



© FRANCE MACCAFERRI

REMBLAIS RENFORCÉS MacRes[®] BIFURCATION A10/A71 À ORLÉANS (45)

AUTEUR : CLOTHILDE BONNET-BALLON, INGÉNIEURE D'ÉTUDES, FRANCE MACCAFERRI

LE PLAN DE RELANCE AUTOROUTIER A MIS EN ÉVIDENCE L'AUGMENTATION CONTINUE DU TRAFIC SUR L'A10 ENTRE L'A19 ET L'A71. DANS CE CONTEXTE, L'AMÉNAGEMENT DE L'AUTOROUTE A10 AU NORD D'ORLÉANS A NOTAMMENT POUR OBJECTIF DE FLUIDIFIER LA CIRCULATION AVEC LA CRÉATION DE NOUVELLES VOIES ET L'ADAPTATION DES BIFURCATIONS AUTOROUTIÈRES. POUR LES TRAVAUX DE RÉAMÉNAGEMENT DE LA BIFURCATION A10/A71, LES MURS CONTIGUS AUX CULÉES C1 ET C3 ONT ÉTÉ RÉALISÉS EN REMBLAIS RENFORCÉS DE TYPE MacRes[®], PROCÉDÉ DÉVELOPPÉ PAR MACCAFERRI.

INTRODUCTION

Les remblais renforcés décrits dans cet article constituent les murs en retour des culées C1 et C3 de l'ouvrage PSI986. Ce viaduc permet de relier l'A71 à l'A10 par la bretelle Vierzon-Tours en enjambant l'A10 (Paris-Tours). Pour chaque culée, 3 murs en MacRes[®] sont réalisés : les 2 murs en rampe et un mur positionné à l'arrière de la culée porteuse qui ferme le remblai renforcé et crée un espace d'inspection sous la culée.

DESCRIPTION DE LA SOLUTION

Le système MacRes[®] (figure 2) de Maccaferri est constitué de panneaux en béton préfabriqués dont les dimensions standard sont 1,5 m x 1,5 m pour une épaisseur minimale de 14 cm. Les renforts géosynthétiques de type ParaWeb[®] sont des bandes constituées d'un faisceau de fibres polyester à haute ténacité contenues dans une gaine en polyéthylène. Cette association apporte au renfort d'excellentes performances à long terme, ce qui lui

**1 - Vue générale
du MacRes[®]
d'Orléans.**

**1 - General view
of the Orléans
MacRes[®] system.**

permet de bénéficier d'un coefficient de réduction global (incluant le coefficient de réduction au fluage, à l'endommagement et à la dégradation chimique) le plus faible du marché. Les bandes

ParaWeb[®] sont reliées au parement au moyen d'amorces géosynthétiques MacLoop[®] (figure 3). La stabilité du massif est assurée par l'interaction entre les bandes de renfort et le remblai structural mis en place à l'arrière du parement. Le parement en béton joue uniquement un rôle esthétique et de confinement local du remblai.

DESCRIPTION DES OUVRAGES

La culée C1 (figure 4) est implantée le long de l'autoroute A71 contre la bre-

telle menant vers Vierzon. Les murs en retour en MacRes® forment une rampe en double face sur un linéaire de 73 m avec une largeur d'environ 10 m, le mur côté Est est prolongé pour atteindre un linéaire total de 115 m. La surface totale des MacRes® de la culée C1 est de 1 482 m² répartie en trois murs : côté Est (889 m²), côté Ouest (532 m²) et derrière la culée (61 m²). La hauteur maximale de 10,11 m est atteinte à proximité de la culée.

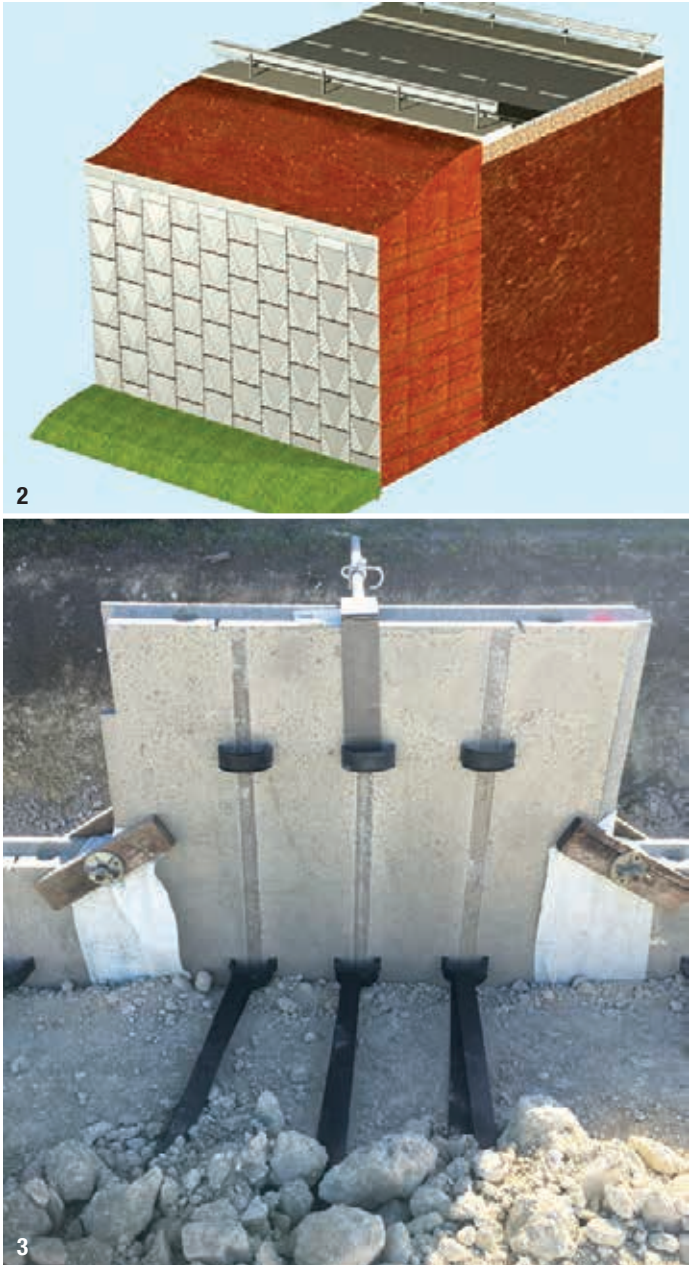
La culée C3 (figure 5) est située au nord-ouest de l'A10 (sens Paris-Tours). Cet ouvrage constitue une rampe sur 13,5 m avec une largeur entre mur d'environ 10 m. Les surfaces des murs MacRes® Est et Ouest sont de l'ordre de 117 m² chacun, avec 53 m² pour le mur à l'arrière de la culée C3. Pour cette culée, les murs MacRes® ont une surface totale de 287 m² pour une hauteur maximale de 9,55 m.

DIMENSIONNEMENT

Le dimensionnement des ouvrages en remblai renforcé a été réalisé selon la norme NF P 94-270 "Calcul géotechnique - Ouvrages de soutènement - Remblais renforcés et massifs en sol cloué". France Maccaferri a réalisé les vérifications de stabilité interne et externe des remblais renforcés MacRes®. Le dimensionnement permet de déterminer les résistances et les longueurs des renforts géosynthétiques à mettre en œuvre et de définir les sections où les écailles béton nécessitent un ferrailage. Les efforts appliqués sur l'ouvrage sont transmis aux renforts par frottement de ces derniers avec le remblai structural. Pour chaque niveau de renfort, il convient donc de vérifier que le renfort a la capacité structurale de résister aux efforts appliqués (vérification de la résistance du renfort) mais également que l'effort transmis peut bien être mobilisé par frottement avec le remblai structural (vérification à l'adhérence).

L'une des particularités de ce chantier est l'utilisation d'un remblai traité à la chaux pour monter les remblais renforcés MacRes®. Cette variante au marché a été proposée par l'en-

© FRANCE MACCAFERRI



2- Vue 3D du système MacRes®.
3- Vue arrière d'une écaille MacRes®.

2- 3D view of the MacRes® system.
3- Rear view of a MacRes® facing panel.

treprise adjudicataire afin de pouvoir réutiliser les matériaux issus du site. Après s'être assuré que les renforts ParaWeb® restaient compatibles avec ces matériaux traités, c'est une étude globale qui a permis de retenir cette solution. En effet, les renforts ParaWeb® peuvent être utilisés dans des conditions chimiques plus agressives qu'avec un remblai granulaire

d'apport. Pour l'aménagement de la bifurcation A10/A71, les remblais de type A2 ont été traités à 1 % de CaO. Les résultats d'essais de laboratoire ont montré des pH allant jusqu'à 11,9. Les matériaux retenus présentaient un faible angle de frottement (25° dans notre cas) et bien que la cohésion soit élevée (55 kPa), elle a été négligée au niveau des renforts conformément aux préconisations normatives. Les dimensionnements basés sur ces faibles caractéristiques géomécaniques ont conduit à l'utilisation de renforts plus résistants. Les efforts générés par ce type de remblai étant plus élevés, le report de charge au parement est également supérieur. Cela a pour conséquence la nécessité d'un ferrailage des écailles plus important en comparaison avec le dimensionnement issu d'un remblai granulaire d'apport. Ces éléments conduisent à une augmentation du coût du système MacRes®. Toutefois, cet aspect est compensé par la possibilité de réutiliser un remblai issu du site ne nécessitant pas l'apport de matériaux extérieurs. L'impact carbone est aussi plus avantageux puisqu'il évite la mise en décharge des matériaux de déblai, permet de limiter l'utilisation de matériau noble d'apport et diminue les circulations d'engins pour le transport des matériaux extérieurs. C'est ici une balance globale entre les études techniques, les aspects économiques et la considération environnementale qui a conduit au choix de l'utilisation d'un remblai traité à la chaux pour les ouvrages MacRes® du PSI986. La présence d'une GBA en tête d'ouvrage a également été prise en compte dans le dimensionnement des renforts pour intégrer le cas de chocs accidentels de véhicule sur ce dispositif de sécurité. Cet effort a un impact sur les 2 m supérieurs de remblai sous l'assise de la GBA. Pour les remblais renforcés des culées C1 et C3, trois types de renforts ont donc été retenus ; les plus résistants sont positionnés en pied d'ouvrage. Il s'agit des ParaWeb® ME 27, ME 36 et ME 54. La résistance à la traction de calcul des renforts géosynthétiques est déterminée à partir de la résistance nominale à la traction qui est réduite par des coefficients de réduction liés à l'endommagement mécanique (ρ_{end}), au fluage (ρ_{flu}) et aux agressions de l'environnement (ρ_{deg}) (voir tableau A). Pour les parties des ouvrages en rampe, les bandes de renfort ParaWeb® sont positionnées de manière à relier les deux parements (figure 6).

TABLEAU A : RÉSISTANCE À LA TRACTION DES RENFORTS ParaWeb® UTILISÉS

Renforts utilisés	ParaWeb® ME 27	ParaWeb® ME 36	ParaWeb® ME 54
Résistance à la traction Nominale	27,4 kN	36,2 kN	54,3 kN
Coefficient de sécurité global	$FS = \rho_{end} * \rho_{flu} * \rho_{deg} = 1,70$	$FS = \rho_{end} * \rho_{flu} * \rho_{deg} = 1,62$	$FS = \rho_{end} * \rho_{flu} * \rho_{deg} = 1,62$
Résistance à la traction de calcul	16,12 kN	22,31 kN	33,46 kN



MISE EN ŒUVRE DES REMBLAIS RENFORCÉS MacRes®

La pose des écaïlles MacRes® et des renforts ParaWeb® des culées C1 et C3 de l'ouvrage PSI986 a été réalisée par les équipes de France Maccaferri.

La fondation de l'ouvrage est constituée d'une semelle en béton maigre de section 35x15 cm disposée sous l'écaïlle en béton et sert de réglage à la pose. La parfaite planéité de la semelle est fondamentale pour le montage de l'ouvrage afin d'assurer l'emboîtement et l'alignement des panneaux les uns aux autres.

Les écaïlles du rang de base sont disposées en quinconce, par alternance d'une écaïlle de base de 75 cm de hauteur et une écaïlle standard de 1,50 m de hauteur. Avant remblaiement du premier rang de renfort, elles sont retenues à l'aide de tirants poussants et de serre-joints (figure 7). Un léger fruit (1 cm/m) côté remblai est assuré pour tenir compte d'un redressement

éventuel lors du montage et du compactage du remblai et éviter l'apparition d'un faux aplomb.

Le calage des écaïlles les unes par rapport aux autres est assuré par la mise en place de cales en bois permettant

la connexion latérale des écaïlles entre elles tout en évitant les contacts béton/béton. Ce calage assure également l'alignement des écaïlles entre elles. Pour éviter le passage de fines à travers les joints, des bandes de géotextile



4- MacRes® de la culée C1.

5- MacRes® de la culée C3.

6- Mise en place des renforts ParaWeb®.

7- Installation du premier rang d'écaïlles.

8- Rouleau de renfort ParaWeb®.

4- MacRes® on abutment C1.

5- MacRes® on abutment C3.

6- Placing ParaWeb® reinforcements.

7- Installing the first row of facing panels.

8- Roll of ParaWeb® reinforcement.



© FRANCE MACCAFERRI 9

non tissé de 200 g/m² sont disposées à l'arrière des écailles au niveau des joints horizontaux et verticaux. La mise en place des renforts s'effectue dès que le niveau du remblai atteint la première amorce. Livrée sous forme de rouleau (figure 8), l'extrémité de la bande ParaWeb® est positionnée à l'arrière du massif renforcé. Pour la maintenir fixe pendant les phases de

9- Renforts Para-Web® culée C1.
10- Alternance des matrices Steiermark et Marne.

9- Para-Web® reinforcements on abutment C1.
10- Alternation of Steiermark and Marne moulds.

remblaiement, la bande est repliée sur elle-même sur 2 m de longueur, les 2 brins étant connectés par deux fers en forme de S. La bande est alors enroulée autour d'un fer à béton placé horizontalement en butée contre 2 fers à béton fichés dans le remblai et espacés de 10 cm. La bande peut alors être déroulée vers le parement et être passée autour de l'amorce MacLoop®.

Elle est ensuite étendue vers l'arrière du massif renforcé et passée autour de l'amorce située sur l'écaille en face pour les murs en rampe ou à nouveau passée autour du fer à béton horizontal pour les murs arrière aux culées (figure 9). Ces opérations sont répétées jusqu'à l'autre extrémité du rouleau. La connexion entre deux rouleaux est assurée par recouvrement sur une longueur de 2 m des deux extrémités des rouleaux ParaWeb® à l'aide de deux fers en acier en forme de S.

Une fois le remblaiement d'une hauteur de 75 cm effectué, il est possible d'installer la rangée supérieure avec des écailles standard. Des joints EPDM de 2 cm d'épaisseur sont disposés à l'interface horizontale entre deux panneaux pour éviter le contact béton/béton.

En tête, les écailles suivent le profil en long de la voirie. Les redans de tête de 19 cm sont cachés derrière la corniche métallique placée en tête d'ouvrage. En pied, la fondation présente des niveaux variables en fonction du profil topographique. Les écailles sont posées horizontalement sur la semelle béton. Les différences de niveaux sont rattrapées par des redans de 75 cm qui correspondent à l'espacement vertical entre les rangs de renfort.

PHASAGE DU CHANTIER

Le phasage de ce chantier nécessitait une réalisation des remblais renforcés en deux phases permettant de réaliser le lançage de la charpente métallique du tablier. Tout d'abord, les ouvrages MacRes® ont été montés jusqu'au niveau supérieur du chevet. La descente de charge de la grue servant à la dépose de l'avant-bec a été retenue à 30 t maximum réparties sur 4 patins. Ceux-ci ont été modélisés par des surcharges de 200 kPa sur 1 m². Suite au lançage de la charpente puis à la réalisation du garde-grève, les remblais renforcés MacRes® ont été montés jusqu'à leur niveau définitif.

Au niveau des patins, les vérifications de stabilité ont été effectuées en phase provisoire afin de s'assurer que le dimensionnement était toujours valable. En effet, à ce stade la surcharge est plus importante tandis que la hauteur de mur est inférieure à celle de la configuration définitive.

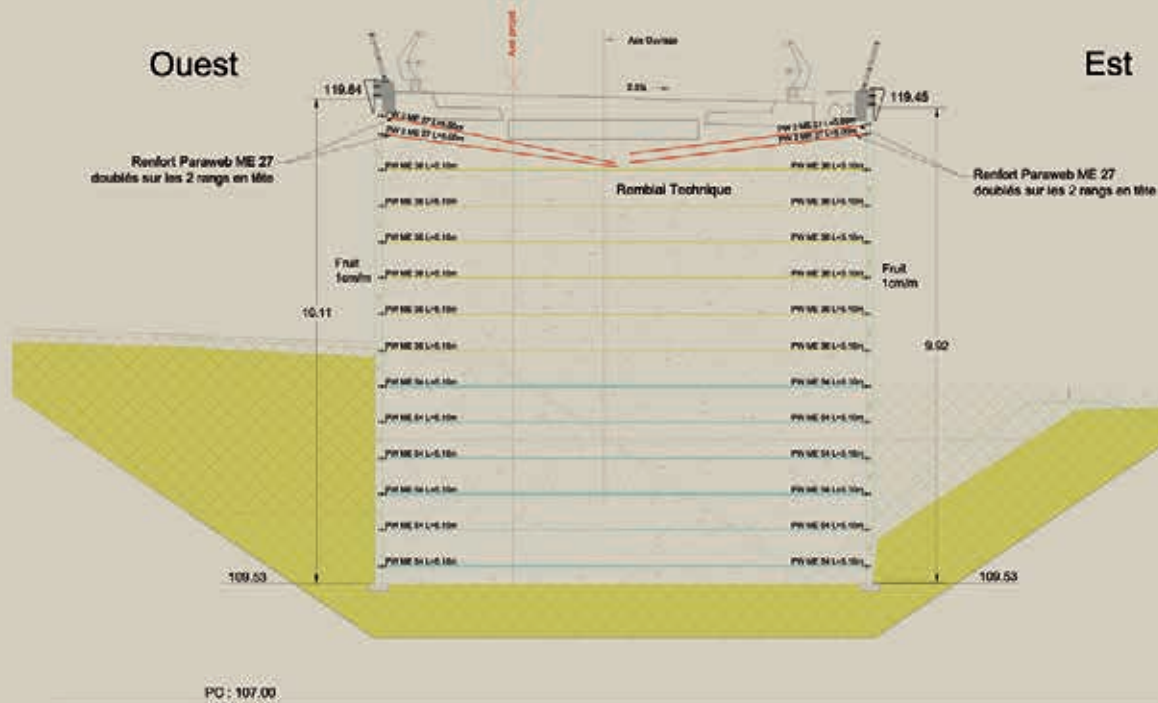
FINITION DES MURS

L'esthétique et l'aspect architectural revêtent un intérêt particulier pour ce chantier. Conformément au marché, deux modèles de matrice Reckli ont été utilisés.



© FRANCE MACCAFERRI 10

COUPE SUR LE MacRes® AU NIVEAU DE LA DALLE DE TRANSITION



11

© FRANCE MACCAFERRI

L'une présente des stries diagonales "Steiermark 2/180", l'autre propose un motif bouchardé "Marne 2/64". L'ensemble de la culée C3 (béton de la culée et écailles MacRes®) présente un matricage de type Steiermark. Pour la culée C1, de surface plus importante, le matricage est réalisé en alternant trois colonnes d'écailles avec les matrices Steiermark (identique à la culée C3) avec une colonne à matricage Marne (figure 10). En tête d'ouvrage, un garde-corps et une corniche métallique sont fixés sur des corniches en béton préfabriquées. Afin d'établir une jonction avec les murs MacRes® des fers en attentes ont été scellés dans les écailles MacRes® lors de leur préfabrication.

PARTICULARITÉS À PROXIMITÉ DE LA CULÉE

La présence de la dalle de transition au niveau des culées empêchait de positionner les renforts de la même manière que pour la partie courante. En effet, les rangées d'amorces supérieures se trouvent au même niveau que la dalle de transition. Les renforts ont donc été mis en œuvre avec un pendage vers l'intérieur du remblai de manière à passer au-dessous de la dalle. Dans cette configuration, les renforts ne peuvent pas relier les deux parements. Le dimensionnement particulier de



12

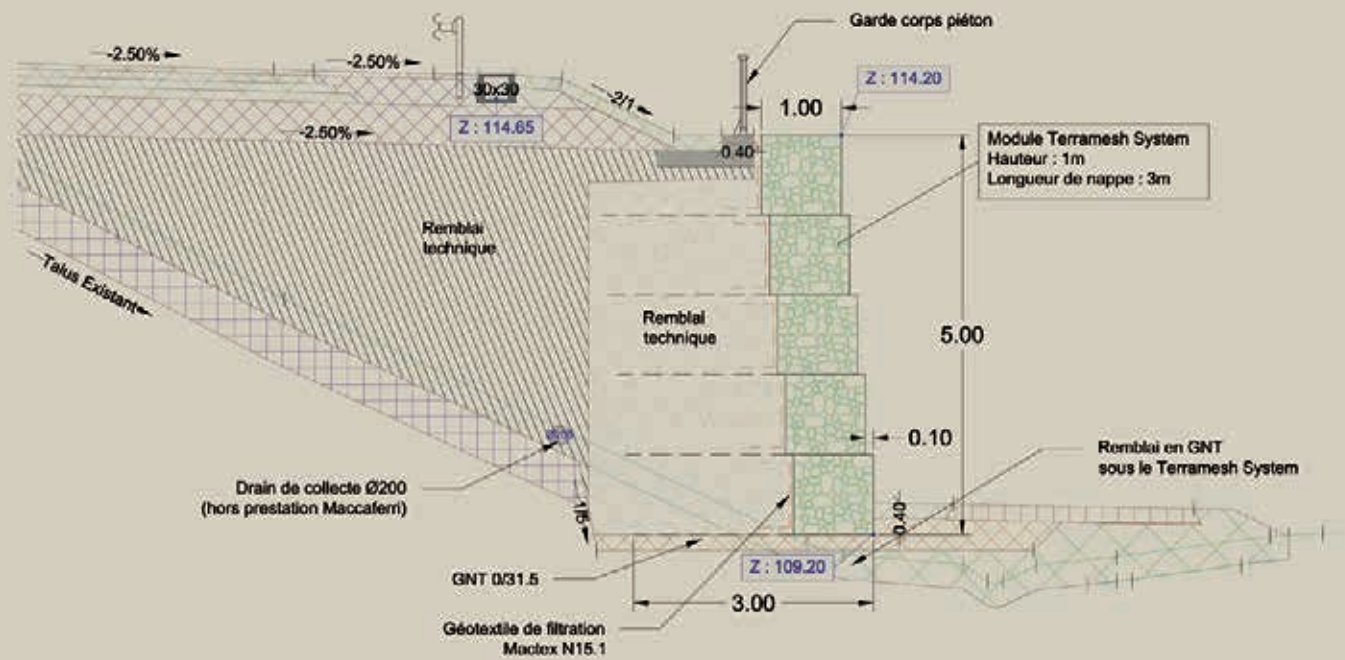
© FRANCE MACCAFERRI

11- Coupe sur le MacRes® au niveau de la dalle de transition.
12- Jonction avec le chevêtre de la culée C1.

11- Cross section on MacRes® at the transition slab level.
12- Junction with the cap of abutment C1.

cette zone a donc conduit à doubler le nombre de bande ParaWeb® par amorces sur les deux rangs de tête sur tout le linéaire de la dalle de transition (figure 11). Pour le mur de la culée C1, les écailles des murs en retour sont positionnées contre le chevêtre béton. Cette configuration est un souhait architectural et permet de cacher le mur en retour positionné derrière la culée (figure 12). Sur toute la hauteur du mur arrière à la culée, les bandes de renforts ont également été mises en œuvre selon un schéma particulier permettant de relier les différents murs entre eux. Cette configuration a notamment pour but de créer une meilleure jonction entre les murs.

COUPE DU Terramesh® System SOUT992



OUVRAGES SOUT991 ET SOUT992

Dans le prolongement de la bretelle A10/A71, France Maccaferri a également participé à l'aménagement des murs SOUT991 et SOUT992 localisés en contrebas du côté Ouest de l'A71. La solution de soutènement retenue pour ces ouvrages est un remblai renforcé à parement minéral de type Terramesh® System (figure 13). Il s'agit d'un parement minéral de type gabion qui se prolonge par une nappe de grillage métallique en arrière de 3 m de longueur. Ces deux ouvrages sont situés de part et d'autre du portique PS990 ouvrant un passage sous l'A71. L'ouvrage Terramesh® System SOUT991

13- Coupe du Terramesh® System SOUT992.

13- Cross section of Terramesh® System SOUT992.

a une longueur de 117 m pour une hauteur moyenne de 4 m. Pour le SOUT992, l'ouvrage a un linéaire de 180 m avec une hauteur moyenne de 5 m. La surface totale des deux ouvrages Terramesh® System est de l'ordre de 1280 m². Le remblai mis en œuvre est également le remblai traité à la chaux qui a été utilisé pour l'ouvrage MacRes®. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

SURFACE MacRes® : 1 770 m²
AMORCES MacLoop® : 4200 u
RENFORTS ParaWeb® : 49 200 m
Terramesh® System : 1 280 m²

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Cofiroute
MAÎTRE D'ŒUVRE : Egis ville & transport
ENTREPRISE : Groupement Guintoli / Nge GC / Siorat / Agilis / Eiffage Route / Matière
FOURNISSEUR DU SYSTÈME MacRes® : France Maccaferri

ABSTRACT

MacRes® REINFORCED FILLS, A10/A71 JUNCTION IN ORLEANS

CLOTHILDE BONNET-BALLON, FRANCE MACCAFERRI

The MacRes® reinforced soil system with precast concrete panel cladding developed by the Maccaferri group was selected for the execution of reinforced fills adjacent to abutments C1 and C3 of structure PSI986 as part of development of the junction between the A10 and A71 motorways north of Orléans, in the Loiret region of France. The technique chosen was the use of synthetic band reinforcements with high tensile strength offering high durability. This process made it possible to recycle materials coming from the site after first being treated with lime for execution of engineering backfill. The architectural finish was obtained by moulding all the MacRes® facing panels during their precasting. □

TERRAPLENES REFORZADOS MacRes® BIFURCACIÓN A10/A71 EN ORLEANS (45)

CLOTHILDE BONNET-BALLON, FRANCE MACCAFERRI

El sistema de suelo reforzado con revestimiento de paneles de hormigón prefabricados MacRes® desarrollado por el grupo Maccaferri ha sido elegido para la realización de los terraplenes reforzados contiguos a los estribos C1 y C3 del paso PSI986, en el marco de la mejora de la bifurcación entre la A10 y la A71, al norte de Orléans (45). La alternativa técnica se ha decantado por refuerzos mediante bandas sintéticas de alta resistencia a la tracción y durabilidad. Este procedimiento ha permitido reutilizar materiales extraídos del lugar, previamente tratados con cal para realización de los terraplenes técnicos. El acabado arquitectónico se ha logrado mediante el matizado del conjunto de las escamas MacRes® durante su prefabricación. □