

## CONSTRUCTION DU PARKING JEANNE D'ARC A NICE - PROBLEMATIQUES HYDRAULIQUES EN CENTRE VILLE

### CONSTRUCTION OF THE JEANNE D'ARC CAR PARK IN NICE – HYDRAULIC ISSUES IN THE CITY CENTER

Mathieu ROMAGON<sup>1</sup>, Dominique BLANC<sup>2</sup>

<sup>1</sup> NGE FONDATIONS, Saint-Priest, France

<sup>2</sup> NGE FONDATIONS, Issy-les-Moulineaux, France

**RÉSUMÉ** – La construction du parking de 3 sous-sols dans le centre de Nice a nécessité une excavation de 11m de profondeur à 8m sous le niveau de la nappe phréatique, avec des contraintes fortes sur la limitation du débit de pompage. En phase de préparation de chantier, une campagne de reconnaissance G3 a permis de valider et de mettre en œuvre une solution technique écologique et sécurisant le délai, proposée par l'entreprise.

**ABSTRACT** – The construction of the 3-basement parking in the center of Nice required a 11m deep excavation, 8m below the groundwater level with strong constraints on the limitation of the pumping flow. During the preparation phase, a geotechnical survey made it possible to validate and implement an ecological technical solution that secures the deadline, proposed by the company.

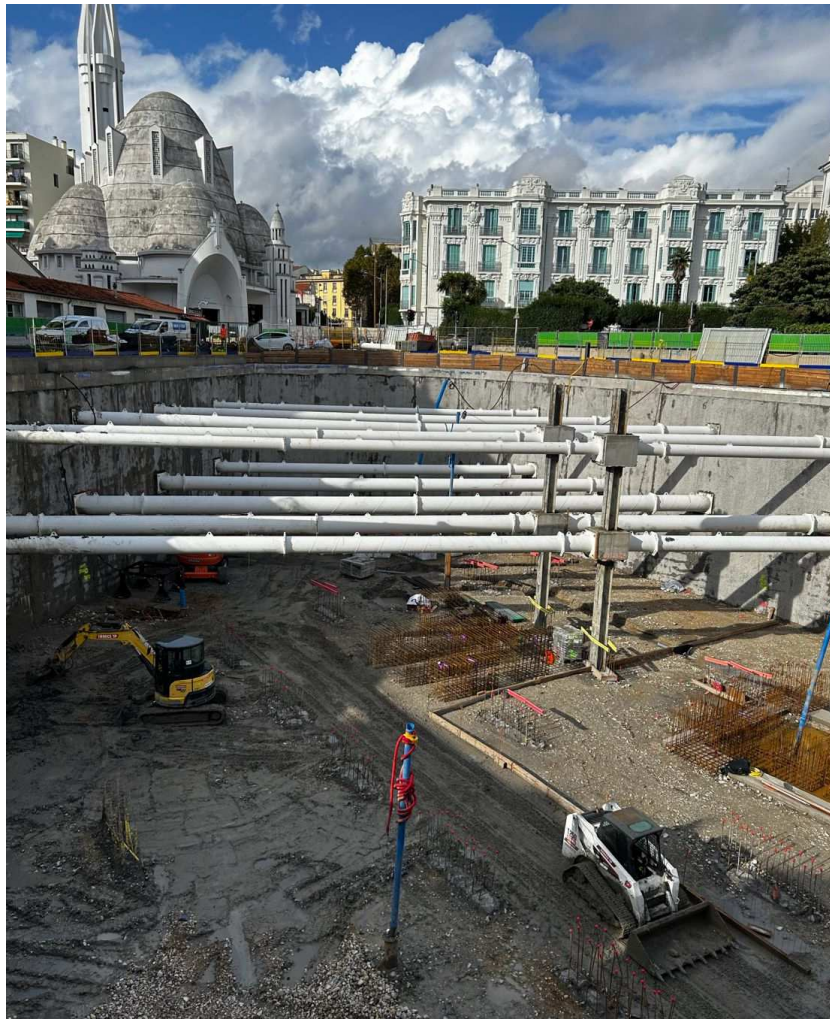


Figure 1 : Photo du terrassement de la fouille

## 1. Introduction

La construction dans le centre-ville de Nice du parking public Jeanne d'Arc, comprenant trois niveaux de sous-sols, a nécessité la réalisation d'un terrassement à 11m de profondeur, dont 8m sous le niveau de la nappe phréatique, sur une surface d'environ 2500m<sup>2</sup>.

Les terrassements ont été réalisés à l'abri d'une enceinte étanche en paroi moulée faisant office de soutènement en phase provisoire de travaux, ainsi qu'en phase définitive d'exploitation de l'ouvrage.

La réglementation locale imposait une limitation très sévère sur le débit de pompage autorisé durant les phases de travaux, conduisant à prévoir l'exécution d'un bouchon étanche sous le fond de fouille, impactant de façon importante le délai de construction de l'opération.

En phase de préparation des travaux, l'entreprise a proposé puis mis en œuvre une adaptation de la solution technique initialement retenue pour limiter le débit de pompage, ainsi qu'une modification du système d'ancrage du radier.

## 2. Phase de conception

### 2.1 Contexte géotechnique

Le projet se situe au pied de la colline de Cimiez dans le centre de Nice. Les premières campagnes de reconnaissances ont été menées sur le site, en 1991 puis entre 2000 et 2004. Une campagne d'investigations ainsi qu'un rapport de type G2-PRO ont été réalisés en janvier 2022.

Toutes les reconnaissances géotechniques réalisées ont mis en évidence la présence de terrains alluvionnaires, de type limons sableux à argileux, avec l'existence localisée sur des épaisseurs pluri-métriques de couches à dominante grossière.

Les épaisseurs de couches de terrains rencontrées présentent une très forte variabilité latérale, pouvant aller jusqu'à l'inexistence d'une couche d'un sondage à l'autre.

Ces terrains alluvionnaires recouvrent un substratum marneux dont le toit est repéré par les sondages à des profondeurs variant entre 30m et plus de 35m.

Les terrains sont baignés par une nappe dont le toit est à environ 3m sous le niveau du terrain naturel.

### 2.2 Problématiques hydrauliques

#### 2.2.1. Limitation des débits en phase provisoire de travaux

En phase provisoire de travaux, le terrassement de la fouille à 8m sous la nappe à l'abri de la paroi moulée nécessitait la mise en œuvre d'un pompage des eaux d'exhaure arrivant par le fond de fouille.

Le débit d'exhaure autorisé par la ville de Nice dans le cadre de ce projet était limité à :

- 300 m<sup>3</sup>/h du 15 octobre au 30 avril, à rejeter dans le réseau des eaux pluviales,
- 9 m<sup>3</sup>/h pour le reste l'année correspondant à la période touristique, à rejeter dans le réseau des eaux usées.

Cette contrainte extrêmement sévère sur le débit de pompage maximal autorisé a naturellement conduit la Maîtrise d'Œuvre à prévoir la réalisation d'un bouchon étanche sous le fond de fouille, afin de garantir un débit inférieur à 10 m<sup>3</sup>/h.

Compte-tenu de la nature alluvionnaire des terrains rencontrés au droit du site, avec des faciès allant des graves crues aux limons argileux, et d'une stratigraphie présentant de fortes variations latérales, une solution de bouchon en jet grouting a été retenue au stade

de la conception, préférable à une solution d'injection certainement jugée plus incertaine dans ce contexte géotechnique chahuté.

### 2.2.2. Reprise des efforts de sous-pression en phase permanente d'exploitation

Le projet prévoyait la réalisation d'un radier étanche reprenant les efforts de sous-pression. Le poids de l'infra structure du parking étant insuffisant pour équilibrer l'effort global de sous pression appliqué sous le radier, un ancrage de la structure au terrain était alors nécessaire pour s'affranchir d'un soulèvement global.

Le principe retenu au stade de la conception consistait en la réalisation d'un réseau de micropieux d'ancrage exécutés depuis le niveau du terrain naturel, en complément de la paroi moulée périphérique et des barrettes de fondation.

## 2.2 Réflexions sur la problématique de débit au stade de l'offre

Les sondages carottés réalisés en phase projet mettaient en évidence :

- la présence en profondeur, au sein de la couverture alluvionnaire, d'une couche d'argile silteuse pluri-métrique, d'épaisseur et d'altimétrie variables,
- l'existence d'un substratum marneux à une profondeur comprise entre 30m et plus de 35m.

Le débit de pompage autorisé de 9 m<sup>3</sup>/h, bien que très sévère, pouvait être justifié :

- par la réalisation d'un fond étanche en jet grouting, tel que prévu au stade du DCE
- ou par une fiche hydraulique de 10m sous le fond de fouille, dans les terrains alluvionnaires de perméabilité en masse  $3 \cdot 10^{-6}$  m/s, issue d'un essai de pompage en grand réalisé en phase projet
- ou encore par un ancrage de la paroi dans une couche d'argile

Une campagne de reconnaissance complémentaire a été définie et provisionnée au stade de l'offre, l'objectif de celle-ci étant d'affiner le modèle géotechnique, notamment la présence de la couche argileuse, ainsi que son altimétrie et son épaisseur.

## 3. Phase exécution

### 3.1. Campagne de reconnaissance complémentaire

La campagne était constituée de 4 sondages carottés (SC401 à SC404) et de 2 essais au micro-moulinet (dans SC401 et SC402), positionnés de façon à bien quadriller le futur ouvrage à construire, comme le montre la vue en plan suivante.

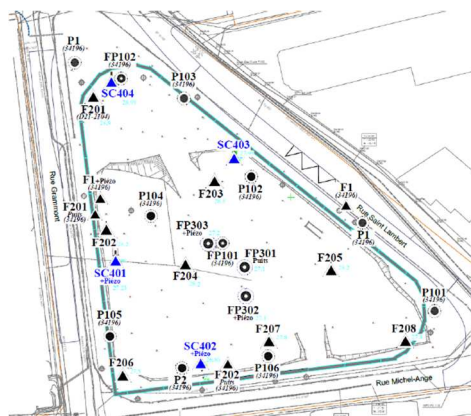


Figure 2 : Vue en plan des sondages (en bleu la campagne complémentaire, en noir les sondages déjà disponibles)

La réalisation de la campagne de reconnaissance complémentaire nous a permis d'affiner l'identification des terrains. Des passages graveleux ont été repérés visuellement sur les sondages carottés, et ont été reliés aux résultats des essais au micro-moulinet, permettant d'identifier les horizons les plus productifs.



Figure 3 : Extrait de la carotte SC402

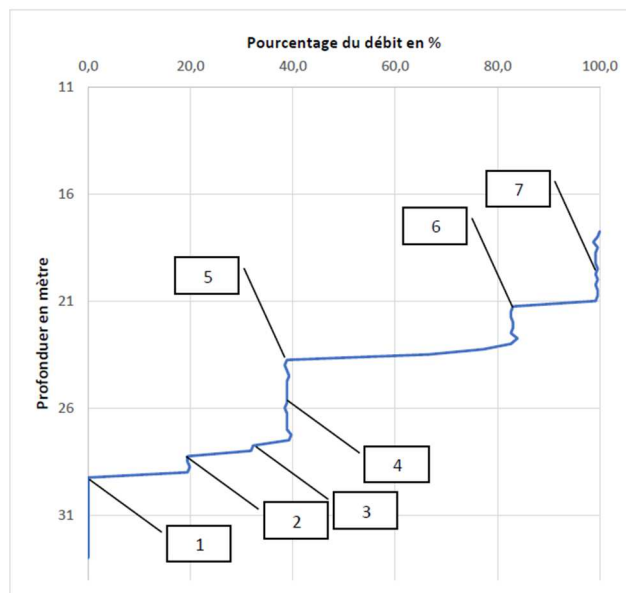


Figure 4 : Diagramme de l'essai au micromoulinet réalisé dans SC402

A titre d'exemple, sur les figures 3 et 4 ci-dessus les horizons grossiers relevés sur la carotte dans le troisième et quatrième casier sont associés aux arrivées d'eau repérées entre les points 1 et 3 sur la diagraphie du micro-moulinet. Cette arrivée d'eau représente environ 40% du débit total. Deux autres zones graveleuses sont identifiables sur la diagraphie : entre les points 5 et 6 puis entre les points 6 et 7.

Sous le point numéro 1, à 30m de profondeur, l'horizon étanche est atteint, il n'y a plus d'arrivée d'eau.

Les résultats de la campagne de reconnaissance complémentaire ont permis d'établir une élévation stratigraphique identifiant les cotes des passages graveleux sur tout le linéaire de l'ouvrage à construire par interpolation entre deux sondages successifs.

### 3.2. Adaptation du projet de mise hors d'eau de la fouille

Le bouchon étanche en jet grouting constitue un ouvrage provisoire impactant de façon non négligeable le coût global de l'opération ainsi que le planning des travaux.

Ainsi, au vu des résultats de la campagne l'entreprise a proposé :

1. d'approfondir les fiches hydrauliques de la paroi moulée, de façon à obtenir un ancrage pluri-métrique dans un horizon argileux permettant de respecter le critère de débit de pompage autorisé,
2. de procéder à un essai de pompage dans la boîte en paroi moulée avant le démarrage des terrassements,
3. de réaliser le bouchon en jet grouting prévu, si le critère de débit n'était pas respecté.

L'ancrage des parois moulées dans l'horizon étanche sous-jacent à l'horizon graveleux repéré sur l'élévation suivante, a conduit à des profondeurs de forage de panneaux comprises entre 20m et 40m de profondeur par rapport à la plateforme de travail.

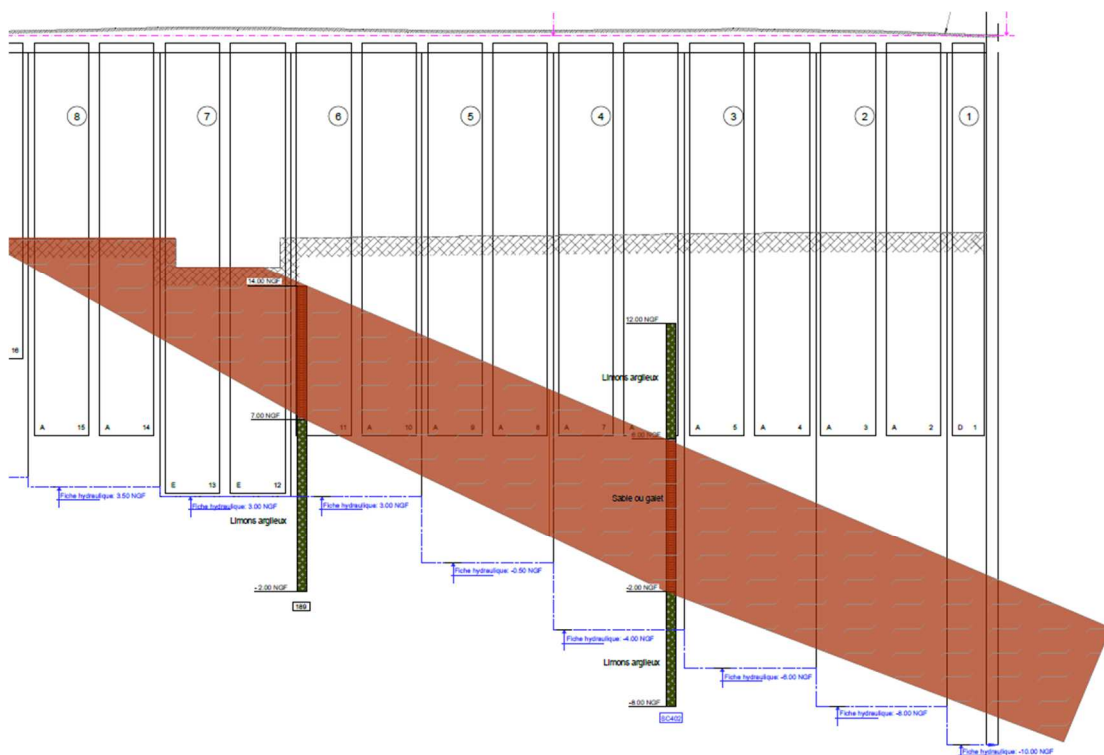


Figure 5 : Extrait de l'élévation stratigraphique (en rouge les horizons graveleux)

En outre, lors de la réalisation des travaux, pour chaque panneau les équipes d'exploitation reportaient les cotes des passages alluvionnaires sur cette élévation afin de confronter les niveaux reconnus aux niveaux attendus sur les plans d'exécution. Le forage n'était alors stoppé qu'après avoir obtenu un ancrage dans un horizon étanche sous la couche plus perméable.

La couche graveleuse reconnue lors du forage des parois s'est avérée moins crue que prévue, avec la présence d'une matrice limono-argileuse.

### 3.3. Essai de pompage

L'essai de pompage a été réalisé après réalisation des panneaux de paroi moulée et avant tout terrassement. L'objectif de cet essai était d'estimer les débits d'exhaure attendus lors

des phases de terrassement et ainsi valider la suppression du bouchon en jet initialement prévu.

L'essai de pompage a comporté 3 phases :

- Une phase de descente (pompage)
- Une phase de stabilisation (pompage à débit constant)
- Une phase de remontée (arrêt des pompes)

Nous avons suivi les préconisations de la norme NF EN ISO 22282-4, ainsi que les Recommandations pour la conception, l'exécution et le suivi des rabattements temporaires de nappes (CFMS et SFEG, 2022). Pour mener à bien cet essai 6 puits de pompage ont été disposés dans la fouille, ainsi que 4 piézomètres intérieurs et 3 piézomètres extérieurs.

In fine, la cote de rabattement a été atteinte sur l'ensemble de la fouille avec un débit de pompage inférieur à  $3\text{m}^3/\text{h}$ . Les contraintes de débit fixées au marché sont ainsi respectées, validant la suppression proposée du bouchon en jet grouting.

Les phases de terrassements qui ont suivi ont permis dans un premier temps de valider le modèle stratigraphique retenu au-dessus du fond de fouille. Les terrains se sont avérés assez hétérogènes avec des présences de galets pouvant être pris dans une matrice argileuse. Aucune venue d'eau imprévue n'est venue perturber les terrassements.

Enfin, notons que la perméabilité d'ensemble s'est avérée très faible, tout comme le rayon d'action de chaque puits. Ainsi les terrassements ont été ralentis par la difficulté à essorer les terrains.

#### **4. Adaptation de la solution d'ancrage du radier en phase exécution**

##### **4.1. Solution proposée**

En phase de conception, l'ancrage du radier était assuré par une solution mixte :

- un réseau de barrettes positionnées sous des voiles porteurs
- les parois moulées de l'ouvrage sur toute la périphérie
- un maillage de micropieux entre ces premiers éléments

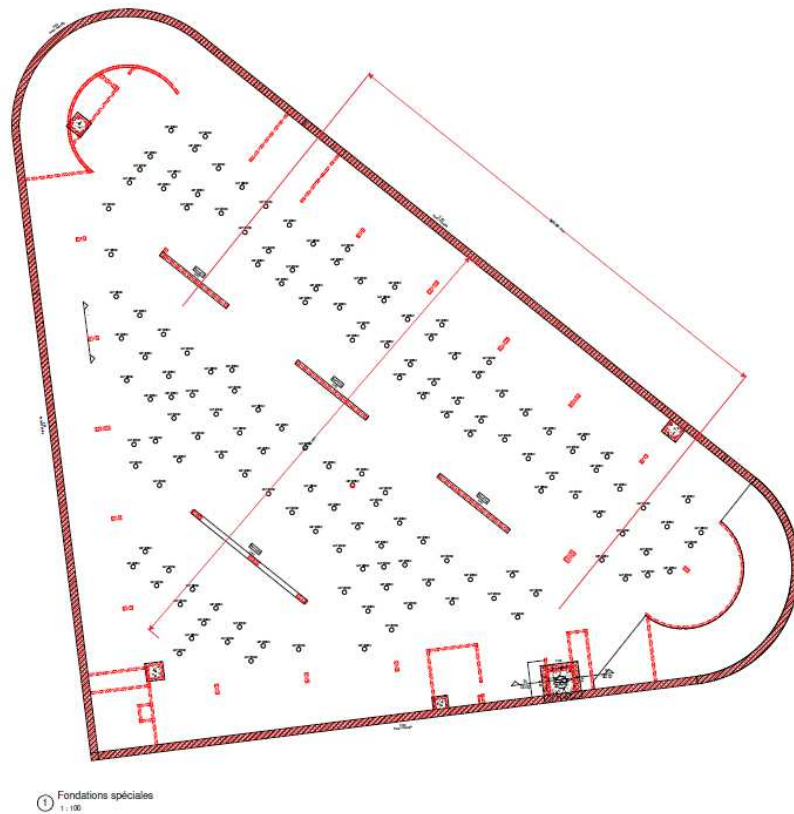


Figure 6 : Vue en plan des ancrages (barrettes et micropieux) sous le radier en phase conception

Afin de mutualiser les ateliers de forage, NGE Fondations a proposé une solution de reprise des sous-pressions composée uniquement par les parois moulées et un réseau de barrettes centrales. Cette solution présentait l'avantage de réaliser d'importants gains planning, et d'être sans surcoût pour le Maître d'Ouvrage.

#### **4.2. Définition du projet**

Le projet d'ancrage du radier a été défini sur la base de barrettes de dimensions 2,8mx0,52m. Le maillage optimal, l'emplacement et l'orientation des barrettes ont été validés à la suite de multiples itérations avec le BET Structure qui modélisait les barrettes comme des éléments surfaciques sous le radier en intégrant la raideur en traction calculée par le bureau d'études NGE Fondations.

Le dimensionnement des barrettes a été mené en considérant un arrêt du pompage après réalisation de tout le génie civil et avant remblaiement sur la dalle de couverture.

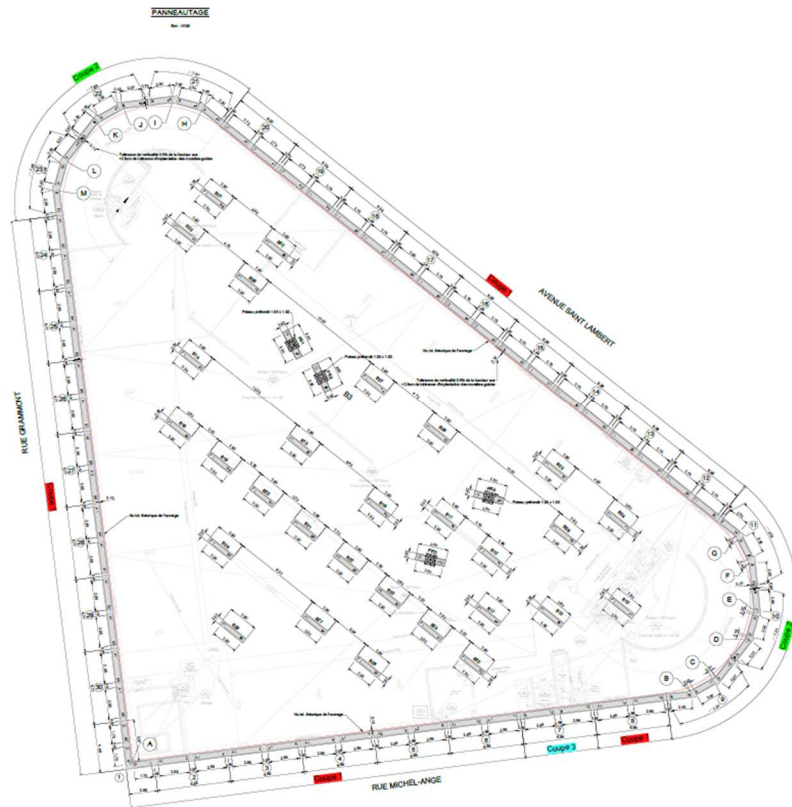


Figure 7 : Vue en plan des ancrages (barrettes) sous le radier en phase exécution

## 5. Conclusion

Les adaptations techniques proposées par NGE Fondations en phase d'exécution ont été acceptées par les Maîtres d'Œuvre et d'Ouvrage. Celles-ci ont permis de sécuriser le planning de l'opération tout en garantissant la maîtrise des risques techniques inhérents aux variations latérales de faciès et aux problématiques hydrauliques de pompage et de soulèvement.