



© DVID

## À Paris, le stade Roland-Garros s'est modernisé

Dans le cadre de la rénovation du court central de Roland-Garros, notamment par l'ajout d'une toiture amovible, la Fédération française de tennis (FFT) a confié à Géotec des missions d'études géotechniques de projet G2 phase pro (ingénierie) et ACT (Assistance aux contrats de travaux) et de supervision géotechnique d'exécution (G4).

Le court Philippe-Chatrier se trouve au sein du triangle historique de Roland-Garros, à proximité de la Porte d'Auteuil, sur une ancienne terrasse alluviale (boucle de la Seine de Boulogne) supportée par des terrains d'âge sparnacien (argiles/marnes) à sénonien (craie). Le projet comporte en phase définitive 4 tribunes constituées de 2 sous-sols et 6 niveaux en superstructures, combinant des éléments des structures existants et nouveaux : tribune Brugnon (A) au nord, tribune Borotra (B) à l'ouest, tribune Lacoste (C) au sud, et tribune Cochet (D) à l'est. Les tribunes Est et Ouest supportent une couverture mobile d'une centaine de mètres de portée. L'emprise totale du projet (volume du court Chatrier) est de 110 m sur 110 m, pour une hauteur de 26,5 m au-dessus du sol (hors couverture).

La réalisation du projet a nécessité des travaux de réaménagement lourds, avec des parties conservées (infrastructure, gradins bas...), des démolitions/reconstructions importantes, notamment des gradins hauts, et la démolition complète de la tribune Ouest puis reconstruction dans l'esprit de la tribune D afin de retrouver une certaine symétrie structurale, la tribune B existante ne possédant pas de sous-sol.

Les particularités du chantier sont liées aux phasages des travaux pour le maintien du tournoi tous les ans, ce qui a imposé à l'entreprise générale des travaux une restitution du site à la FFT avant chaque tournoi (phase 1 post-tournoi 2016, phase 2 post-tournoi 2017, travaux géotechniques par anticipation de la phase « invisible » et phase 3 post-tournoi 2018, la plus

conséquente avec les démolitions et la création de tribunes ouest nécessitant des terrassements de 9,5 m à 11,5 m), et aux recours à de multiples solutions géotechniques pour mener à bien le projet

### LES MISSIONS DE GÉOTEC

La mission d'étude de conception G2 phase pro a débuté en mai 2014 par la réalisation d'une synthèse géotechnique des nombreuses données du site acquises au cours des différents remaniements du court Philippe-Chatrier et du triangle historique afin de définir des coupes type par tribune et selon 2 fils repères d'importance structurale.

Le découpage ainsi réalisé a permis d'aboutir à 5 fascicules (1 par tribune et 1 pour les terrassements/soutènements et principes d'exécution des terrassements).

La mission de Géotec s'est poursuivie par l'étude et le dimensionnement des fondations au droit de chaque tribune :

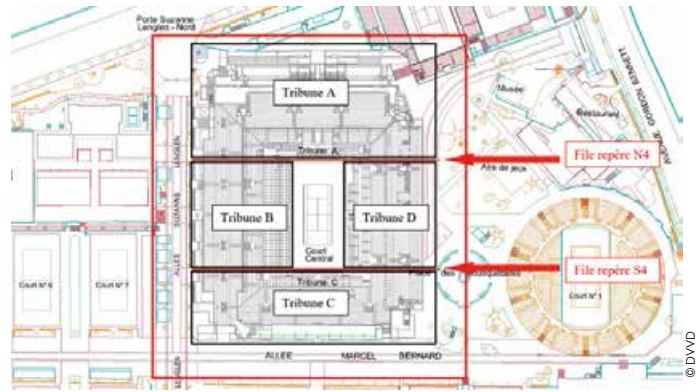
- en tribune A, le renforcement des semelles superficielles pour la rehausse des gradins par micropieu et la création de nouveaux appuis fondés par l'intermédiaire de pieux dans le virage des tribunes A/B pour les nouveaux éléments de superstructure (gradins hauts, et support de la couverture mobile) ;
- en tribune B, dans le cadre de sa reconstruction complète, la création de nouveaux appuis fondés sur pieux ;
- en tribune C, le renforcement d'une file de pieux existante par micropieux pour la rehausse des gradins et la création de nouveaux appuis fondés sur pieux dans le virage des tribunes C/D ;
- en tribune D, la création de nouveaux appuis fondés sur pieux pour les nouveaux éléments de la superstructure (gradins hauts et support de la couverture mobile).

Le dimensionnement des fondations a été mené selon la norme NFP 94 262 (norme d'application nationale de l'Eurocode 7), pour des pieux exécutés selon le mode foré tarière creuse simple rotation ou double rotation

(classe 2 FTC, FTCD no 6 selon l'EC7), et pour des micropieux exécutés selon le mode IGU type III (classe 8 PIGU, MIGU no 19 selon l'EC7). Tous les appuis ont été dimensionnés selon la combinaison la plus défavorable transmise par le BET/MOE (sous la combinaison ELS Caractéristiques).

La mission de Géotec en phase projet s'est conclue par l'étude et le dimensionnement des terrassements et soutènements.

Les infrastructures du court central existantes étant conservées, excepté pour la reconstruction complète de la tribune B, les terrassements étaient tous localisés sur le côté ouest du court central au stade des études. Géotec a défini les méthodes de terrassements envisageables en fonction des zones, des contraintes mitoyennes, et a notamment dimensionné les soutènements par paroi de pieux tangents tirantée pour l'infrastructure côté allée Suzanne-Lenglen. Dans cette zone à l'ouest de la fouille, le long de l'allée Suzanne-Lenglen et en retour au contact des tribunes A et C, la réalisation du projet



Extrait du plan topographique du site du triangle historique de Roland-Garros et repérage des tribunes.

générait des terrassements de 9,5 m à 11,5 m de hauteur le long de l'allée Suzanne-Lenglen et des terrassements de 5 à 7 m de hauteur au contact des tribunes A et C. La réalisation d'une paroi de pieux tangents était liée à la présence de circulations d'eaux relevées à faible profondeur au sein d'une couche résiduelle d'alluvions supportée par un niveau imperméable argileux, et avait pour objectif d'éviter tout risque d'affouillement des sols à l'arrière du soutènement lors des terrassements.

À ce stade des études, il était retenu une solution de stabilisation des parois en phase travaux et en phase



**AURIGAMI**

# L'interférométrie

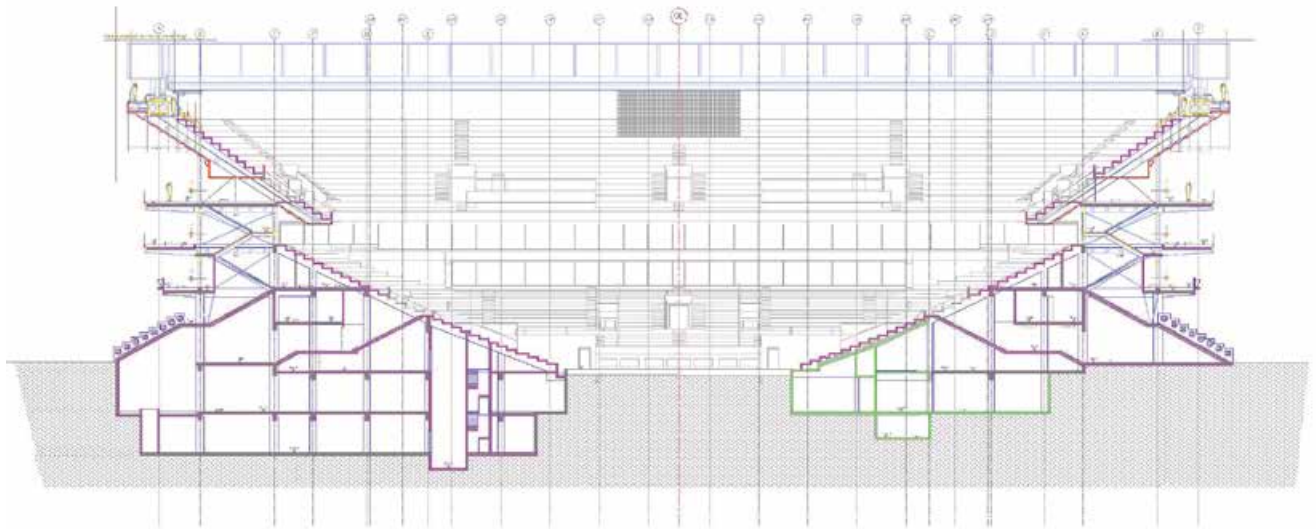
## radar satellitaire

# L'InSAR & son vaste champ d'applications





22 - 24 rue Lavoisier - Bat C - 92000 Nanterre - Tél: 01 47 21 69 85 @ : contact@aurigami.fr - [www.aurigami.fr](http://www.aurigami.fr)



Coupe ouest-est du projet (phase G2 pro).

© DVD

••• définitive (phase service) par l'intermédiaire de tirants destinés à limiter les déplacements en tête. Un dispositif de barbacanes était également envisagé et prévu d'être mis en place en phase travaux sur la hauteur des alluvions anciennes et des remblais pour permettre l'évacuation de toute venue d'eau à l'arrière du soutènement et permettre ainsi de s'affranchir de toute poussée hydrostatique supplémentaire en phase travaux.

Le projet prévoyait également la création d'une galerie enterrée en sous-œuvre le long du sous-sol - 2 au nord de la tribune C pour laquelle Géotec a défini le principe d'exécution. L'ensemble des éléments ci-dessus a permis d'aboutir à un schéma de principe des terrassements basé sur les coupes projet et les carnets de démolition.

Fin 2014, lors la phase ACT, Géotec a été sollicité à la demande du maître d'œuvre sur les méthodes proposées en variante à la conception initiale par les entreprises, parmi lesquelles :

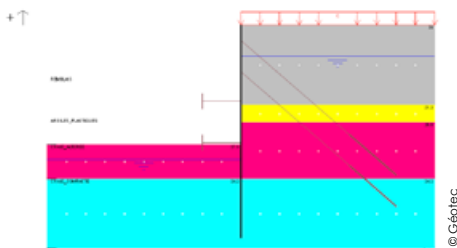
- élargissement des semelles de certains appuis des tribunes A et C en lieu et place de la solution de renforcement par micropieu ;
- paroi parisienne avec pieux de contrefort en variante à la paroi de pieux tangents tirantée ;
- paroi microberloise (profilés type HEM 160 espacés tous les 1,4m) en lieu et place de la solution par tranchée blindée.

Les variantes ont été examinées et ont fait l'objet, pour certaines, de notes techniques et modélisations complémentaires liées à des modifications du projet. Pour chaque entreprise, Géotec a synthétisé l'ensemble des solutions variantes proposées, donné un avis technique sur chacune d'elles, et précisé à chaque entreprise les justifications attendues. La définition d'un programme de sondages

complémentaires nécessaire au titre de son autocontrôle et de sa mission G3 a également été demandée.

La mission G4 de supervision géotechnique s'est déroulée en 3 phases, post-tournoi 2016 en novembre et décembre 2016 (phase 1), post-tournoi 2017 entre août 2017 et novembre 2017 (phase 2), et post-tournoi 2018 entre mi-juillet 2018 et mi-septembre 2018 (phase 3). Les variantes majeures proposées par l'entreprise retenue étaient :

- la réalisation d'une paroi moulée tirantée côté allée Suzanne-Lenglen ;



Calcul Krea-dimensionnement de la paroi de pieux tangents tirantée G2 phase pro.

© Géotec

À l'intérieur de la fouille, les terrassements à réaliser le long du court central présentaient une hauteur moyenne de 9 m. Dans cette zone, compte tenu du besoin de limiter au maximum les déformations et nuisances à proximité directe du court de tennis, des terrassements à l'abri de tranchées blindées étaient retenus au stade conception.

Ailleurs, compte tenu de la forte variété des cas (présence de niveaux bas décalés dans le projet, de zones des terrassements allant de moins d'un mètre jusqu'à 5 m de hauteur environ au nu de la structure existante conservée), diverses techniques de terrassements étaient envisagées : terrassement par talutage et réalisation de voiles coffrés 2 faces, réalisation de voiles en béton projeté par passes alternées, voiles masqués par passes alternées type 1/3 à 1/4, terrassement par puits blindés alternés...

SCHEMA DE PRINCIPLE DES TERRASSEMENTS :

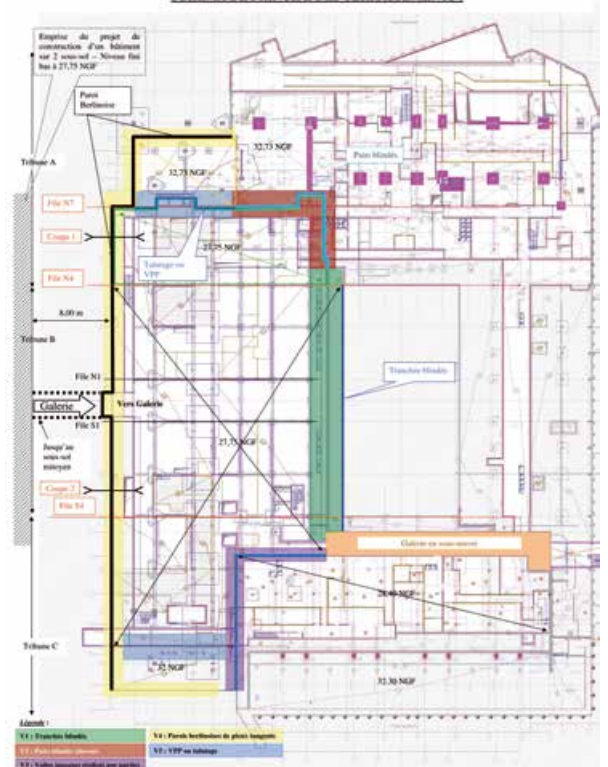


Schéma de principe des terrassements.

© DVD

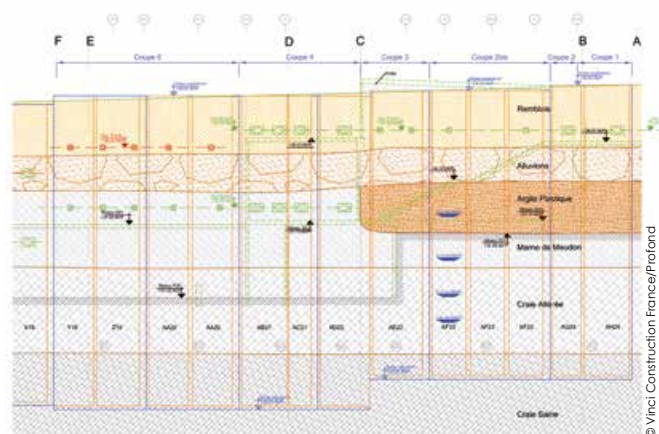
- le recours à un tirantage du côté de la paroi réalisée par tranchée blindée (2 lits de tirants provisoires) plutôt qu'au recours à un butonnage pour gagner de l'espace en fond de fouille afin de réaliser les pieux de fondations ;
- le non-renfort de la file de pieux existante en tribune C (nouvelles hypothèses structurales).

Des travaux en anticipation de la phase 2 et en fonction de l'avancement des études d'exécution (post-tournoi 2016) ont pu être réalisés fin 2016 au niveau du renforcement des semelles superficielles des infrastructures existantes de la tribune A. Un renforcement par micropieu par bossage de semelles a été mis en œuvre au moyen de matériel adapté aux espaces exigus dans les infrastructures du stade actuel (locaux techniques, zones de circulation...).

Ces travaux ont notamment donné lieu à la validation des paramètres géotechniques et à la vérification des notes de calculs lors de la phase supervision de l'étude d'exécution. En phase supervision du suivi de l'exécution, Géotec a notamment vérifié les longueurs des micropieux, l'adaptation de la technique de foration, le type d'armature, le contrôle de l'injection sous pression, la verticalité, le contrôle du coulis, les essais de traction et les résultats associés...

La mission G4 en phase 2 a consisté en la supervision d'exécution des ouvrages géotechniques réalisables par anticipation des démolitions importantes des gradins afin de permettre le déroulement du tournoi 2018 dans les meilleures dispositions :

- les fondations par pieux dans les zones où l'espace disponible le permettait (côté est, hors zone de course) ;
- le renforcement de semelles superficielles complémentaires et la création de nouveaux appuis fondés par micropieux en tribune A ;
- les micropieux en tribune C pour la création des nouveaux appuis ;
- la paroi moulée côté allée Suzanne-Lenglen (côté ouest entre juillet et août 2017) ;
- les fondations de type barrette pour la tour support du toit, en mitoyenneté de la paroi moulée (côté nord-ouest) ;
- la tranchée blindée mise en œuvre depuis le court central ;
- la galerie en sous-œuvre le long du sous-sol - 2 tribune C, sous un plancher porté par des pieux, par l'inter-



Plan d'élevation de la paroi et coupe géologique.

médiaire de puits blindés alternés de l'ordre de 4,2 m de hauteur, et création de voile béton par panneau manuporté de bas en haut associé à la réalisation d'un radier ;

- de nombreux ouvrages annexes nécessitant la réalisation de carnaux à l'arrière de la paroi moulée côté ouest et est, et de puits blindés (remblayés en fin de phase 2) en partie extérieures de l'emprise du stade actuel, en continuité de la future galerie en sous-œuvre traversant le court central.

...

# GEOSOLTIS

## RECONNAISSANCE DES SOLS PAR PÉNÉTRATION STATIQUE

... TOUJOURS PLUS À VOS CÔTÉS, QUELQUE SOIT LE TERRAIN



10 RUE DE LA BIÈVRE  
57400 SARREBOURG

YANNICK DURMEYER  
06 84 45 04 44

yannick.durmeyer@geosoltis.com  
www.geosoltis.com



Travaux de la tranchée blindée depuis le court central (phase 2).

••• Dans le cadre de la mission G4 phase supervision de l'étude géotechnique d'exécution relative aux écrans de soutènement, Géotec a validé le modèle géotechnique de l'entreprise, vérifié la cohérence entre le type de soutènement retenu et les contraintes mises en évidence, vérifié les notes de calcul, notamment la portance (paroi porteuse), la stabilité aux efforts de poussée, la stabilité d'ensemble, et les vérifications hydrauliques. Les paramètres de frottement définis à partir de la réalisation des essais préalables pour les tirants ont également été vérifiés.

Dans le cadre de la mission G4 phase supervision du suivi d'exécution, Géotec a notamment vérifié la conformité des terrains mis en évidence lors des études, le contrôle de la boue de la paroi moulée (densité) indispensable au bon bétonnage, les pertes de boues (fiche incidence), les longueurs des panneaux... Lors de la réalisation des carreaux, les passes de terrassement, les temps d'ouvertures, les arrivées d'eau éventuelles, le calage des butons et bracons pour éviter les déplacements ont été examinés.

Ces travaux conséquents effectués lors de la phase 2 et qualifiés d'invisibles pour le tournoi 2017 ont notamment rendu le court central inexploitable (préablement protégé). La réalisation des carreaux à l'arrière de la paroi moulée a donné lieu à des terrassements importants et a permis la réalisation de la phase 3 la plus conséquente (volume de matériaux conséquents à évacuer en peu de temps, démolition de la quasi-totalité des gradins...).



Réalisation des carreaux (phase 2 post-réalisation de la paroi moulée).

La mission G4 en phase 3 de la rénovation du court central s'est déroulée entre mi-juillet 2018 et mi-septembre 2018 pour la réalisation des ouvrages géotechniques. Il s'agit de la phase la plus importante avec un planning d'exécution extrêmement serré au regard des

travaux à réaliser. À cette date, le stade est métamorphosé : les gradins hauts et les virages sont démolis. Les ouvrages géotechniques sont concentrés en partie ouest du court central et comprennent :

- la réalisation des tirants provisoires ou définitifs au fur et à mesure de l'excavation de la fouille, aussi bien côté paroi moulée que côté court central, au niveau de la paroi réalisée en tranchée blindée ;
- la réalisation de voiles en béton projeté par passes alternées à l'intérieur de la fouille et dans les parties nord et sud de la fouille en continuité de la paroi moulée ;
- l'adaptation de fondations prévues par pieux en micropieux en rive des existants ;
- la réalisation de fondations par pieux en fond de fouille et dans les parties extérieures encore inaccessibles aux ateliers de pieux en phase 2.

Dans le cadre de la mission G4 phase supervision du suivi géotechnique d'exécution des soutènements, Géotec a vérifié l'exécution des tirants, les défauts visibles sur les panneaux de la paroi moulée, les terrains mis en évidence lors des terrassements généraux, les arrivées d'eau éventuelles en cours de terrassement, les temps d'ouverture de passes pour les soutènements discontinus, le calage des butons pour éviter les déplacements lors de leur mise en charge. Lors de la supervision du suivi d'exécution des pieux, Géotec a examiné les longueurs des fondations et les profondeurs en fonction des enregistrements des paramètres de forage, le diamètre des pieux, les volumes de béton, l'enrobage des armatures, les contrôles du béton, le contrôle de la verticalité des fondations profondes, les tolérances d'implantation, les essais de contrôle, le recépage...

La mission de Géotec phase suivi s'est terminée avec la fin de la phase 3, l'ensemble des ouvrages géotechniques étant réalisés. En 2019, le nouveau court central s'est enfin dévoilé pour le tournoi, mais partiellement puisque les travaux de finition/habillage et la mise en place de la partie la plus médiatique que constitue la future couverture mobile du stade Roland-Garros n'étaient pas encore réalisés (phase 4 du projet de modernisation). Les travaux d'assemblage de la couverture mobile exécutés sur place se sont déroulés entre fin 2019 et mars 2020. À ce jour et à l'heure où nous venons de connaître un épisode inédit face à la crise sanitaire qui nous a touchés et a conduit au report du tournoi 2020, Géotec reste sollicité pour donner un avis sur la partie géotechnique du DOE.

Enfin, le tournoi s'est déroulé en septembre-octobre 2020, cette fois-ci bien couvert ! ■



Paroi réalisée par tranchée blindée depuis le court central (ici tirantée - phase 3).



Paroi moulée côté allée Suzanne-Lenglen (phase 3).

- **Localisation :**  
Paris (16<sup>e</sup> arrondissement)
- **Pays :** France
- **Client :** FFT (Fédération française de tennis) (AMO BET Jacobs)
- **Maîtrise d'œuvre du court Chatrier :** DVVD (Daniel Vaniche/ Vincent Dominguez)
- **Architecte mandataire :**  
ACD Girardet et Associés
- **Concepteur de la structure :**  
DVVD Ingénieurs
- **Périodes :** mai 2014 - juillet 2014 (G2PRO) ; décembre 2014 - juin 2015 : avis techniques (G2ACT) ; fin 2016 ; août 2017 - novembre 2017 ; juillet 2018 - mi-septembre 2018 : phase étude toujours en cours en 2020 (mission G4)
- **Montant de l'opération :** 380 M€
- **Montant des travaux du PCH :** 140 M€
- **Entreprise générale :** Entreprise Petit (Vinci Construction)

**Vincent Régnier**

Chef de Projet Géotec  
Agence Paris - Région Nord-Ouest

**Pascal Aguado**

Directeur technique  
et scientifique Géotec  
Région Nord-Ouest