

COMPRENDRE LE COMPORTEMENT GEOTECHNIQUE DU PARC DES BUTTES-CHAUMONT EN RECONSTITUANT SON HISTOIRE

UNDERSTANDING THE GEOTECHNICAL BEHAVIOR OF BUTTES-CHAUMONT PARK BY RECONSTRUCTING ITS HISTORY.

Gildas NOURY¹, Clara LEVY¹, Isabelle HALFON¹, Margaux FLIPO-HOUZE¹, Florian MASSON¹, Marc PERUZZETTO¹

¹ BRGM, Orléans, France.

RÉSUMÉ – Aménagé sur d'anciennes carrières de gypse, le parc des Buttes-Chaumont constitue un ensemble géotechnique de 25 ha unique au monde. Fruits de 3 ans de travaux colossaux, il subit dès son ouverture en 1867 des désordres réguliers qui impliquent d'importantes réfections. En retraçant son histoire, le BRGM permet à la ville de Paris de mieux gérer son état actuel et d'anticiper efficacement les prochains travaux.

ABSTRACT – Located on former gypsum quarries, the Buttes-Chaumont Park represents a geotechnical object unique in the world. Resulting of three years of colossal works, it experienced regular disorders from its opening in 1867, leading to significant refurbishments. By tracing its history, the BRGM enables the city of Paris to better manage its current state and effectively anticipate upcoming work.

1. Introduction

Le parc des Buttes Chaumont est un site complexe à l'histoire ancienne. Ancienne carrière, le secteur a été reconverti au XIX^{ème} siècle en parc paysager. Cet aménagement, fait dans l'esprit romantique de l'époque, permet, entre autres, de se promener sur une île artificielle, de visiter des grottes et de profiter d'un point de vue sur la ville depuis une ancienne masse de gypse laissée en place.

En mai 2021, la ville de Paris a sollicité le BRGM pour comprendre l'origine de désordres apparus sur les falaises. D'importantes faiblesses ont été repérées, avec un risque pour les usagers (Lévy, 2021). L'état de certains secteurs s'est par ailleurs révélé incertain, avec des interrogations sur de possibles glissements et d'éventuels effondrements de terrain.

Suite à cette expertise, la circulation dans le parc a été sécurisée et la ville de Paris a demandé au BRGM de procéder à une analyse détaillée de l'ensemble du site pour y évaluer les risques de mouvements de terrain. Cet article offre un panorama d'ensemble de cette étude (étude formalisée par un rapport public – Noury et al., 2022).

2. Méthodologie

L'analyse du BRGM s'est déroulée en trois phases : la collecte d'informations, le classement et le tri des données, et enfin une synthèse et analyse globale.

2.1. Documents

L'étude historique de Levêque et Picon (2007) constitue le document fondateur des recherches effectuées. Il a été complété par les recherches suivantes :

- Sept établissements ont été visités : archives nationales (sites de Paris et de Pierrefitte-sur-Seine), archives départementales de Paris, archives de la Direction des Espaces Verts et de l'Environnement (DEVE – au Parc et à l'Avenue de France), musée Carnavalet et Bibliothèque Historique de la Ville de Paris (BHVP).

Quand ils existent, les inventaires numériques ont d'abord été consultés pour cibler les boîtes d'archives potentiellement intéressantes. Chaque boîte a ensuite été parcourue ; les documents pertinents ont été numérisés.

- Une recherche en ligne a été menée sur les sites de la BnF (Bibliothèque Nationale de France), de l'Institut National de l'Audiovisuel (INA) et de l'Atelier Parisien de l'URbanisme (APUR).
- L'Inspection Générale des Carrières (IGC) a fourni les documents numériques en sa possession. La plupart concernent les travaux relativement récents d'injections des sols au niveau de certains bâtiments et de nombreuses voiries.

Au total, environ 2800 documents ont été collectés, représentant une masse numérique d'environ 3 Go. Il s'agit de photographies, de dessins, de peintures, de reportages, de plans, de rapports d'études, de devis, de projets et du suivi de travaux, de rapports d'évènements, de récits, etc. La répartition temporelle des documents collectés, avec les principaux évènements « géotechniques » associés est présentée en Figure 1.

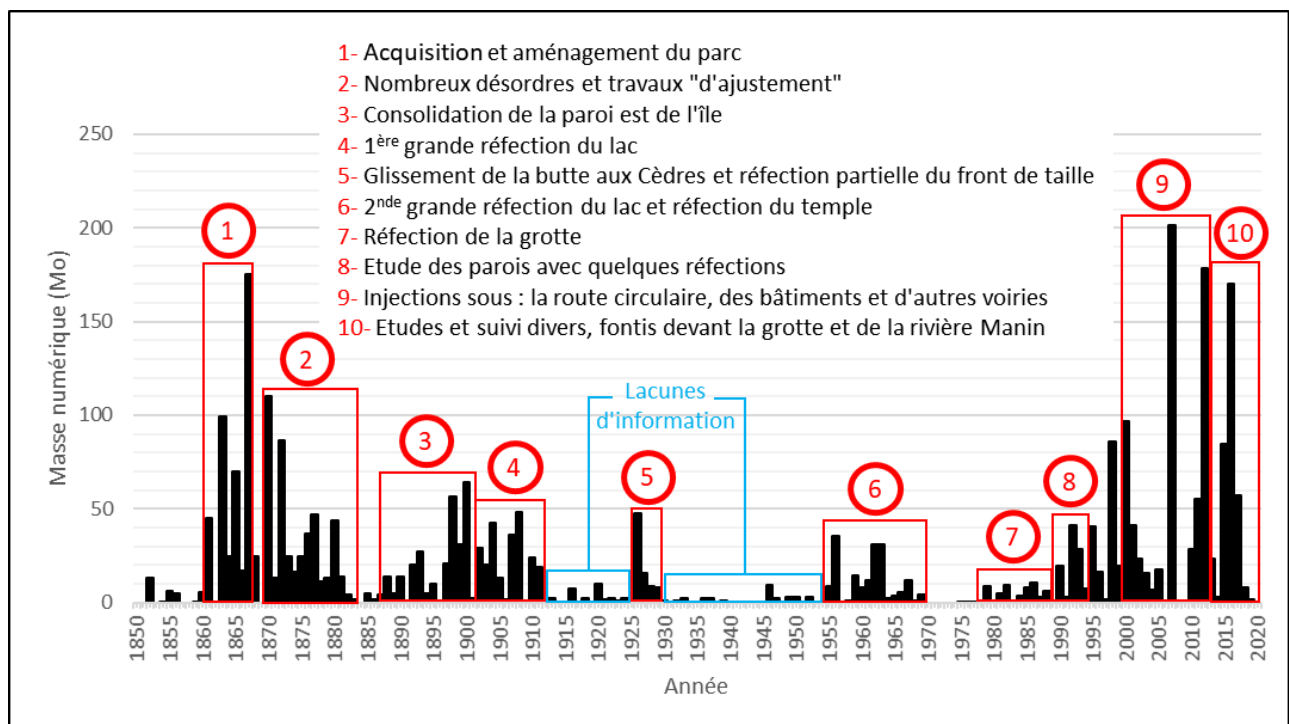


Figure 1. Répartition temporelle des données collectées et principaux évènements géotechniques

Le classement numérique des données a été effectué en renommant les fichiers par date, auteur, lieu, sujet, et source, avec le format suivant : Date_Auteur_lieu_sujet(source), de manière à retrouver facilement les documents recherchés lors de l'analyse.

2.2. Visites

Une série d'inspections visuelles a également été réalisée sur l'intégralité du parc, y compris autour de l'île, zone normalement fermée au public.

2.3. Capitalisation des données

L'ensemble des informations acquises a été capitalisé dans un Système d'Information Géographique (SIG) à l'aide du logiciel QGIS. Cela permet à la fois i) de recouper les informations de manière spatiale pour en tirer une analyse, ii) de conserver l'information dans le temps pour pouvoir ensuite les mettre à jour.

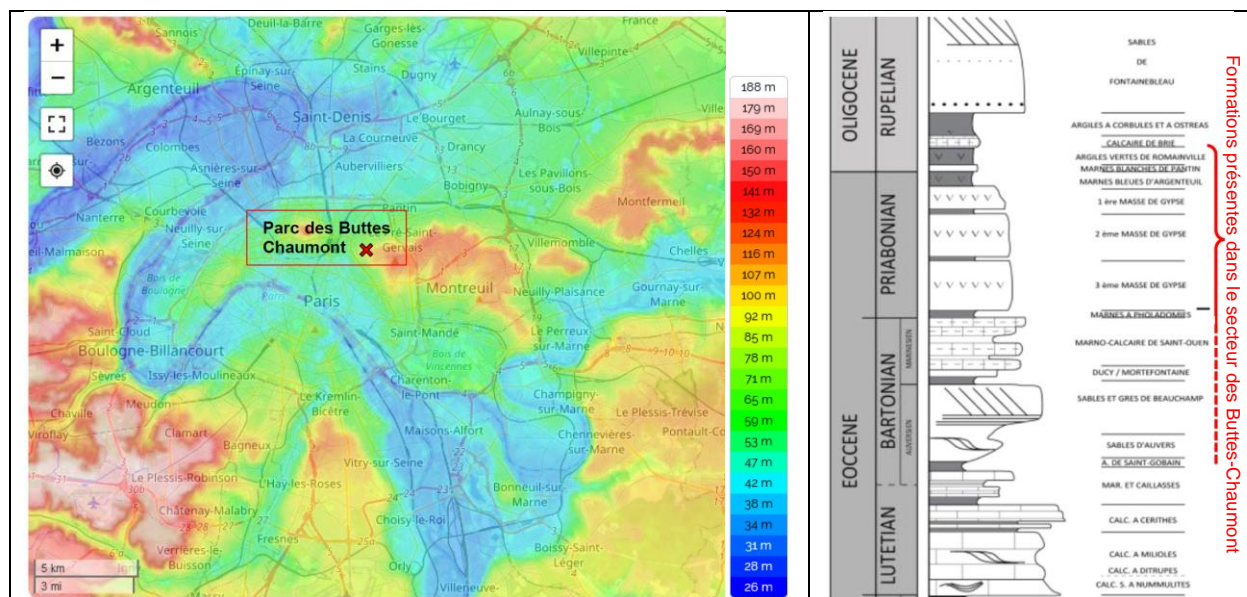
Ce travail a servi à reconstituer l'histoire du parc et à bien comprendre son état actuel.

3. Histoire du parc

3.1. Un secteur d'anciennes carrières

Le parc des Buttes Chaumont se situe à l'extrémité ouest du plateau de Romainville. Ce plateau constitue une butte-témoin des formations géologiques de l'Eocène supérieur (étage du Ludien – équivalent au Priabonien, de -37.8 à -33.9 millions d'années) et de l'Oligocène inférieur (étage du Stampien, de -33.9 à -28.1 millions d'années).

La partie haute du parc (à l'est) se trouve à 90-95 m d'altitude. Avec des berges situées vers 58 m d'altitude, le lac constitue le point le plus bas du parc. Les terrains en haut du parc sont constitués de haut en bas : de remblais, puis rapidement du Calcaire de Brie, des Argiles Vertes de Romainville (AV) et des Marnes Supra-Gypseuses (MSG). Les quatre masses du gypse (communément appelées MG1 à 4) ont été exploitées à de multiples endroits du secteur depuis au moins le 17^e siècle. A en croire les cartes anciennes, cette exploitation a vraisemblablement fait reculer la colline de 150 m environ.



D'abord menée à ciel ouvert, l'extraction de gypse s'est progressivement enterrée, avec de multiples entrées en cavage, de manière non seulement à préserver les nombreux moulins situés à l'époque sur la colline, mais aussi pour atteindre les masses les plus profondes (MG2 et 3). Des carrières en chambre et piliers tournés s'étendent alors sous le plateau : dans la MG1, les vides atteignent souvent 20 m de hauteur. Suite à la catastrophe de Ménilmontant en 1778 (mort de sept personnes tombées dans un fontis causé par un effondrement dans une carrière de gypse), une déclaration royale interdit les exploitations en cavage pour le plâtre. Malgré cela, les extractions souterraines se poursuivent certainement pendant des années (légalement pour ce qui concerne la carrière d'Amérique situées 500 m à l'est des Buttes-Chaumont). Le comblement des carrières commencerait à ce moment mais les informations à ce sujet sont imprécises. Des opérations de foudroyage, à grande échelle visant à faire s'effondrer les carrières sur elles-mêmes, sont menées en 1780, notamment sur deux carrières « *en tête de la butte de Chaumont* ». L'inspecteur général des carrières Dunkel écrit en 1885 que cette technique a été abandonnée en raison notamment de la persistance de vide entre les masses effondrées. En 1871, l'incendie de l'Hôtel de Ville de Paris où se situait l'IGC fait disparaître d'importants documents. Les atlas actuels présentent tout de même une partie de ces carrières, mais avec des incertitudes.

La construction de l'actuelle ligne 7bis du métro dans les années 1900 comble partiellement ces lacunes : les carrières souterraines sont retrouvées le long de la ligne sous la rue Botzaris (Figure 2) ; elles ont bien été comblées mais par des argiles molles qui vont complexifier l'aménagement des voies. Des vides résiduels sont également découverts, ce qui montre bien que le comblement n'a pas été entièrement effectué.

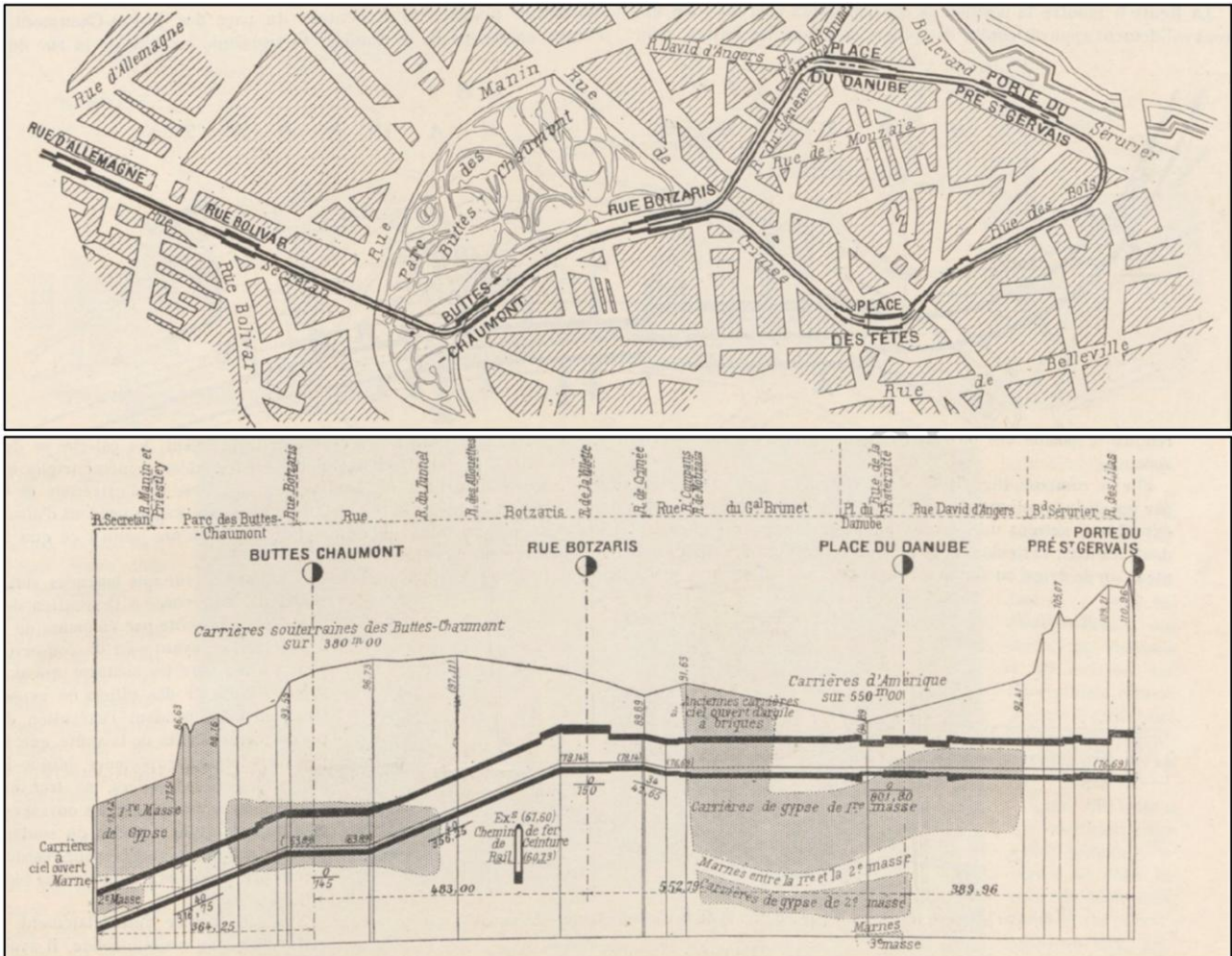


Figure 2. Extrémité de l'actuelle ligne de métro 7 bis : plan et profil en long (Suquet, 1911)

Au milieu du 19^e siècle et alors que les extractions souterraines cessent peu à peu, celles à ciel ouvert se poursuivent : le gypse est transformé en plâtre, les argiles en briques et de la chaux est également produite. Elles finissent par être contraintes par la raréfaction des emprises disponibles. C'est à ce moment que naît le projet d'aménagement du parc.

3.2. La construction du parc

L'aménagement du parc se fait dans le cadre des travaux d'embellissement de la capitale par le baron Haussmann à la demande de Napoléon III. Le Service des Promenades et Plantation, dirigé par Adolphe Alphand, confie cette tâche à Jean Darcel, ingénieur des Ponts et Chaussées.

L'acquisition des terrains se fait en 1863. Leur topographie chahutée, héritage des anciennes carrières, oriente l'aménagement vers un paysage mêlant la montagne et la mer dans la vision romantique de la nature de l'époque (l'aiguille près du Lac est souvent comparée à celle d'Étretat). Les fosses des carrières et le front de taille (haut par endroit de près de 30 m) imposent d'importants déblais/remblais (déblais estimés à 410 000 m³ et

remblais à 520 000 m³, soient respectivement 10 et 13 fois le volume de l'arc de triomphe).

Le plan topographique d'Alphand (1873) permet de retracer précisément l'avant/après. Le BRGM a digitalisé ce plan et l'a transformé en vue 3D (Figure 2a) dont les couleurs représentent les déblais (en bleu) et les remblais (en rouge). Cela permet de visualiser comment « l'île » a été créée : il s'agit d'une masse non exploitée par les carriers qui a été isolée du reste. Sa base est faite de gypse (MG1), avec au-dessus les MSG et les AV.

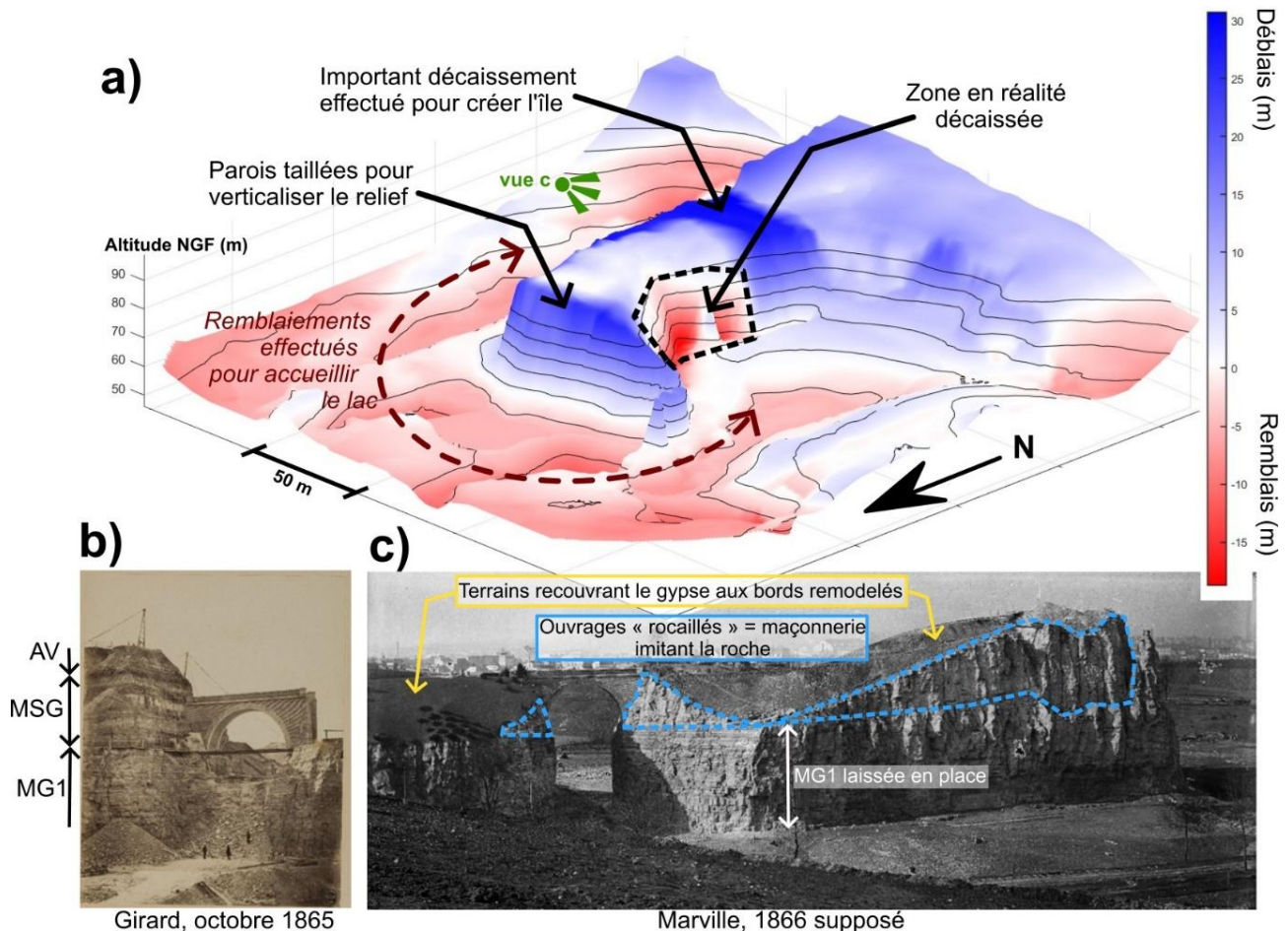


Figure 3. a) Modèle topographique 3D avant/après l'aménagement du parc au niveau de l'île ; b) et c) Vues de la paroi est de l'île (Girard, 1865 et Marville, vers 1866)

Les reportages de Marville et de Girard, avec des clichés pris en chambre grand format, illustrent de manière incroyablement précise ces travaux (Figure 2c). On comprend avec ces photos les travaux menés pour rendre cette zone encore plus verticale : le bas des parois (gypse des MG1) a non seulement été retaillé, mais des murs de soutènement ont aussi été ajoutés au-dessus. Ces murs sont une maçonnerie de blocs de gypse et de meulière et leur parement extérieur est un « rocailage », qui imite la roche d'une manière telle que la transition entre le gypse en place et les ouvrages est parfois imperceptible. À côté, le pont voûte (aussi appelé pont des suicidés) est encadré au sud par des terrains laissés en place, alors qu'au nord (du côté de l'île), ces terrains ont, assez étonnamment, été remplacés par des remblais (Figure 2b).

Les autres grands travaux comprennent : le remblaiement des fosses entourant l'île pour y accueillir un lac de 2,2 ha, une grotte et une cascade dans un renforcement du front de taille, des rivières artificielles courant à travers les pelouses, et enfin de nombreux bâtiments disséminés dans tout le parc : restaurants, bâtiments de garde, manèges, etc.

3.3. Les désordres les plus importants survenus après l'ouverture du parc

Les travaux durent trois ans. Le parc est inauguré en 1867, à temps pour accueillir les visiteurs de la septième Exposition Universelle. Dès ce moment, les travaux vont se répéter à intervalles plus ou moins réguliers pour réparer de nombreux désordres géotechniques.

Les premiers dommages apparaissent sur le **lac** dès l'ouverture du parc : neuf effondrements surviennent en quelques mois. Leur origine est à l'époque imputée à d'anciennes galeries souterraines et au tassement des remblais. Il apparaît maintenant évident que la conception du lac n'avait pas suffisamment pris en compte ces contraintes et qu'elle avait également négligé la dégradation accélérée des remblais gypseux par l'eau du lac fuyant à travers un fond pas assez étanche. A chaque fois, le dallage est refait et le lac remis en eau. De nombreux autres effondrements continuent d'apparaître jusqu'à ce qu'une première réfection d'ampleur soit réalisée dans les années 1900 et 1910 : le simple dallage coulé à même le sol est en grande partie remplacé par une dalle armée, portée par des fondations sur pieux. Cette réfection est complétée bien plus tard, entre 1959 et 1969, après la découverte de nouveaux affaissements ayant brisé la dalle. Plus récemment, c'est au tour de la **route circulaire du lac** d'être confortée, cette fois par des injections (années 2000 et 2010). Ces comblements traitent aussi une partie des **voiries** du parc, en raison de plusieurs effondrements (dont le plus gros serait un fontis de 8 m de diamètre et 15-16 m de profondeur survenu en 1990 près des sanitaires donnant sur la rue Botzaris).

Les **reliefs du parc** font eux aussi rapidement l'objet de réparations pour remédier aux chutes de pierres et de blocs et aux dégâts causés par un incendie lors du siège de Paris en 1870. La paroi est de l'île est ainsi purgée et consolidée entre 1886 et 1902 avec l'ajout en trois phases d'un épais masque maçonné recouvrant par endroit toute la hauteur de la falaise (Figure 4). Ce procédé a été utilisé à d'autres endroits, par exemple autour de la culée sud du pont voûte en 1876. Dans les années 1980, un revêtement en béton projeté va à son tour chercher à limiter les dégradations des parois côté nord du pont voûte.

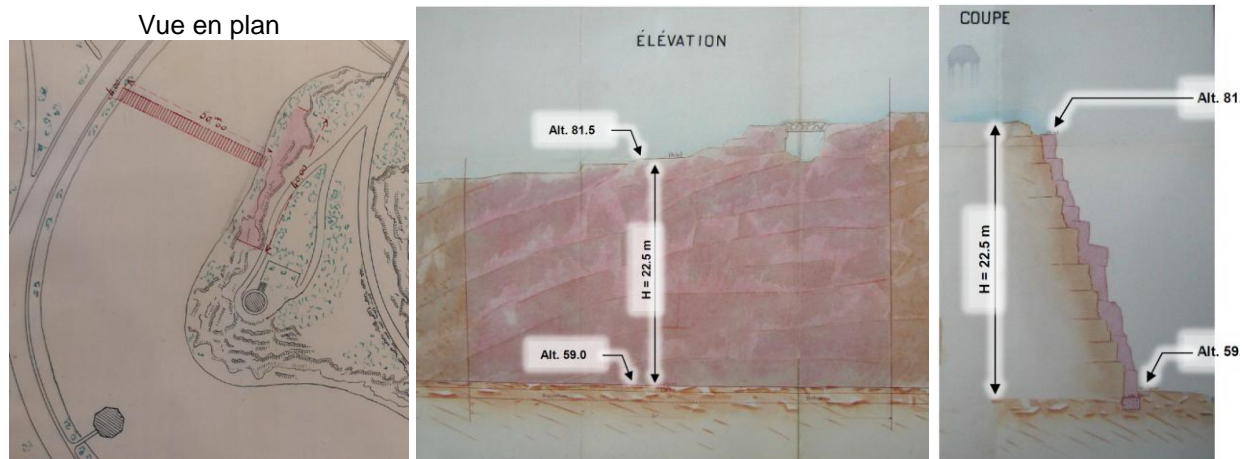


Figure 4. Consolidation de la paroi est de l'île en 1898-1902, seconde phase.

La **grotte** est également plusieurs fois fragilisée. On pourrait croire que cette grotte est l'entrée d'une ancienne carrière souterraine, mais, s'il y en avait certainement une, l'analyse des photos prises par Marville et Girard montre que la grotte et sa cascade ont en réalité été construites de toute pièce, avec des murs et des piliers maçonnés et un plafond en béton, auquel sont suspendues des stalactites artificielles. Après d'autres événements similaires, un éboulement d'une dizaine de mètres cubes impose la fermeture de la grotte entre 1916 et 1923. Elle semble ensuite à nouveau avoir été condamnée entre 1945 et les années 1980, date à laquelle un chantier conséquent la confortera : des

injections à l'arrière de l'ouvrage cherchent alors à la rendre monolithique. Dernièrement, en 2014, la chute d'une stalactite a révélé des faiblesses résiduelles.

D'autres mouvements de terrain marqués ont enfin affecté le reste du parc, comme en témoigne l'ancien nom de l'actuel Avenue Edouard Petit : l'Avenue du Glissement. De plus petits mouvements ont également abîmé une partie des bâtiments du parc sous lesquels des injections ont été effectués dans les années 2000 et 2010.

4. Etat des connaissances et état du parc

Grâce au traitement global des archives, le BRGM a reconstitué l'histoire géotechnique du parc en « 4 dimensions » : dans l'espace, en profondeur et dans le temps.

La gestion à long terme du site est désormais facilitée par cet état des lieux. Les principaux ouvrages géotechniques disposent chacun d'une fiche de synthèse : elle présente les principales dates de travaux et leurs natures, les désordres les plus importants, les faiblesses actuelles ainsi que les incertitudes résiduelles (très variables selon les secteurs). Les éléments concernant la paroi est de l'île sont donnés à titre d'exemple en Figure 5. Les détails sont tous disponibles dans un rapport et via l'ensemble des documents collectés, nommés et rangés dans des dossiers numériques. Le repérage de la plupart de ces informations peut enfin se faire grâce au SIG livré avec l'étude.

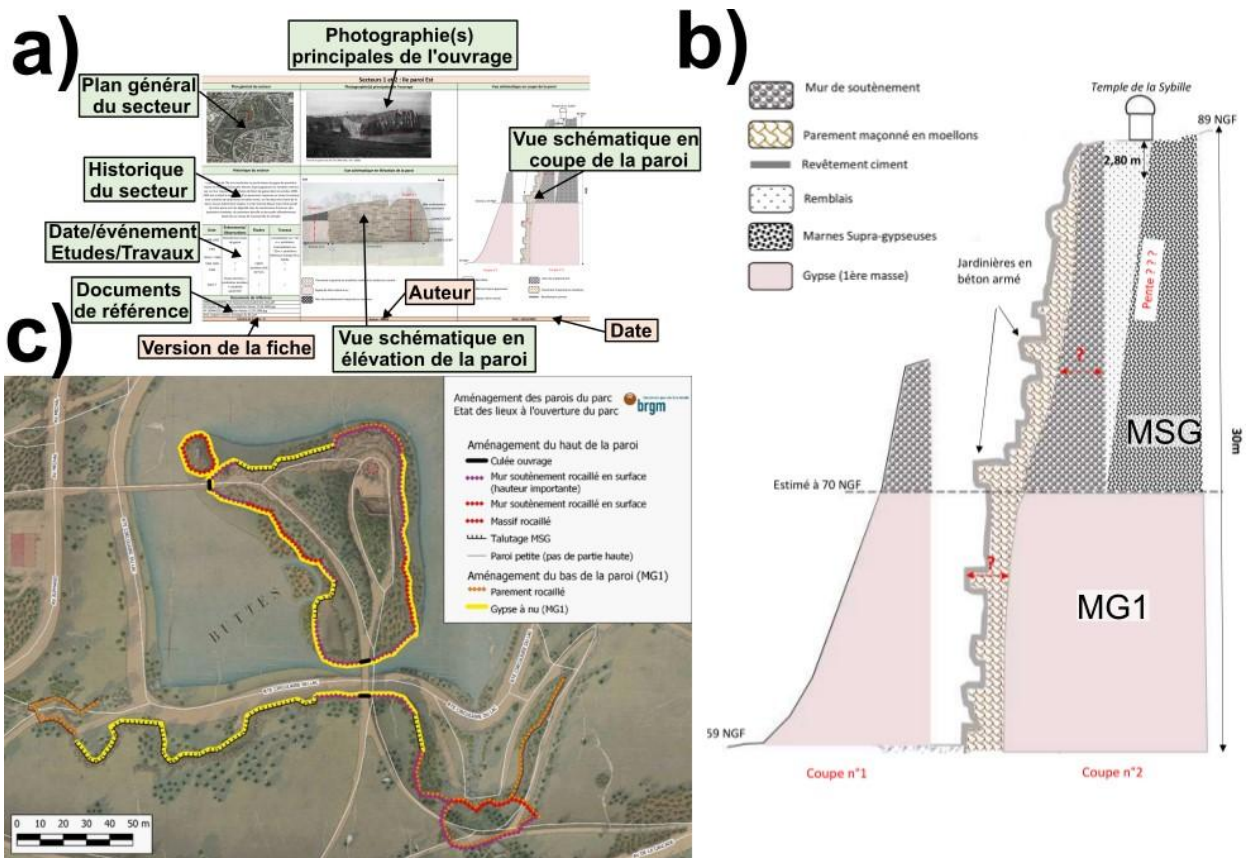


Figure 5. Documents de synthèse: a) Organisation de la fiche faite pour la paroi est. b) Zoom sur la coupe schématique de ladite paroi. c) Plan de la configuration des parois verticales en 1867.

Cet éclaircissement sur l'état actuel du parc permet d'orienter efficacement la gestion des risques et de mieux cibler les études complémentaires restant à effectuer. L'IGC s'est ainsi récemment chargée de poursuivre le diagnostic et le confortement de trois fontis, dont un situé au débouché de la grotte : la synthèse documentaire fait apparaître que celui-ci s'est réactivé au moins une dizaine de fois depuis l'ouverture du parc ; son origine est donc vraisemblablement liée à une ancienne entrée de carrière souterraine profonde (dans les MG2), pas suffisamment bien comblée à l'époque.

5. Conclusions

La tâche apparaissant désormais comme la plus importante pour la ville de Paris est de procéder à une réhabilitation des parois de l'île et du front de taille. Le diagnostic du BRGM a en effet impliqué de fortes restrictions d'accès pour le public à ces endroits qui sont en temps normal très prisés par le public (Figure 6).



Figure 6. Vue de la paroi est de l'île présentant les principaux éléments de diagnostic du BRGM.

Les instabilités de ces secteurs sont désormais suffisamment bien comprises pour que leur confortement puisse s'envisager de manière efficace : ces faiblesses sont en grande partie liées au vieillissement des ouvrages géotechniques et à la sensibilité du gypse aux agressions naturelles (dissolution par les eaux de pluies et de ruissellement). En attendant que ces travaux se préparent, un plan de surveillance du site a été mis en place par la ville de Paris avec l'assistance du BRGM.

6. Références bibliographiques

- Alphand A., Les Promenades de Paris, Paris, J. Rothschild Éditeur, 1867-1873, 560 p.
- Briais, J. (2015). Le Cénozoïque du bassin de Paris: un enregistrement sédimentaire haute résolution des déformations lithosphériques en régime de faible subsidence (Doctoral dissertation, Université Rennes 1).
- Levêque, I., Picon, A., 2007. Le parc des Buttes-Chaumont - Étude historique.
- Lévy C. (2021). Diagnostic de risque de chutes de blocs – Parc des Buttes Chaumont (Paris). Rapport d'expertise. Rapport BRGM/RP-70979-FR. 49 p., 15 ill., 2 ann.
- Noury G., Lévy C., Halfon I. (2022) – Parc des Buttes-Chaumont (75) - Stratégie de sécurisations vis-à-vis des risques de mouvements de terrain – Phase 1 : Etat des connaissances et définition des besoins. Rapport final . BRGM/RP-71751-FR, 128 p.

Suquet, L. (1911). Le métropolitain de Paris – Construction de la partie de la ligne n°7 située dans les anciennes carrières des Buttes-Chaumont. *Le Génie Civil*, 31e année, tome LVIII, n°25.