

LE LEVAGE DU PONT DE BAYONNE RÉALISÉ À PARTIR DE MURS EN TERRE ARMÉE®

Sherif AZIZ, John SANKEY, Mike SISON
Reinforced Earth Company, USA

Le pont de Bayonne, NJ, USA franchit le Kill Van Kull et permet de relier la ville de Bayonne dans le New Jersey à Staten Island l'un des cinq arrondissements de New York. Ce pont est le 4^{ème} plus long pont en arc au monde. Les autorités portuaires de New York et du New Jersey ont décidé de surélever le pont de Bayonne d'une hauteur de 19.5 mètres afin de permettre le passage de la nouvelle génération de navires géants qui atteindront la baie une fois l'élargissement du canal de Panama achevé. Cette surélévation nécessite un rehaussement identique des rampes d'approche à chaque extrémité du pont. Des soutènements en remblai renforcé Terre Armée® ont été retenus pour la construction de ces dernières. L'article débute par un bref rappel concernant la conception et la construction de structures en remblai renforcé, présente les raisons de l'utilisation de cette technique pour le projet du pont de Bayonne, puis détaille les adaptations en termes de conception et de réalisation qui ont été appliquées pour permettre de supporter la poutre de lancement du pont de Bayonne.

1. LE FRANCHISSEMENT DU KILL VAN KULL

Le pont de Bayonne est un pont en arc ayant une portée de 510 mètres et traversant le Kill Van Kull, reliant Bayonne (New Jersey) et Staten Island (New York) aux Etats-Unis. Lorsqu'il fut achevé, en 1931, il était le plus long pont en arc au monde. Aujourd'hui encore, il reste le 4^{ème} dans sa catégorie. Le détroit du Kill Van Kull est l'un des accès les plus empruntés vers les grandes installations portuaires de New York (Fig. 1). Le pont qui le traverse nécessite aujourd'hui quelques adaptations afin de permettre le passage de navires plus longs et plus larges qui navigueront à destination et en provenance de New York après l'achèvement de l'élargissement du Canal de Panama en 2016. Même avec sa hauteur actuelle de 46 mètres, fixée pour répondre aux besoins de l'U.S. Navy, le pont de Bayonne ne permet pas le passage des plus grands navires de gabarit « Panama ». Ainsi, l'Autorité Portuaire de New York et du New Jersey a décidé de remonter le tablier du pont (mais pas l'arc lui-même) de 19,5 mètres. Cette adaptation nécessite un rehaussement équivalent des rampes d'accès à chaque extrémité du pont.

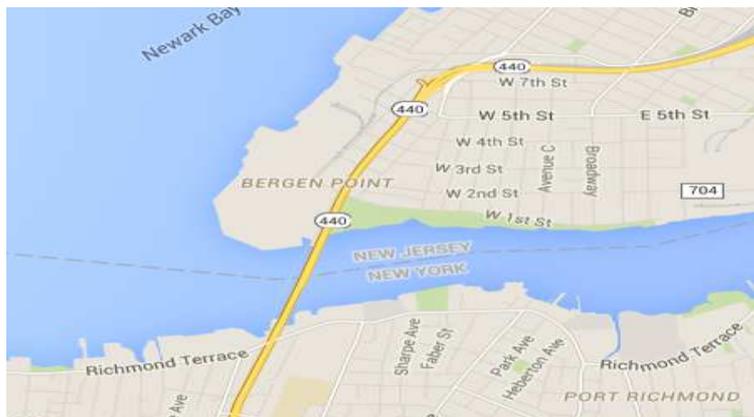


Figure 1: Localisation du Pont de Bayonne

1.1 Les raisons du choix de la solution Terre Armée®

Pour la construction des nouvelles rampes d'accès partiellement en remblai et partiellement en viaduc, l'administration portuaire a opté pour l'utilisation de massifs en Terre Armée®, d'une part pour leur bonne performance sur des sols compressibles, mais également pour leur capacité à servir de plateforme de lancement de pont. Si la hauteur des massifs en Terre Armée® varie en fonction de leur emplacement, ces derniers ont assuré une rehausse de 10 mètres



sur les 19,5 mètres nécessaires. Pour la construction des massifs en Terre Armée®, l'administration portuaire a sélectionné des panneaux rectangulaires en béton lisse mesurant 1,5 mètres par 3 mètres (Fig. 2). Afin de maintenir le trafic routier, l'ouvrage a été construit en 2 phases : la première pour les voies en direction du nord (de l'état de New York à l'état du New Jersey) en déplaçant tout le trafic sur l'ancienne chaussée puis dans un deuxième temps pour les voies en direction du sud, les véhicules empruntant alors les nouvelles voies construites au en direction du nord. Toutes les voies du Pont du Bayonne seront opérationnelles avec l'achèvement du projet prévu à la mi-2017. Des murs provisoires en TerraTre®, système de sol renforcé à parement en treillis soudé, ont été utilisés pour soutenir la demi-largeur de la route réalisée en phase 1. Lors de la phase 2, les remblais seront mis en œuvre à l'avant de ces murs provisoires qui se retrouveront ainsi enterrés. Le parement du mur temporaire étant constitué de treillis soudé, il se comporte globalement comme le reste du remblai et ne constituera pas de point dur sous le centre de la chaussée une fois celle-ci achevée.



Figure 2: Mur en Terre Armée® avec panneaux de parement rectangulaires



Figure 3: Mur provisoire TerraTre® en treillis soudé pour la phase 1

1.2 Détails technologiques

Depuis l'invention de la technologie de la Terre Armée par Henri Vidal, il y a 50 ans, plus de 50 millions de mètres carrés de surface de mur ont été construits dans le monde entier. Cette technologie repose sur l'association d'un parement (pouvant être en béton préfabriqué ou en treillis soudé), de bandes de renforcement et de remblai (Fig. 4). Les renforcements choisis pour le projet du Pont de Bayonne sont des armatures nervurées en acier galvanisé de 50mm de large pour une épaisseur de 4mm. La combinaison d'un remblai granulaire compacté et d'armatures de renforcement constitue un matériau composite cohérent qui forme un bloc se comportant comme un mur poids. La longueur des renforcements est généralement égale à 70% de la hauteur du mur. Il est important de rappeler ici que c'est le massif cohérent dans son ensemble qui forme le mur de soutènement et non le parement à lui seul.

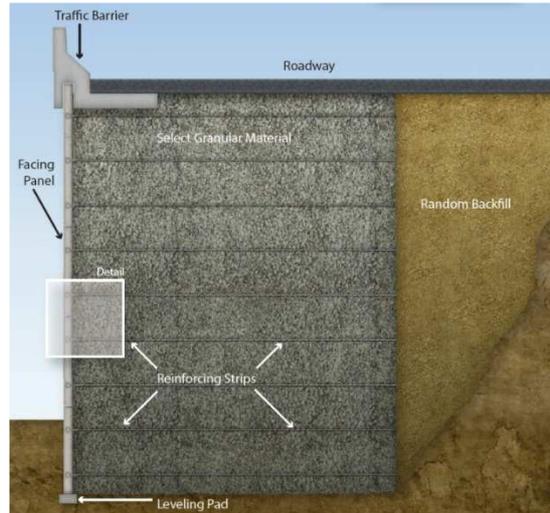


Figure 4. Coupe de mur en remblai renforcé

2. UNE CONCEPTION PERMETTANT DE SUPPORTER LES CHARGES D'UNE POUTRE DE LANCEMENT

Le défi de conception le plus important est apparu lorsque l'Entreprise Générale a souhaité utiliser les murs en Terre Armée® et les murs temporaires en TerraTrel® comme plateforme pour les fondations de la poutre de lancement du viaduc (Fig. 5). Même si cette application de la Terre Armée® n'est pas fréquente, elle a été réalisée pour la première fois pour le port de Dunkerque (France) en 1970.

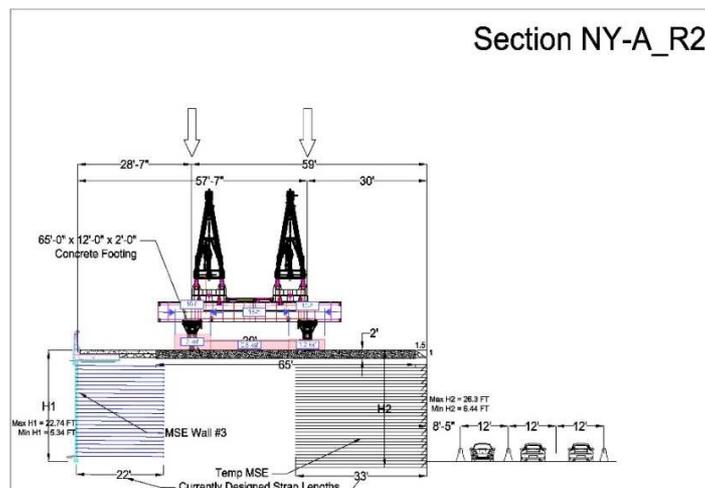


Figure 5. Schéma de la charge de portique

Des charges localisées le long du mur ont été prises en compte afin de définir la quantité supplémentaire d'armatures nécessaire, afin de supporter en toute sécurité les charges imposées par le lanceur. La diffusion verticale et horizontale des charges a été obtenue par la méthode de Bousinesq (ca.1885) en considérant des charges d'appui de la structure d'environ 191kPa. Les fondations du lanceur ont été placées suffisamment à l'arrière du parement pour ne pas apporter de charge dans la zone active du massif en Terre Armée (environ 30 % de la hauteur mécanique du mur). Le fait de diffuser les charges au sein des massifs en Terre Armée® a permis de réduire les éventuels problèmes de portance liés aux sols de fondation compressibles sur lesquels reposent les remblais.

Les charges de la grue ont été appliquées conformément aux règles AASHTO LRFD (2012) avec un coefficient de pondération de 1.35. Les charges importantes appliquées par le portique de lancement ont nécessité d'augmenter considérablement la densité et la longueur des armatures de renforcement. Il a fallu considérer des longueurs d'armatures allant de 120% à 150% de la hauteur du mur, au lieu des 70% habituellement préconisés pour ce type d'ouvrage. L'ouvrage supporte la poutre de lancement lorsqu'elle est en porte-à-faux au-delà de l'extrémité des murs Terre Armée (Fig. 6) pour construire le viaduc en voûtes préfabriqués. Après avoir positionné le premier voûte au sommet de la première pile, les voûtes suivants sont positionnés par la poutre en porte-à-faux et post-tendus en place.



Figure 6. Poutre de lancement en porte-à-faux

3. LA CONCEPTION DES MURS AU RYTHME DE LA CONSTRUCTION

La conception des murs et la fourniture des éléments qui les composent, en tenant compte des charges du lanceur comme exposé précédemment, ont été réalisées par The Reinforced Earth Company (USA) avant le début de la construction des murs en Terre Armée® et en TerraTrel®. Les plans ainsi que les notes de calculs correspondantes, constituant le dossier d'exécution, furent approuvés par l'Autorité Portuaire. Des points particuliers ont été traités lors de la conception, tels que les réservations pour les réseaux, les déviations des armatures de renforcement autour des pieux traversant le massif et au niveau des angles aigus, et les couronnements en tête de mur (barrière de sécurité et corniche positionnés en tête des panneaux préfabriqués fournis par la société Terre Armée).

La construction des murs de la phase 1 (permanents et provisoires) a commencé en avril 2014 côté New Jersey et à la fin mai 2014 côté New York, et s'est terminée en août 2014. Ces ouvrages étaient sur le chemin critique du projet étant donné que leur achèvement conditionnait l'assemblage de la poutre de lancement. De nombreuses modifications ont été apportées à la conception initiale afin de supporter le lanceur et de contourner d'autres problèmes rencontrés plus tard lors de la construction des murs. Grâce à l'utilisation d'une grave angulaire de type AASHTO n°57 (20 à 25 mm de diamètre) comme remblai sélectionné pour les massifs en Terre Armée, les équipes de construction des murs ont pu travailler rapidement et sous pratiquement toutes les conditions météorologiques, avec peu de risques de mauvais compactage ou d'effets de variation de la teneur en eau due aux conditions climatiques. Cela a été particulièrement utile dans les zones encombrées comme les angles des murs au niveau des culées (Fig. 7), où des réservations de grand diamètre pour les pieux nécessitaient non seulement une déviation des armatures de renforcement, mais aussi un remblaiement et un compactage plus soigneux et méthodique.

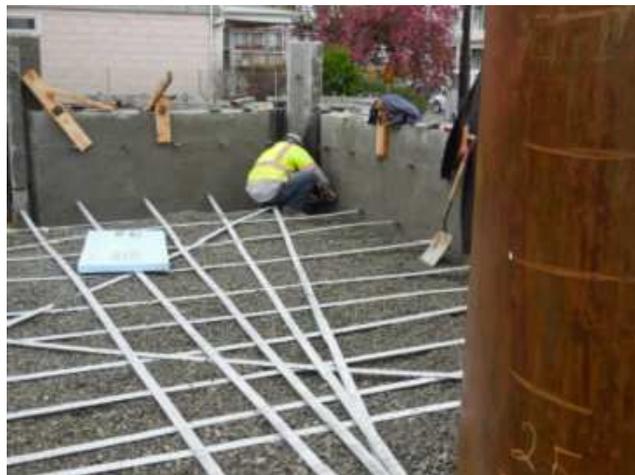


Figure 7. L'utilisation de remblai graveleux et la déviation des armatures simplifient la construction de la structure en Terre Armée®

Un problème inattendu de réseau coté New Jersey a menacé de retarder le planning du projet. La présence d'un vieil égout en briques, supposé abandonné au début de la conception, était en fait toujours actif et empêchait de réaliser 6 mètres de remblaiement. Une solution temporaire a été développée en utilisant des murs TerraTrel® pour former une « réservation » dans le remblai définitif, de façon à permettre la construction du reste du massif en Terre Armée (Fig. 8).

La dimension de la réservation a été calée sur l'espace entre 2 colonnes de panneaux rectangulaires laissé ouvert dans le mur en Terre Armée permettant ainsi de poursuivre normalement la construction du mur permanent. Une fois l'égout déplacé, la réservation en TerraTrel® a été facilement remplie par la mise en place des éléments adéquats de Terre Armée®.



Figure 8. « Réservation » en Terratrel® pour l'installation de la Terre Armée

Une des dernières étapes de construction des murs en Terre Armée a été l'installation de corniches et de barrières de sécurité en tête des murs (Fig. 9). La mise en place de ces éléments préfabriqués simplifie considérablement la construction et permet de diminuer les coûts de main-d'œuvre. Pour les barrières de sécurité (voir l'exemple représenté sur la figure 4), l'élément préfabriqué est simplement posé en tête du mur en Terre Armée sur un mortier de nivellement, puis relié à une dalle de frottement en béton coulée en place par l'intermédiaire des aciers en attente intégrés à la base de la barrière.



Figure 9. Corniche préfabriquée utilisée comme couronnement

4. CONCLUSION

La Terre Armée® est une technologie reconnue non seulement pour supporter une route ou un pont mais également pour supporter des équipements de levage lourds comme un portique de lancement de pont. L'utilisation ainsi que la présence d'équipement de levage lourd doit être pris en compte dès le début de la conception puisque le nombre et la longueur des armatures de renforcement en dépendent. Une coopération efficace entre le maître d'ouvrage, le géotechnicien, l'entreprise générale et le concepteur/fournisseur du produit est primordiale pour la réussite de tout projet de structure en remblai renforcé, mais plus encore dans le cas du pont de Bayonne.



Durant ce projet, il a été nécessaire d'effectuer plusieurs adaptations importantes afin de respecter les différentes contraintes de conception tout en étant sur le chemin critique du projet et sans interrompre le trafic routier d'une des principales artères de la région de New York. Bien que la construction du pont ne sera terminée qu'en 2017, une représentation graphique du Pont de Bayonne une fois achevé est présentée ci-dessous (Fig.10).



Figure 10. Le Pont de Bayonne : avant-après

REFERENCES

- American Association of State Highway and Transportation Officials, Load Resistance Factor Design (2012), Section 11 on Walls, Abutment and Piers.
- American Association of State Highway and Transportation Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing (2012).
- Bowles, J.E., Foundations Analysis and Design, 4th Edition (1988), The Bousinesq Method, p. 243-253.
- Reinforced Earth Structures, Recommendations and Rules of the Art (1980), Issued by the French Ministry of Transport (English Translation, 2nd Printing).