

REMBLAIS RENFORCÉS AVEC BLOCS CELLULAIRES EN PAREMENT POUR L'ÉCHANGEUR NORD À OUAGADOUGOU

CONSTRUCTION OF A MODULAR BLOCK RETAINING WALL FOR THE NORTHERN INTERCHANGE IN OUAGADOUGOU

Alain NANCEY ¹, André PIEYRE ², Jean-Baptiste DUQUET ³, Hervé OUÉDRAOGO ⁴

¹ Tencate, Bezons, France

² Atalus, Rillieux-la-Pape, France

³ Antea, Aubagne, France

⁴ AGEIM, Ouagadougou, Burkina Faso

RÉSUMÉ – Dans le cadre de la SCADD (Stratégie de Croissance Accélérée et de Développement Durable) de l'Etat burkinabé, la création d'un échangeur a été décidée pour assurer une bonne structuration du réseau routier et la fluidité du trafic urbain dans les zones situées au nord de la ville de Ouagadougou. Les routes d'accès à l'échangeur ont été construites sur des remblais dont la hauteur varie entre 2,4 m et 9,1 m. Un renforcement par géosynthétique combiné à un parement de blocs modulaires a été choisi pour assurer la stabilité des talus et offrir une solution esthétique adaptée à l'environnement.

Mots-clés : renforcement, murs, talus, parement.

ABSTRACT – As part of the SCADD (Accelerated Growth Strategy and Sustainable Development) of the State of Burkina Faso, the construction of an interchange was decided to ensure a good structuring of the road network and the fluidity of urban traffic in areas located in the north of the city of Ouagadougou. The access roads to the interchange were built on embankments ranging in height from 2.4 m to 9.1 m. A geosynthetic reinforcement combined with a modular block system was chosen to ensure the stability of the slopes and offer an aesthetic solution adapted to the environment.

Keywords: reinforcement, walls, slopes, facing.

1. Contexte du projet

Permettre la fluidité du trafic urbain autour des grandes villes est un défi dans le monde entier qui rend nécessaire le développement de grands projets d'infrastructures. Dans l'agglomération de la ville de Ouagadougou au Burkina Faso, l'échangeur nord, situé entre l'intersection de la RN02 avec la RN22 et celui de la RN02 avec le « "Boulevard des Tansoba » vise à restructurer le réseau routier et à soulager sa congestion.

Cet ouvrage doit permettre d'améliorer le trafic à Ouagadougou grâce à l'extension du boulevard circulaire à travers le district de Tanghin et en direction de l'aéroport. L'ouvrage va permettre un gain de temps significatif pour les usagers et améliorera la sécurité routière. Il va faciliter l'activité économique et contribuer au bien-être des habitants de la capitale et des communes voisines de Signoghin, Baskuy, Nongremassom et Kamboisin, qui comptent plus de 800 000 habitants. Les travaux de terrassement, réalisés entre 2015 et 2018, ont été soutenus par l'Etat Burkinabé dans sa stratégie pour la croissance accélérée et le développement durable.

L'échangeur nord est constitué d'un réseau de voies d'accès (Figure 1) qui a nécessité la construction de remblais, dont la hauteur varie entre 2,4 m et 9,1 m, avec des travaux qui se sont heurtés aux difficultés inhérentes à la zone urbaine telles que l'espace disponible limité pour l'accès mais aussi au fait que l'échangeur est situé entre deux barrages et dans l'emprise d'un déversoir. Ces contraintes ont apporté plus de complexité dans le phasage de la construction. La réalisation de l'échangeur devait donc se faire sans perturber l'état de fonctionnement du barrage amont. Par conséquent, le déplacement et la reconstruction de son déversoir s'imposaient avec la nécessité de maintenir la cote du déversoir existant et la configuration envisagée des différentes voies.



Figure 1. Echangeur nord de Ouagadougou en juin 2018 (photo Sogea Satom)

2. Talus et murs renforcés par géosynthétiques

Pour limiter l'emprise au sol et l'achat de remblais qui aurait augmenté significativement le coût des terrassements, le raidissement des talus des remblais était une nécessité tout en conservant une grande souplesse géométrique pour assurer les raccordements avec les ouvrages d'art et réaliser les courbes et changements de pente nécessaires. La solution choisie par le maître d'ouvrage a consisté à construire des murs de soutènement renforcés par géosynthétiques et constitués de blocs modulaires en béton au parement. Ce système est compatible avec une grande variété de matériaux de remblais et permet de s'adapter au contexte technico-économique local.

2.1. Sols et matériaux de remblai

L'étude de sol et les essais en laboratoire ont été effectués par le Laboratoire national des travaux publics (LNBTP) sous la supervision du consultant. La campagne de reconnaissance s'est concentrée sur une section de 6,2 km en réalisant des sondages manuels tous les 250 m environ avec échantillonnage pour identifier les sols de plateforme. Elle a donné lieu à une recherche de matériaux adaptés pour les structures de chaussée, la prospection et l'étude de dépôts d'agrégats et de roches massives pour les bétons hydrauliques et enduits.

Le matériau utilisé pour les remblais est constitué de graviers latéritiques disponibles dans la région de Ouagadougou, matériau que l'on retrouve lors de sondages dans les couches de base et de fondation. Pour le dimensionnement, les caractéristiques figurant dans le tableau 1 ont été retenues.

Tableau 1. Caractéristiques du sol pour le dimensionnement

| | type de sol | masse volumique | cohésion | angle de frottement |
|-----------------------------|-------------------|------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Sol de remblai et fondation | grave latéritique | $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$ | $c' = 0 \text{ kPa}$ | $\varphi' = 35 \text{ degrés}$ |

Un essai de cisaillement sur le matériau consolidé drainé a fourni une valeur de 43 degrés pour l'angle de frottement. Avec une valeur de 35 degrés, le dimensionnement va donc dans le sens de la sécurité.

2.2. Dimensionnement du renforcement géosynthétique

2.2.1. Approche de la sécurité de l'ouvrage

Pour la majorité des remblais du site de l'échangeur faisant l'objet de cette technique, l'inclinaison du parement est inférieure ou égale à 75 degrés. Les calculs de dimensionnement du renforcement géosynthétique ont été réalisés suivant la norme française de justification NF G 38-064 qui applique l'approche de sécurité de l'Eurocode 7 et son annexe nationale NF EN 1997-1/NA: ELU type "GEO" et "STR", approche "3", en utilisant une analyse de cercle de glissement pour la vérification de la stabilité mixte. Les facteurs partiels appliqués aux actions et aux paramètres de calcul sont définis dans le tableau 2.

| Paramètres | Facteur partiels | Valeurs |
|------------------------------|---------------------|---------|
| Poids volumique du sol | γ_G | 1,0 |
| Charges temporaires | γ_Q | 1,3 |
| Angle de frottement | $\gamma_{\varphi'}$ | 1,25 |
| Cohésion | $\gamma_{c'}$ | 1,25 |
| Résistance du renforcement | $\gamma_{M,t}$ | 1,25 |
| Interaction sol/renforcement | $\gamma_{M,f}$ | 1,1 |

Pour les ouvrages dont l'inclinaison est supérieure à 76 degrés, la norme NF P 94-270 s'applique avec la vérification de la stabilité interne.

2.2.2. Surcharge

La circulation est prise en compte par une charge temporaire de 20 kPa répartie uniformément sur 10 m de large en tête de plateforme et à partir de 3 m de la crête.

2.2.3. Renforcement géosynthétique

Le remblai est renforcé par des nappes de géosynthétiques dont le nombre et la longueur varient en fonction de la section considérée. Pour chaque section transversale, le renforcement géosynthétique a été conçu pour assurer la stabilité pour un ou les deux côtés du remblai, comme le montre l'exemple de la figure 2.

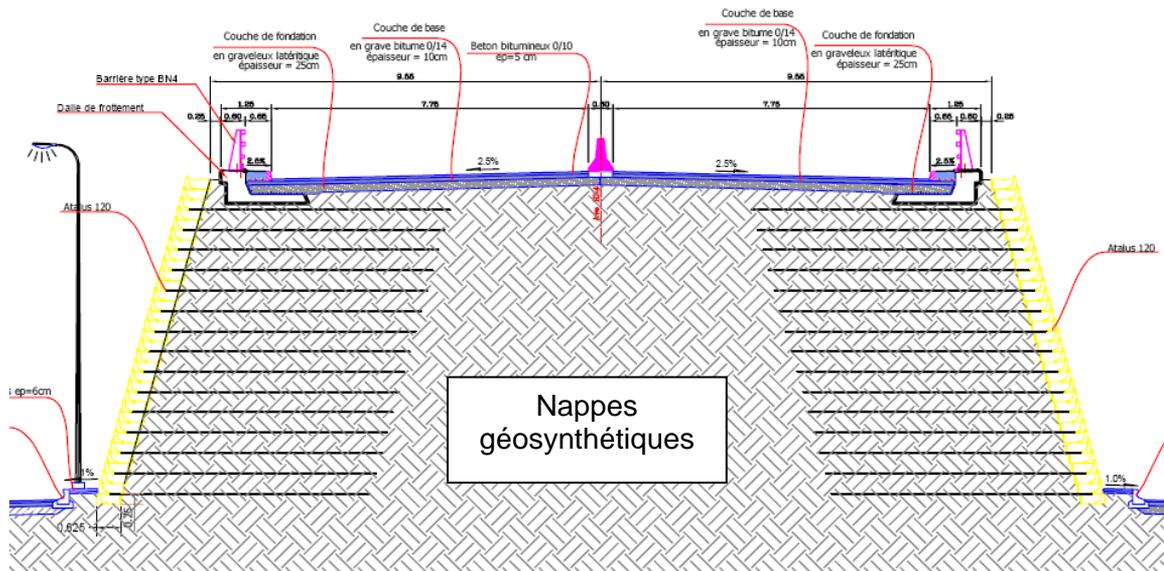


Figure 2. Exemple de coupe transversale.

2.2.4. Analyse de la stabilité

L'analyse de la stabilité mixte vise à étudier les ruptures dans le remblai renforcé par géosynthétiques et dans le sol à l'arrière. Les calculs sont effectués avec le logiciel ReSSA 3.0, selon la méthode de Bishop en utilisant des surfaces de glissement circulaires. Un exemple d'analyse est donné sur la figure 3,

fournissant le niveau de sécurité pour chaque cercle étudié. Dans le calcul, un coefficient de sécurité global supérieur ou égal à 1,0 est recherché pour assurer la stabilité.

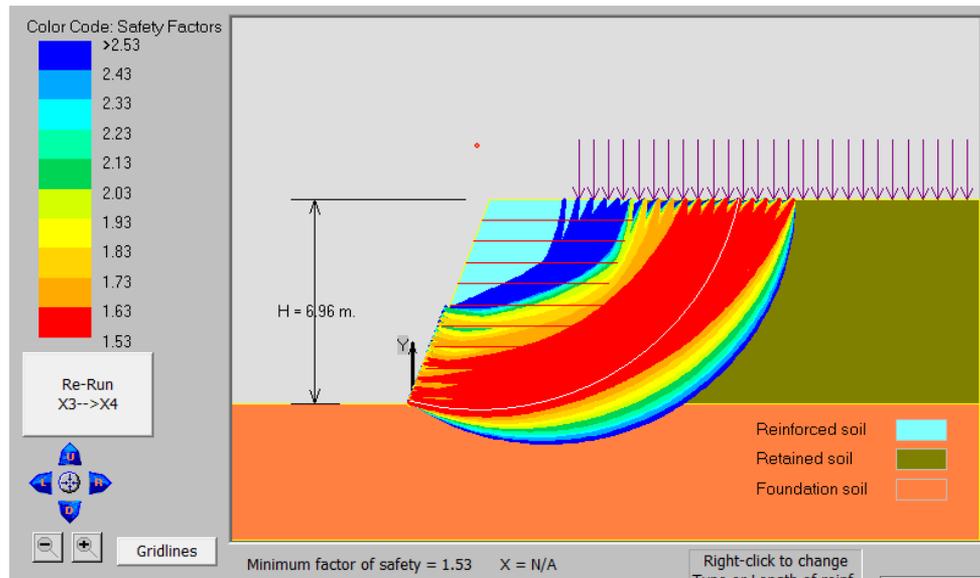


Figure 3. Exemple d'analyse de cercles de glissement

Sur cette section où la hauteur de la paroi est de 7,2 m dont 6,96 m de remblai renforcé et elle est inclinée à 75 degrés, le renforcement est assuré par 10 nappes de géotextile de forte résistance et d'une longueur totale de 5,45 m. L'espacement vertical entre les couches est de 72 cm (3 hauteurs de bloc), sauf pour les deux premiers lits pour lesquels l'espacement vertical est de 0,48 m.

2.2.5. Résistance à long terme du géosynthétique

La valeur de la résistance à long terme du géosynthétique est la valeur de calcul de résistance ultime de traction $R_{t;d}$ considérée dans la justification de la stabilité mixte. Elle est calculée d'après la norme NF G38-064, en considérant la durée de vie de l'ouvrage et les conditions d'installation.

$$R_{t;d} = \frac{R_{t;k}}{\gamma_{M;t} \cdot \Gamma_{flu} \cdot \Gamma_{vieil} \cdot \Gamma_{instal}} \quad (1)$$

avec :

- $R_{t;k}$: valeur caractéristique de la résistance en traction du géosynthétique mesurée suivant la norme NF EN ISO 10319
- $\gamma_{M;t}$: facteur partiel sur la résistance des éléments de renforcement
- Γ_{flu} : coefficient de réduction lié au fluage du géosynthétique
- Γ_{vieil} : coefficient de réduction lié au vieillissement du géosynthétique pour $4 \leq \text{pH} \leq 8$
- Γ_{instal} : coefficient de réduction lié à l'endommagement du géosynthétique lors de l'installation

Le coefficient de réduction lié à l'endommagement a été choisi pour des conditions d'installation considérées comme "sévère" au sens de l'Annexe C de la norme NF G 38-064. Les facteurs de réduction du fluage et du vieillissement tiennent compte d'une température moyenne de 30°C (contre 20°C en France métropolitaine) et de 100 ans de vie. En particulier, les tests d'hydrolyse effectués sur les fils de PET à différentes températures et sur de longues durées permettent de calculer la force résiduelle à 30°C en utilisant la loi d'Arrhenius. La combinaison du facteur partiel et de tous les facteurs de réduction conduit à obtenir une force de calcul à long terme correspondant à la résistance caractéristique à la traction réduite d'un facteur global égal à 3,3.

Le dimensionnement a conduit à choisir des géotextiles tissés à haute résistance de 150 et 200 kN/m qui répondent aux exigences de résistance à long terme demandées suivant le profil.

2.3. Les éléments de parement

Les blocs de béton cellulaires sont les éléments brevetés Atalus de 120 kg © AMPI 204118 de forme arrondie et dont la largeur est de 70 cm et la profondeur 60 cm. Pour faciliter la mise en œuvre, l'espacement vertical entre les couches de renforcement géosynthétiques doit être un multiple de 24 cm, la hauteur des éléments en béton.

La figure 4a montre le placement de la première rangée en utilisant un dispositif spécial pour porter les blocs. Les blocs peuvent être installés à un angle de pente β variant de 45 à 88 degrés. Ils doivent reposer sur une base stable, soit directement, comme le montre la figure 4b sur un sol support dur et régulier, soit sur un béton de propreté ou sur une fondation si nécessaire.



Figure 4. (a) Eléments de parement (b) Première rangée à la base

Les remblais ont été construits par des couches compactées de 24 cm avec ou sans géosynthétique à leur base en fonction de la rangée. Les géosynthétiques sont ancrés sur une longueur de 30 cm par frottement entre deux rangées de blocs (Figure 5a) et la couche de matériau de remplissage compactée (Figure 5b).



Figure 5. Installation du géosynthétique et des blocs (a) sur la couche compactée (b) rangée de blocs posés sur le renforcement

Les remblais de l'échangeur nord peuvent être rectilignes sur certaines sections mais aussi être disposés en courbes avec des hauteurs et des angles de pente variables. La grande flexibilité de ce système permet de suivre une géométrie parfois complexe. Presque tous les scénarios géométriques ont été appliqués sur ce chantier, le plus long mur atteint 500 m et une hauteur maximale de 8,6 m, le rayon de courbure le plus court étant de 8 m.



Figure 6. Flexibilité géométrique du système de parement, droit ou incurvé

Le parement suit une succession de courbes et de courbes inverses tout en étant connecté verticalement avec des structures de génie civil comme indiqué, figure 7, dans la vue de dessus du carrefour 4 appelé Trompette. Dans certaines courbes, l'inclinaison passe de 70 à 76 degrés grâce à l'ajustement de l'alignement entre deux niveaux de blocs successifs.

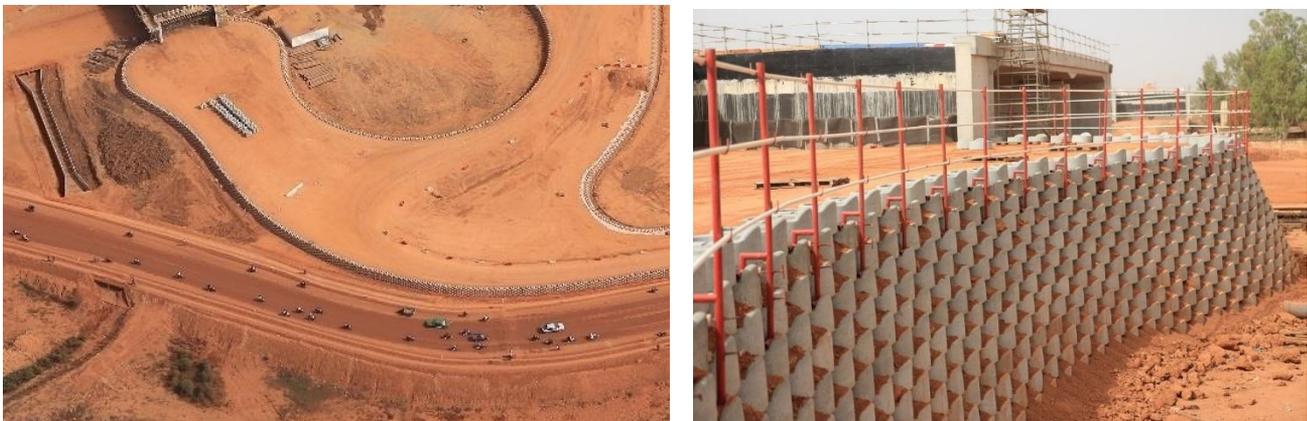


Figure 7. Carrefour Trompette et inversion de courbure

Il a été possible par exemple de connecter deux voies dont l'une passe sur l'ouvrage d'art et l'autre en partie inférieure. Le mur renforcé faisant la connexion (Figures 8 et 9) est séparé en deux parties pour suivre le niveau du sol en dessous des deux voies.



Figure 8. Jonction de deux murs renforcés et raccordement à un ouvrage d'art



Figure 9. Remblai renforcé terminé

3. Conclusion

L'utilisation de parements de blocs modulaires en combinaison avec des géosynthétiques pour renforcer un mur en terre est l'une des techniques les plus courantes. Il résout les problèmes de stabilité du remblai et offre des solutions élégantes dans l'architecture complexe de cet échangeur. La flexibilité du système permet de suivre les courbes et facilite le raccordement aux ouvrages d'art. Cette technique est entièrement adaptée au contexte technique et économique local en permettant l'utilisation d'une grande variété de matériau de remblai. À Ouagadougou, ce système a été choisi pour son intégration environnementale, la facilité d'installation et son coût. Les travaux de terrassement pour l'échangeur nord ont été achevés en 2018 et l'ouverture des nouvelles voies à la circulation est prévue pour la fin de cette même année.

4. Références bibliographiques

- NF EN 1997-1/NA (2005). Eurocode 7 - Calcul géotechnique - Partie 1 : Règles générales - Annexe Nationale à la NF EN 1997-1:2005, Association Française de Normalisation, La Plaine Saint-Denis, France.
- NF EN ISO 10319 (2015). Géosynthétiques - Essai de traction des bandes larges.
- NF P 94-270 (2009). Calcul géotechnique - Ouvrages de soutènement - Remblais renforcés et massifs en sol cloué, Association Française de Normalisation, La Plaine Saint-Denis, France.
- NF G 38-064 (2016). Utilisation des géotextiles et produits apparentés - Murs inclinés et talus raidis en sols renforcés par nappes géosynthétiques- Justification du dimensionnement et éléments de conception, Association Française de Normalisation, La Plaine Saint-Denis, France.
- ReSSA 3.0 (2012). Reinforced Slope Stability Analysis. ADAMA Engineering. Inc USA.

