolution des archives, des sciences qui ont permis leur création (cartographie, ingénierie, hydrogéologie) sont du registre des humanités.

### Mesures et modèles : topographie et mathématiques

Les modélisations historiques, depuis l'algorithme dixénaire cité par l'inventeur des lignes de niveau (Du Carla, 1780), jusqu'au krigeage devenu le standard de la modélisation géostatistique dans les années 1960 (G. Matheron) sont des méthodes mathématiques appliquées à des mesures topographiques souvent liées à la ville ou à des travaux urbains. Tandis qu'Achille Delesse répertorie le niveau d'eau dans les puits, les modélisations actuelles des nappes se basent sur un certain nombre de mesures piézométriques, rarement synchrones mais plutôt à concevoir comme des recensements d'archives disparates issues de divers travaux ou campagnes de mesures urbaines et conservées par diverses institutions.

## Conclusions : que mesure-t-on ?

Est-ce une évolution de mesures historiques (histoire topographique, des techniques et des sciences) ou bien une évolution topographique des nappes phréatique (environnementale) ?

- Deux exemples :
- les cartes Delesse (1882) et Diffre (1969) ne dissocient pas les nappes des calcaires de Brie et des sables de Fontainebleau : l'évolution conceptuelle des objets mesurés est bien réelle
  - à contrario, les grandes évolutions dues aux effets anthropiques sur les nappes (Seine Saint-Denis, Paris) ont été démontrées par comparaisons de cartes montrant des variations piézométriques très importantes (supérieures à 10 m) (Diffre, 1979; Fouché et Hirshauer, 2007; Lamé, 2013; Guillerme & Fernandez, 2019)
- Réponse : les deux. L'apport des humanités numériques (ici autour des SIG historiques) permet de discuter de la part de l'un ou de l'autre.

## Bilan du cas Delesse

- Espace/volume. Enrichissement par les archives historiques des mesures hydrogéologiques concernant une grande ville faisant office de "plus ancien état documenté"
- Temps. Au-delà du support papier conservé par des archives publiques : l'intégration à un support numérique libre et public permet de prolonger cette approche
- Mesures et modélisations. La dimension temporelle et archivistique des données concernant l'hydrogéologie est rarement discutée dans la bibliographie
- Interdisciplinarité. Les opérations réalisées révèlent une zone de porosité entre sciences humaines et sciences "naturelles" : histoire des techniques, sciences environnementales, humanités numériques

## Perspectives

- Espace/volume. Importance de l'archivage des données contemporaines (enjeux juridiques par exemple liés aux grands travaux - Grand Paris) : question qui ne se posait pas avec les puits observés par Achille Delesse et ses équipes
- Temps. La création de données topo-historiques numériques devient un enjeu de recherche pour la perception évolutive environnementale (Diffre 1970, thèses ouvertes, archives institutionnelles, de recherches, etc.)
- Interdisciplinarité. La méthode historique enrichit-elle à quantifier l'évolutivité dans la géologie et l'hydrogéologie ?
- Mesures et modélisations. Les résultats probabilistes du krigeage permettent d'envisager de cartographier les zones où l'amplitude mesurée du phénomène est supérieure à la marge d'erreur historique (paramètres déjà évoqués : mesures asynchrones, battements de nappes, faible densité de points, marge d'erreur cartographique ou de la mesure elle-même, etc.)

## Références

- Boulaïne J., Trichet J., (1997), « Achille Delesse (1817-1881) et ses cartes thématiques », in *Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie*, Comité français d'Histoire de la Géologie, 3<sup>ème</sup> série (tome 11), pp. 59-67. URL : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00932536>
- Delesse A., (1858), *Carte hydrologique de la ville de Paris, publiée d'après les ordres de Mr le baron G. E. Haussmann, préfet de la Seine et exécutée par Mr Delesse. Dessiné par Al. Babinski, Avril frères, Paris*
- 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, L. Wuhrer, Paris*
- Delesse A., (1882), *Carte hydrologique du département de la Seine, L. Wuhrer, Paris*
- Diffre P., (1969), *Hydrogéologie de Paris et de sa banlieue*, Thèse de l'Université de Paris, Faculté des sciences
- Diffre P., (1979), "Désordres dans les sous-sols des constructions récentes à Paris liés à la remontée des nappes peu profondes", in *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences et des Lettres de Paris*, Paris, 283, pp. 117-120
- Ducarla M. (1782), Expression des nivellements ou méthode nouvelle pour marquer rigoureusement sur les cartes terrestres et marines les hauteurs et les configurations du terrain, Dupain-Triel, Paris, 111 p.
- 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. DOI : <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.12016>
- Fernandez M., (2020), *Rapport technique du travail effectué pour le groupe MNT de Paris Time Machine*, URL : [https://paris-timemachine.huma-num.fr/web/wp-content/uploads/2020/02/2020\\_02\\_20\\_Rapport\\_final\\_Fernandez\\_Chanterel.pdf](https://paris-timemachine.huma-num.fr/web/wp-content/uploads/2020/02/2020_02_20_Rapport_final_Fernandez_Chanterel.pdf)
- Fouché O., Hirschauer A., (2007), "Evolution piézométrique de la nappe phréatique de Seine-Saint-Denis et zonage d'infiltrabilité", *Colloque Hydrogéologie en milieu urbain*, CFH-AIH, Comité Français d'Hydrogéologie, Lyon, France
- Guillerme A., Fernandez M., (2019), « Les caves de Paris : fondements de la première industrialisation (1740 - 1840) », in Alain Salamagne, Clément Alix, Lucie Gaugain, *Caves et celliers : dans l'Europe médiévale et moderne*, Presses universitaires François-Rabelais, pp. 355-372, 2019. URL : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-03188713>
- Lamé A., (2013), *Modélisation hydrogéologique des aquifères de Paris et impacts des aménagements du sous-sol sur les écoulements souterrains*, Thèse de l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris. URL : <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00973861>
- Lapparent A. de (1882), "Notice nécrologique sur M. A. Delesse", *Bull. Soc. géol. Fr.*, (3), 10, p. 306-328.
- Prunier-Leparmontier A.-M., (1988), *Les problèmes géologiques et géotechniques de la Ville de Paris*, Thèse de l'École Nationale Des Mines de Paris, 244 p.