

GEO5

Programme Redi-Rock : Modélisation 3D des murs

Résumé

L'objectif de ce cahier technique est de décrire l'utilisation du programme « Murs Redi-Rock » dans le cadre de la modélisation tridimensionnelle d'un mur droit puis d'un mur courbe. Le fichier exemple correspondant est « Demo_manual_39.grr ».

ATTENTION : Dans ce document, l'utilisateur sera guidé à travers toutes les étapes de définition et d'analyse d'un projet géotechnique, dans un contexte établi par l'auteur. L'utilisateur doit être informé que les réglages de l'analyse (onglet « Paramètres ») sont de sa responsabilité et doivent être vérifiés/adaptés avant de commencer tout nouveau projet.

1 Projet

Pour cet exercice, nous allons concevoir un mur de soutènement à l'aide de blocs Redi-Rock et ensuite en vérifier la stabilité au point le plus élevé.

La base du mur est horizontale, son altitude est de 320 m. Les coordonnées des points décrivant le niveau du sol derrière le mur sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Point du terrain	Coordonnées [m]	
	X	Y
1	0,00	322,00
2	15,00	325,00
3	30,00	325,00
4	44,00	323,00

TABLE 1 – Les points du sol

En raison de la forme du terrain, le mur aura approximativement ces dimensions :

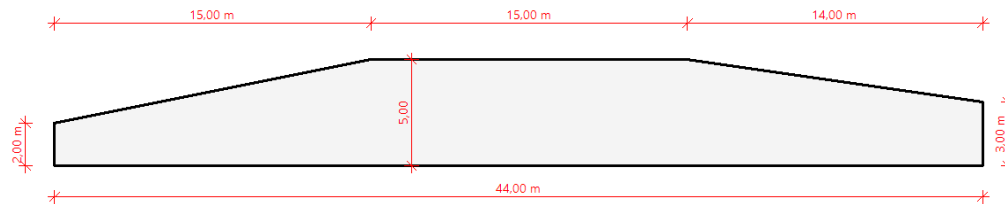


FIGURE 1 – Géométrie du mur

Nous allons supposer un retrait standard entre les blocs de 41 mm.

Nous allons créer deux types de mur :

- un mur poids
- un mur en massif renforcé.

Nous allons ensuite en comparer le processus de pose.

En bonus, nous allons concevoir le même mur mais cette fois-ci en lui donnant une forme courbe.

2 Solution

2.1 Paramétrage

Dans le cadre « Paramètres », nous allons choisir le type de structure « structure 3D » :

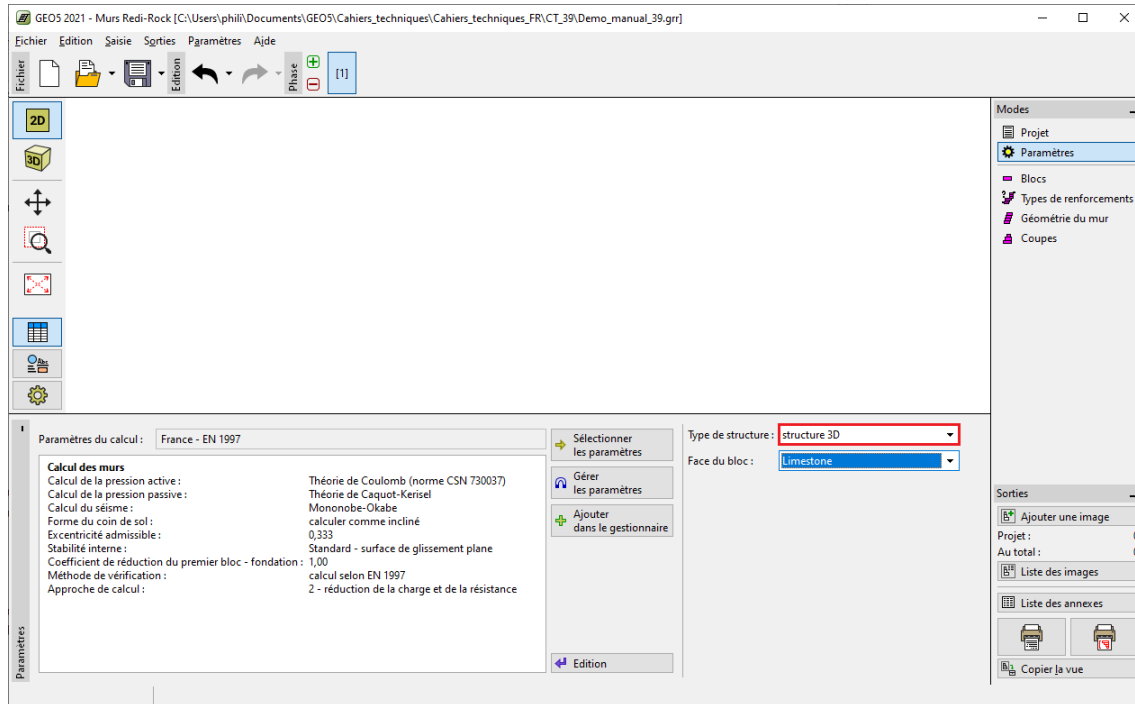


FIGURE 2 – Cadre « Paramètres »

2.2 Géométrie du mur

Dans le cadre « Géométrie du mur », nous allons saisir l'altitude de la première rangée (320 m) puis utiliser le bouton de la barre d'outils de gauche pour passer en mode « Annotations » :

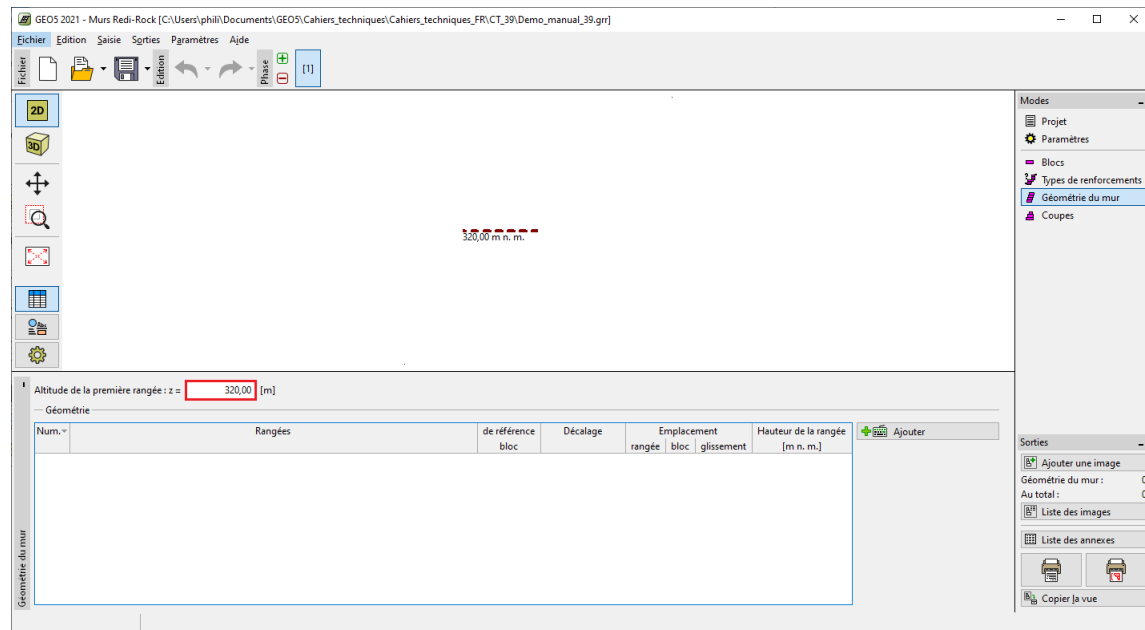


FIGURE 3 – Cadre « Géométrie du mur »

Remarque : le mode « Annotations » est utilisé pour ajouter des libellés et des objets personnalisés au modèle. L'utilisation de ce mode s'inspire des programmes de type CAO et est expliquée en détail dans cahier technique n° 38 – Annotations.

Nous allons utiliser le mode « Annotations » pour saisir le contour du mur que nous allons par la suite « recouvrir » de blocs. Pour le créer, nous allons utiliser la commande « Polyligne ».

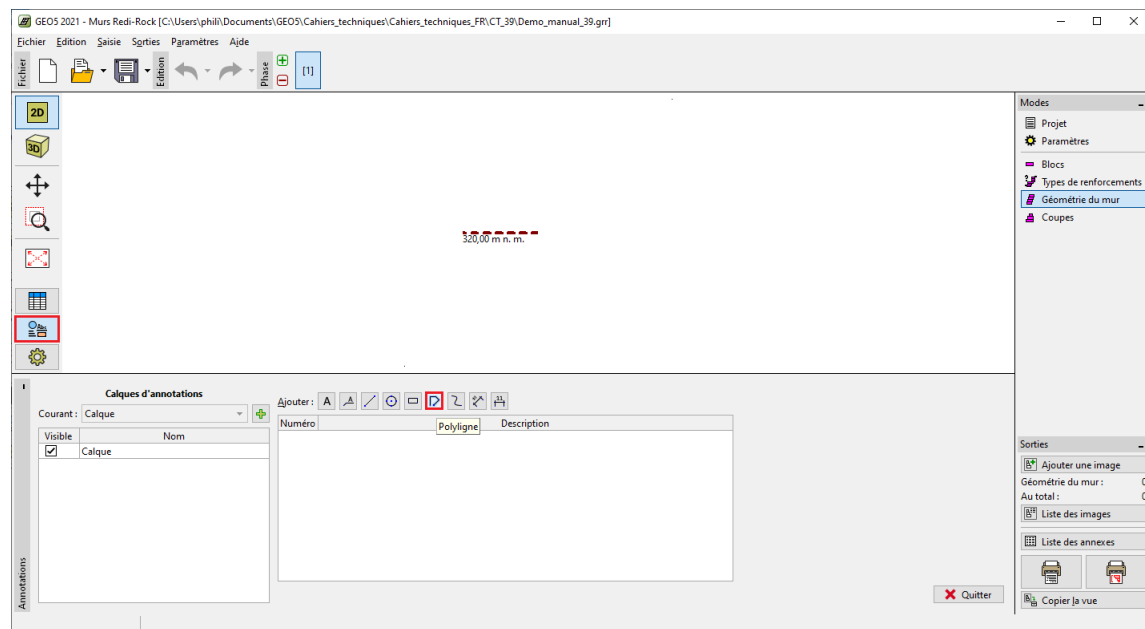


FIGURE 4 – Mode « Annotations » - Commande « Polyligne »

2.3 Silhouette du mur

Maintenant, nous allons saisir les coordonnées de la surface au sol et de la base du mur. Les coordonnées sont : (0; 320), (0; 322), (15; 325), (30; 325), (44; 323), (44; 320) :

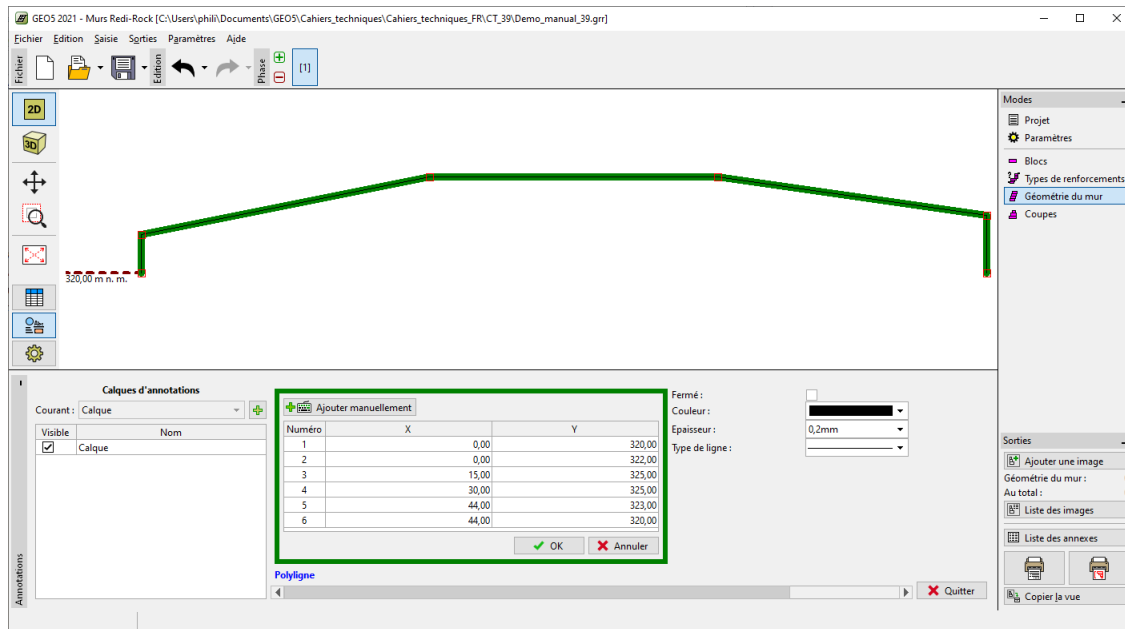


FIGURE 5 – Saisie de la silhouette du mur

Pour plus de clarté, nous allons fermer la polygline et colorer le polygone ainsi créé :

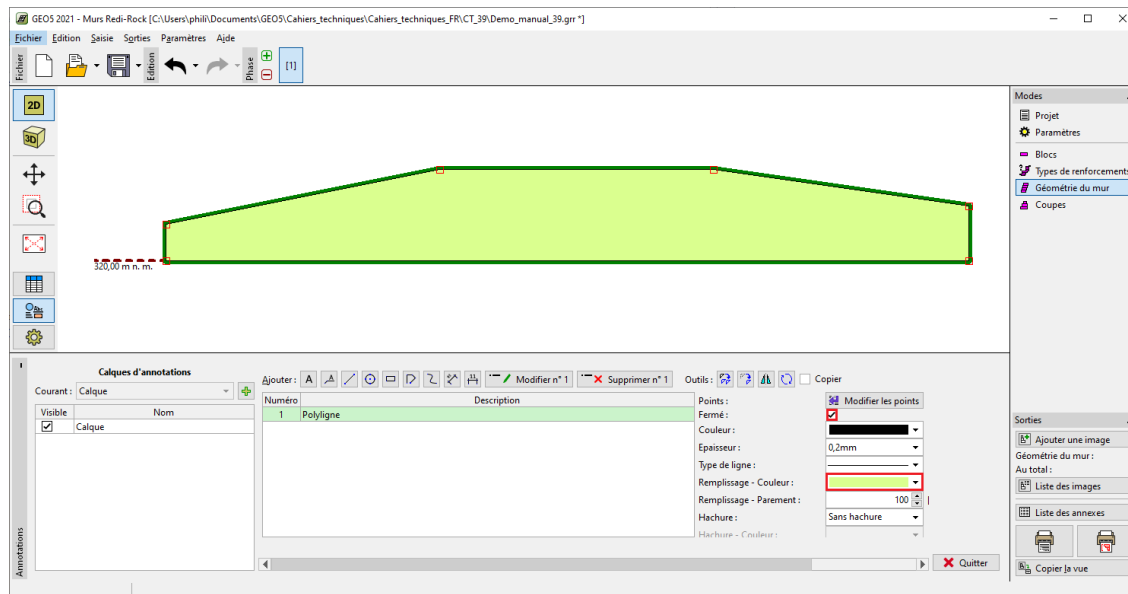


FIGURE 6 – Finalisation de l'annotation

2.4 Modélisation de la partie gauche du mur

Nous allons revenir au mode d'édition des données et commencer à saisir la première rangée du mur. Pour cette première rangée, nous choisissons d'utiliser le type de bloc inférieur de 60 "

(R-60B).

Nous allons « ajouter » la première rangée et sélectionner le retrait souhaité, la valeur par défaut est de 41 mm. Le retrait peut être modifié en fonction des différentes rangées mais aussi en fonction des blocs dans la rangée.

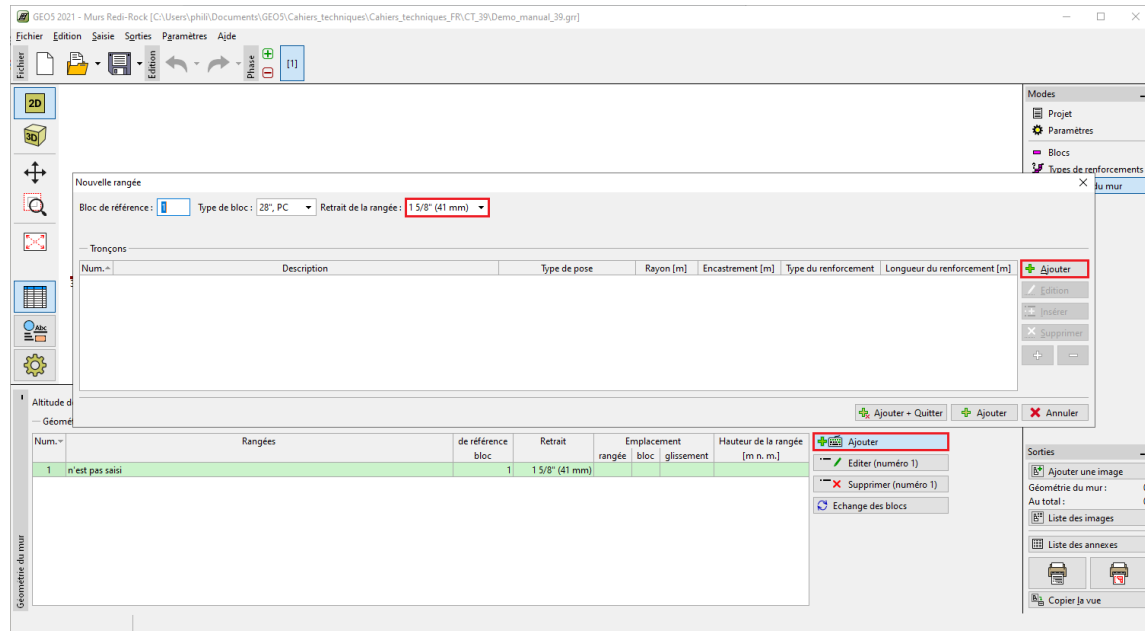


FIGURE 7 – Ajout d'une rangée - Valorisation du retrait

Nous allons fixer le nombre de blocs afin de couvrir la longueur requise. Dans notre cas, il s'agit de 38 blocs. Toute saisie engendre une mise à jour immédiate du rendu sur le bureau, ce qui facilite grandement la détermination du nombre de blocs.

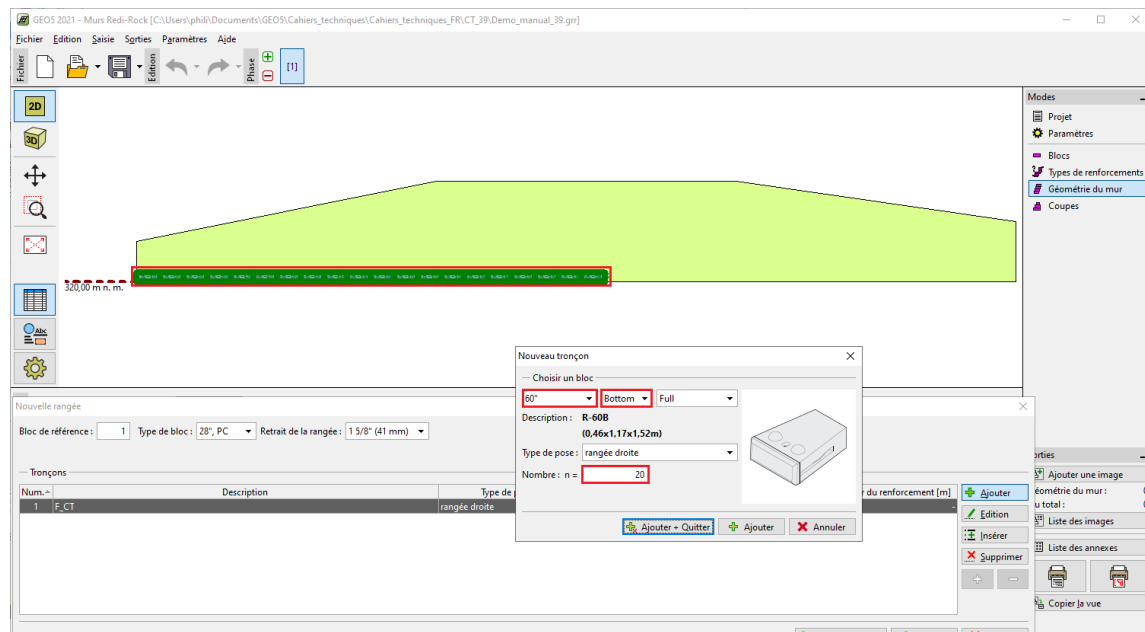


FIGURE 8 – Caractéristique du bloc

Nous pouvons constater qu'en saisissant 20 comme le nombre de blocs, la longueur souhaitée n'est pas couverte, nous allons donc le modifier dans ce cas à 38, et en cliquant sur le bouton « Ajouter », nous allons être redirigés vers la saisie de la rangée suivante :

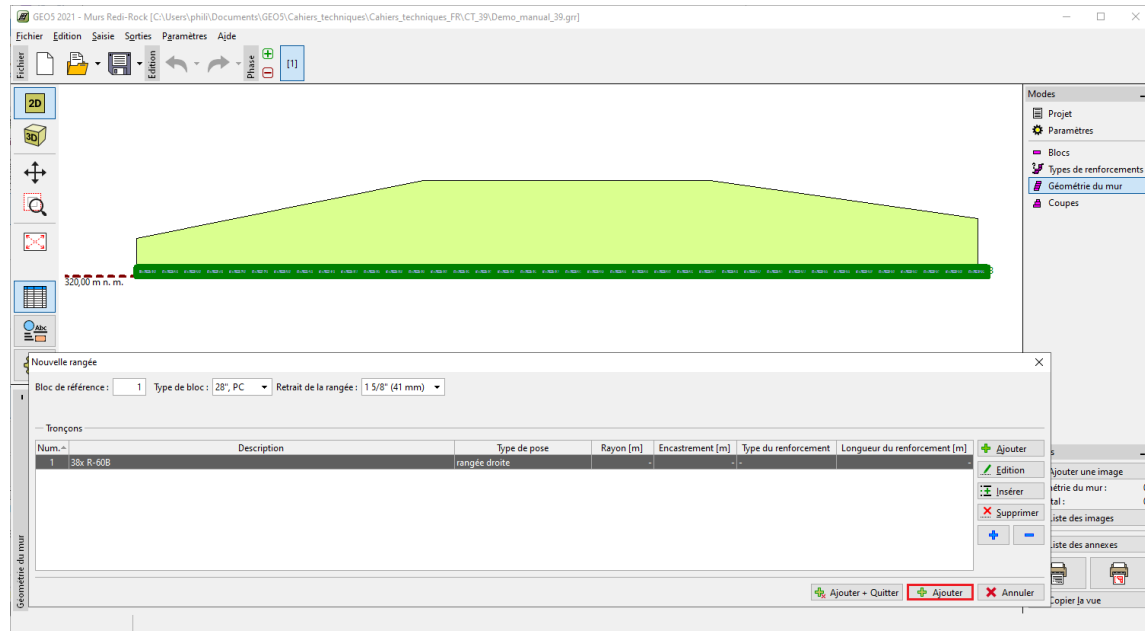


FIGURE 9 – Finalisation de la première rangée de blocs

La rangée suivante sera composée de blocs intermédiaires de 60 " (R-60M). Pour maintenir le motif de liaison en quinconce, nous allons d'abord insérer un demi-bloc (R-60HM). Le bouton « Insérer » insère un bloc devant le groupe de blocs sélectionné :

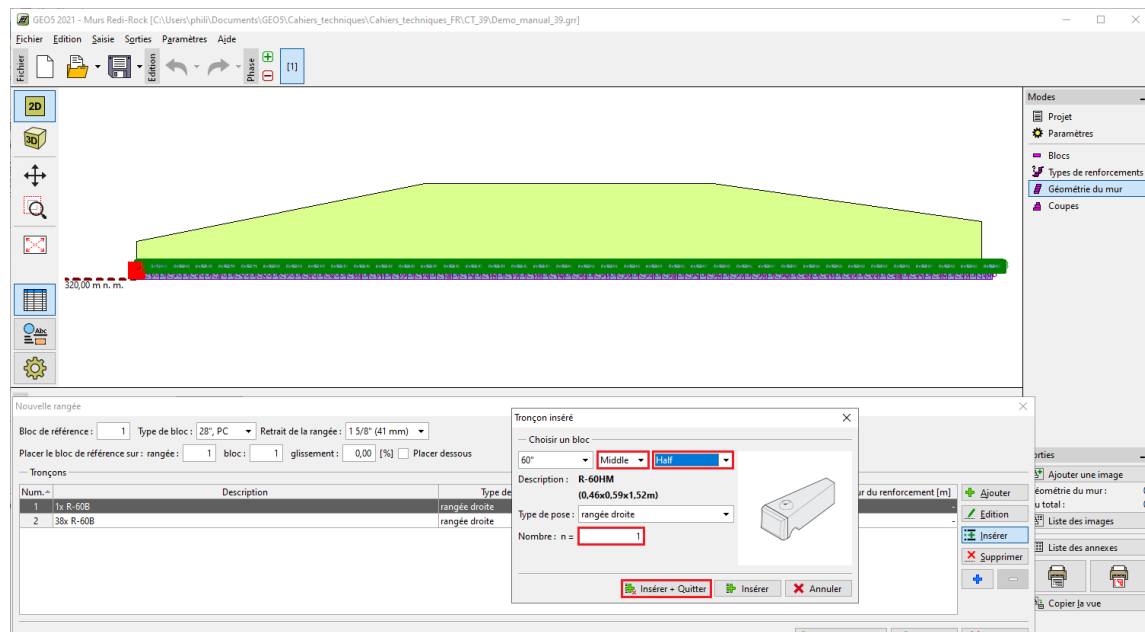


FIGURE 10 – Insertion d'un bloc

À l'aide du bouton « Ajouter », nous allons ajouter un autre bloc R-60HM à la fin de la rangée. Le bouton « Ajouter » ajoute toujours des blocs à la fin :

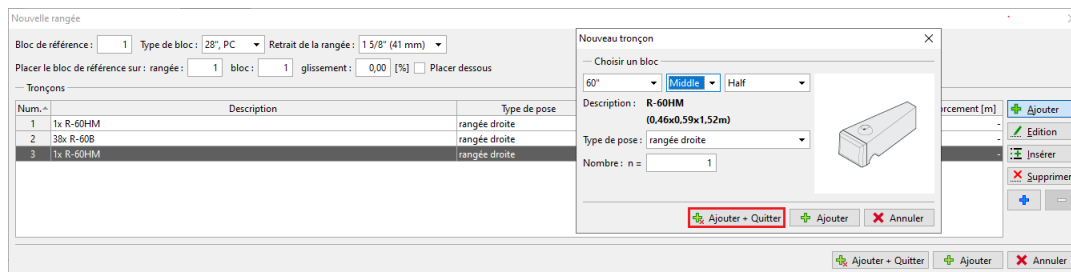


FIGURE 11 – Ajout d'un bloc

Nous allons ajouter le rang suivant, il convient de ne pas oublier de modifier le nombre de blocs de 38 à 37 pour prendre compte des deux demi-blocs. Ce faisant cela, la rangée est terminée. Nous allons donc cliquer sur le bouton « Ajouter » et pour passer à la rangée suivante.

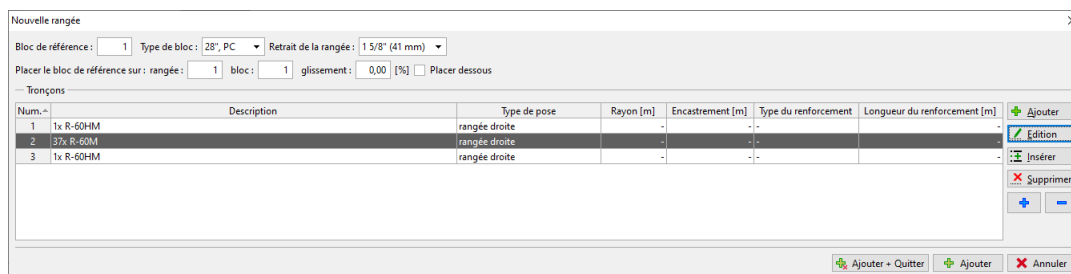


FIGURE 12 – Finalisation du deuxième rang de blocs

La rangée suivante est également composée de blocs R-60M. Nous pourrions utiliser le même principe pour les autres rangs, au lieu de cela nous allons créer les lignes suivantes en copiant les précédentes. Nous allons quitter cette fenêtre en cliquant sur le bouton « Ajouter + Quitter ».

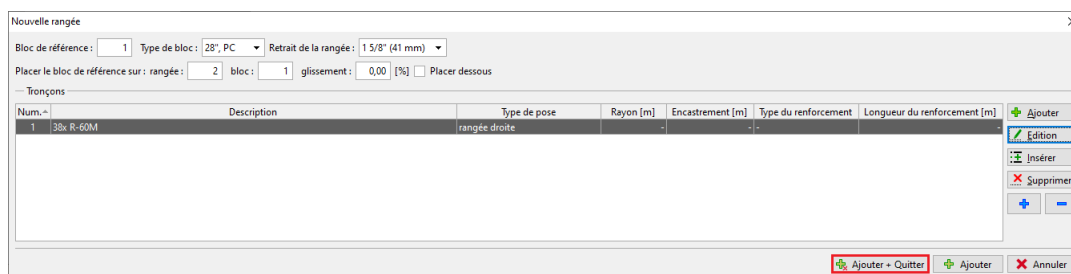


FIGURE 13 – Finalisation du troisième rang de blocs

Maintenant, nous pouvons voir les 3 rangées de blocs. Pour plus de clarté, nous allons désactiver la description :

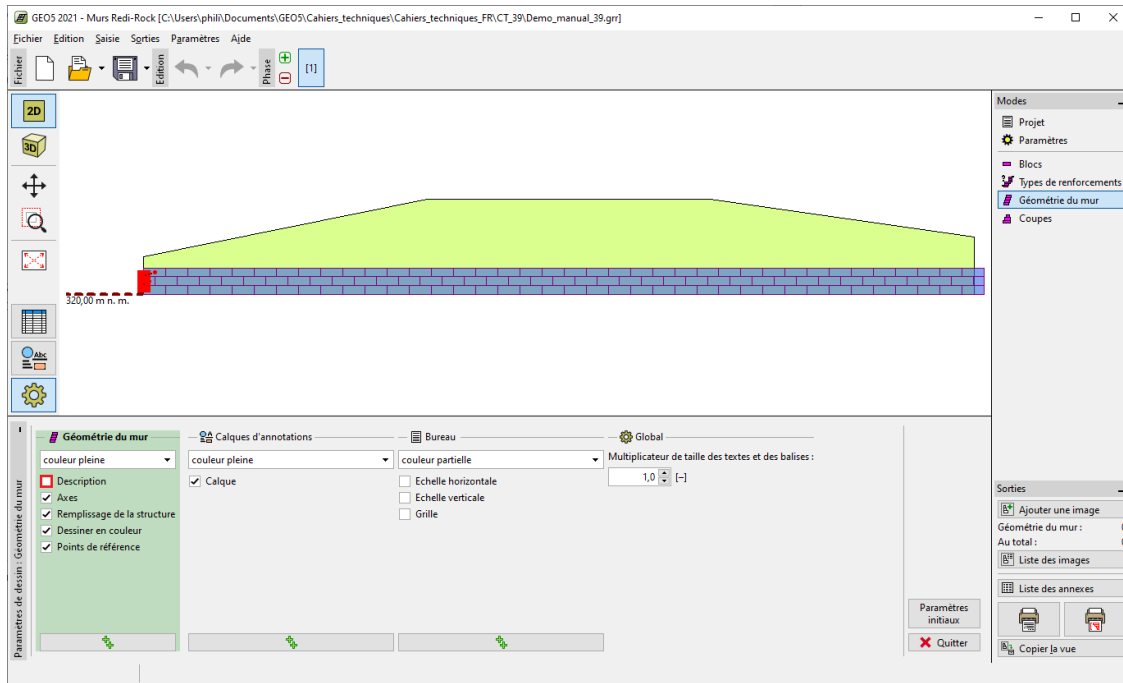


FIGURE 14 – Désactivation de la description

La quatrième rangée étant identique à la deuxième, nous allons donc sélectionner la deuxième ligne et cliquer sur le bouton "Ajouter", ce qui va en créer une copie :

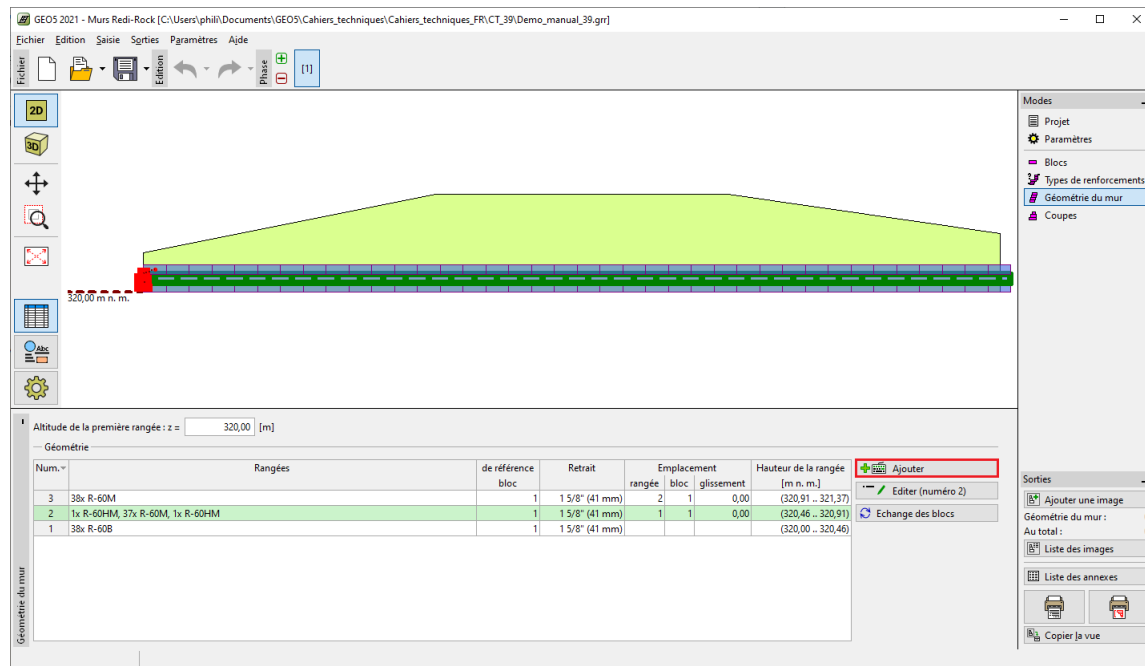


FIGURE 15 – Copie de la deuxième rangée

Nous allons confirmer la saisie en cliquant sur le bouton « Ajouter + Quitter » :

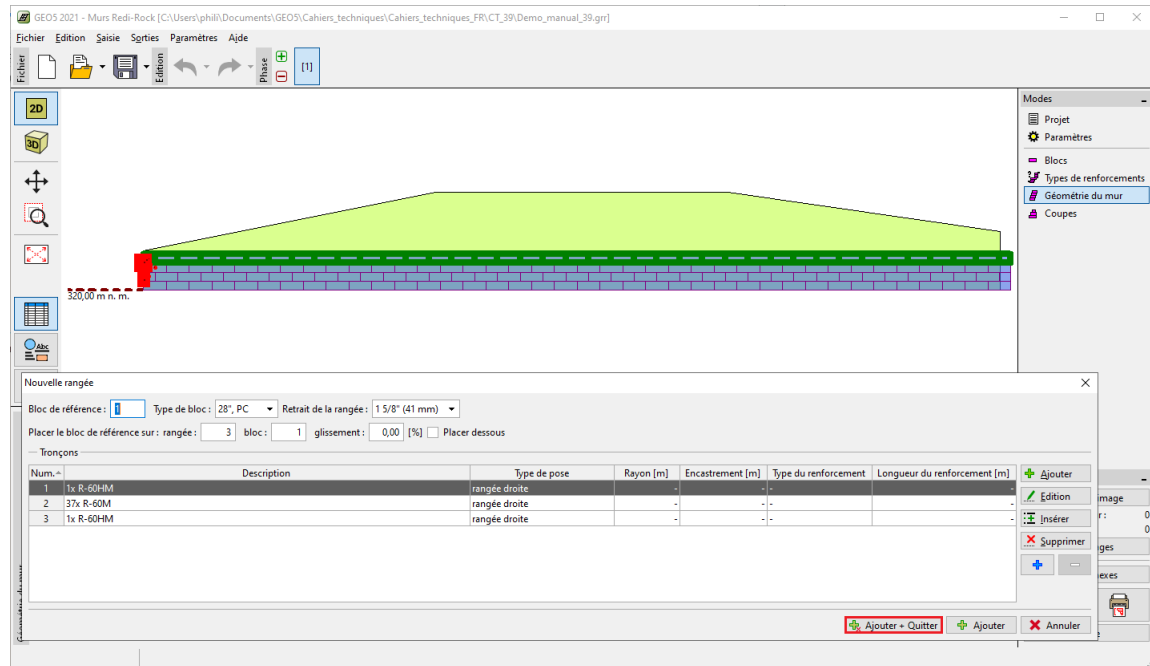


FIGURE 16 – Finalisation du quatrième rang

De la même manière, nous allons copier la troisième rangée sur la cinquième. Nous constatons maintenant que le mur a atteint la hauteur au bord désirée.

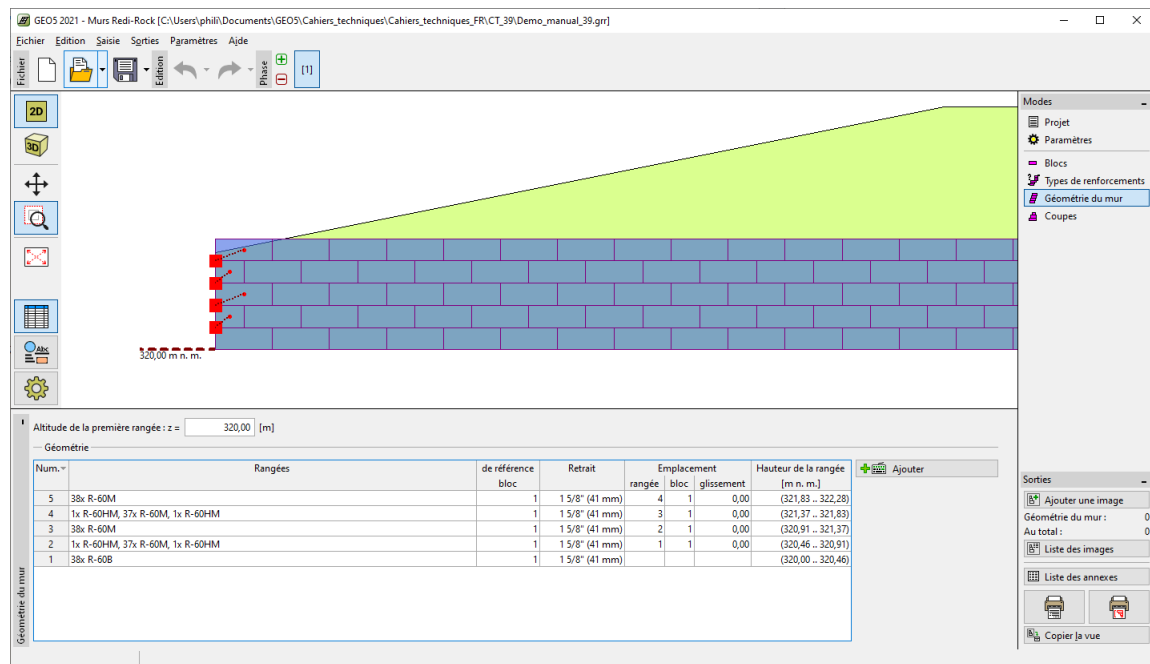


FIGURE 17 – Finalisation du cinquième rang

Nous allons utiliser un bloc R-28T comme bloc supérieur – par conséquent, nous allons ajuster la saisie du rang :

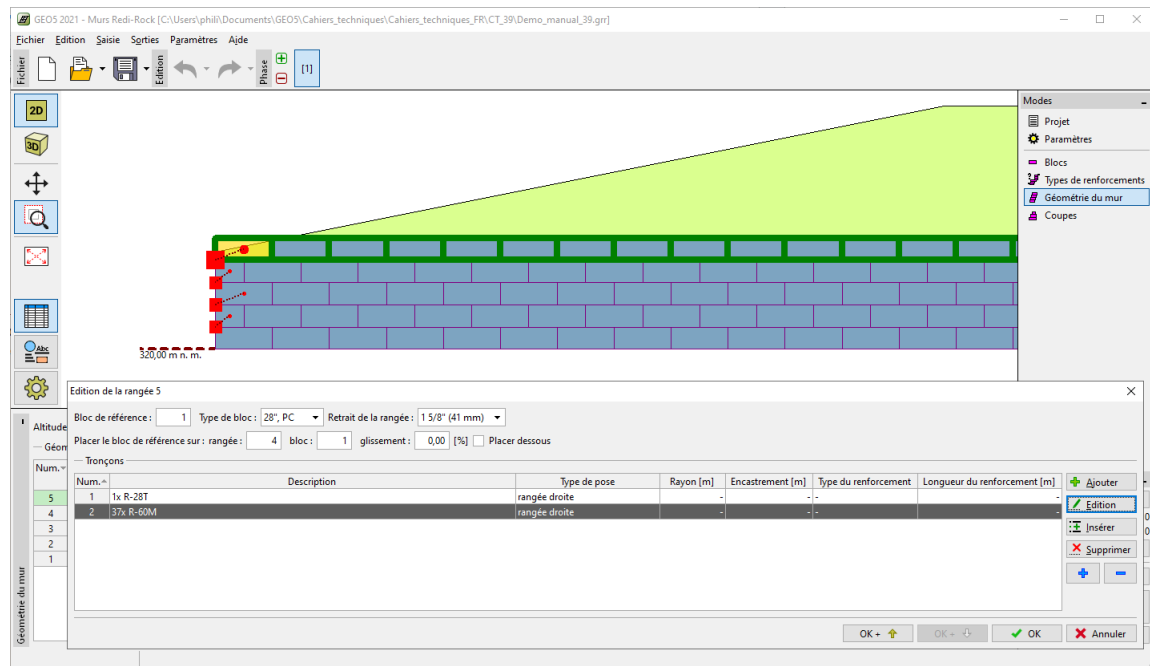


FIGURE 18 – Ajustement du cinquième rang

Nous allons ajouter une autre ligne. Le placement de la rangée est régulé par le « Bloc de référence ». Ici, nous définissons le bloc de référence comme n° 1, mais nous déplaçons la rangée supérieure de 50 % de sa longueur pour obtenir le décalage requis. Ensuite, Nous allons insérer deux blocs R-28T et terminer le mur avec un bloc de jardin d'angle (F-CG). Le jardin du bloc d'angle doit être défini comme « partie du mur » pour indiquer que nous ne créons pas un coin dans le mur.

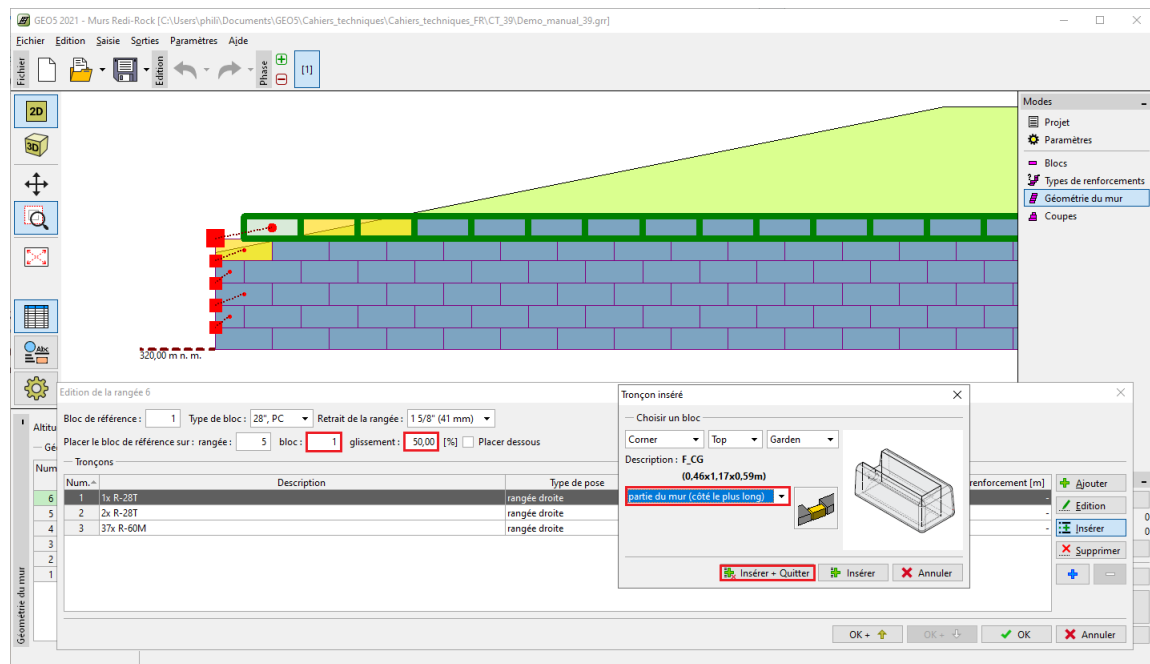


FIGURE 19 – Finalisation du sixième rang

La ligne suivante est simplement une copie de la précédente, nous ne ferons que déplacer le bloc de référence à l'endroit souhaité :

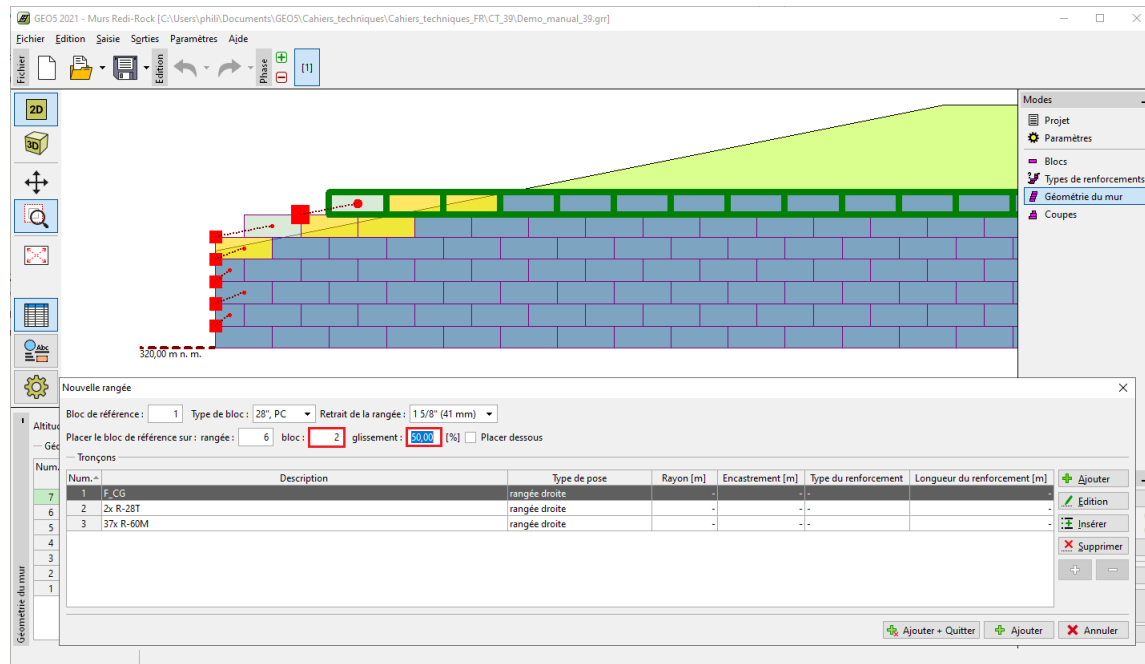


FIGURE 20 – Finalisation du septième rang

Après avoir créer les quatre derniers rang, le mur devrait ressembler à ceci :

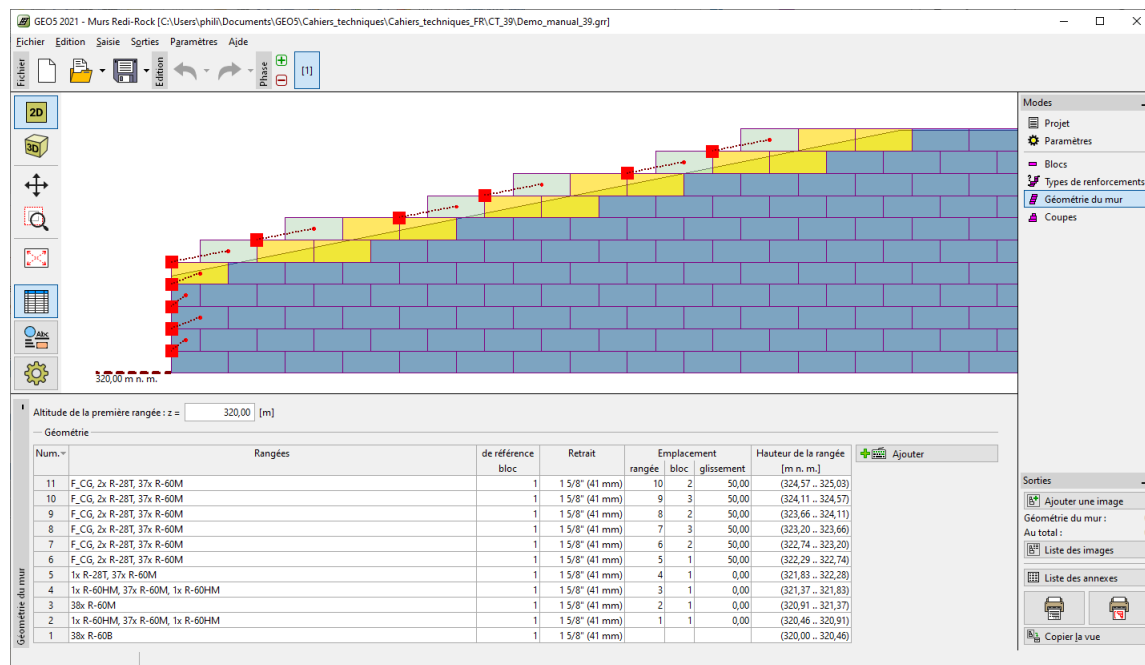


FIGURE 21 – Finalisation de la partie gauche du mur

Nous pouvons visualiser le bord créé du mur en 3D en sélectionnant le bouton « Vue 3D » dans la

partie supérieure gauche de l'écran :

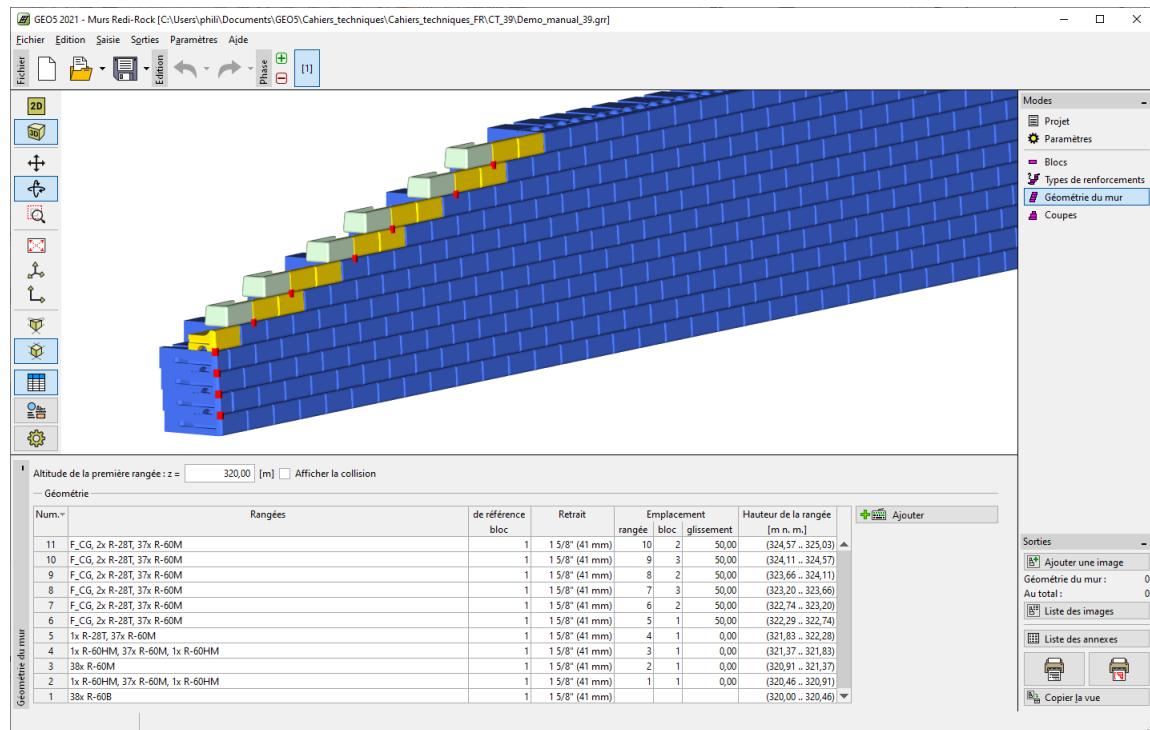
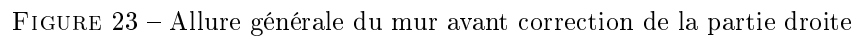


FIGURE 22 – Vue 3D de la partie gauche du mur

Le côté gauche du mur est terminé, nous pouvons maintenant passer au côté droit, que nous n'avons pas encore modifié.

2.5 Modélisation de la partie droite du mur

Suite aux différentes actions précédemment menées, le mur a l'allure suivante :



Edition de la rangée 6

Bloc de référence : 1 Type de bloc : 28°, PC Retrait de la rangée : 1 5/8" (41 mm)

Placer le bloc de référence sur : rangée : 5 bloc : 1 glissement : 50,00 [%] ☐ Placer dessous

Num.	Description	Type de pose	Rayon [m]	Encastrement [m]	Type de renforcement	Longueur du renforcement [m]
1	F, CG	rangée droite	-	-	-	-
2	2x R-28T	rangée droite	-	-	-	-
3	34x R-60M	rangée droite	-	-	-	-
4	1x R-60HM	rangée droite	-	-	-	-

Tonçons

OK + ↕ OK + ⬇️ OK Annuler

14

Remarque : les flèches se comportent en fonction de la manière dont les objets sont triés dans le tableau, parfois il peut arriver que la flèche vers le haut sélectionne la ligne du bas et vice versa, ce qui peut être corrigé en modifiant l'ordre de tri du tableau.

Pour la rangée suivante, nous allons réduire le nombre de blocs R-60M et ajouter un bloc d'extrémité R-28T. Cela peut être facilement réalisé en sélectionnant le bloc souhaité dans la fenêtre, puis en cliquant sur le bouton « Ajouter » :

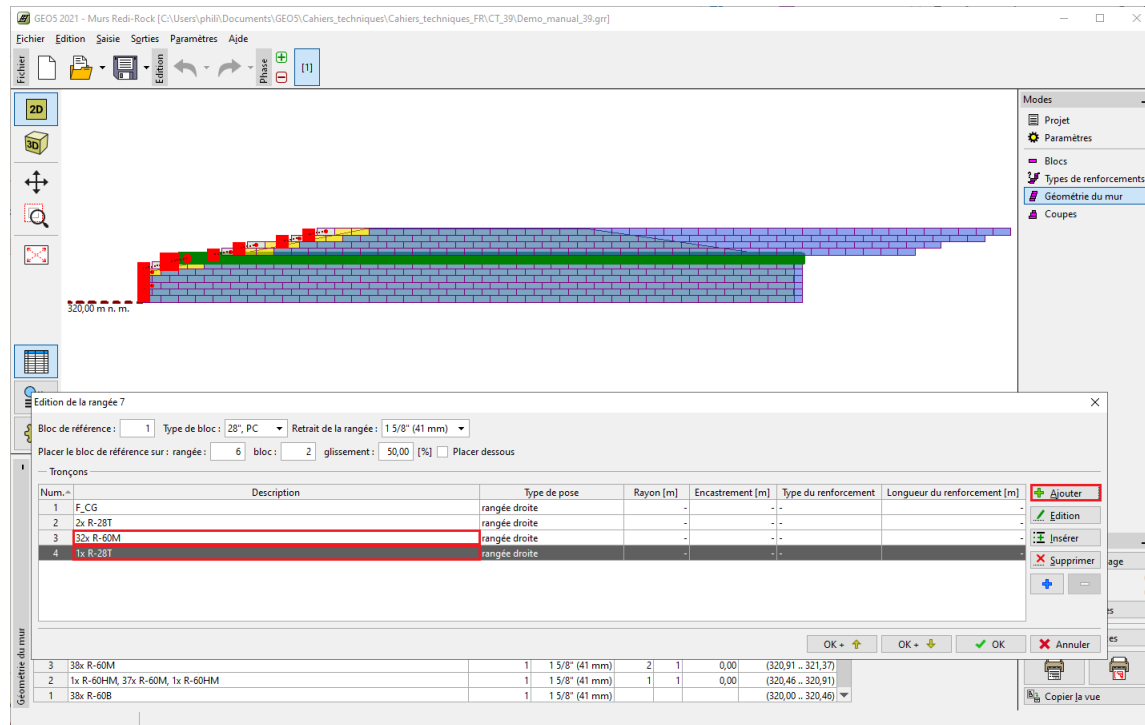


FIGURE 25 – Correction du rang n° 7

Nous allons ajuster tous les rangs de la même manière jusqu'à ce que le résultat soit satisfaisant. Le rang supérieur sera constituée de blocs R-28T uniquement en adjoignant des blocs F-CG aux bords.

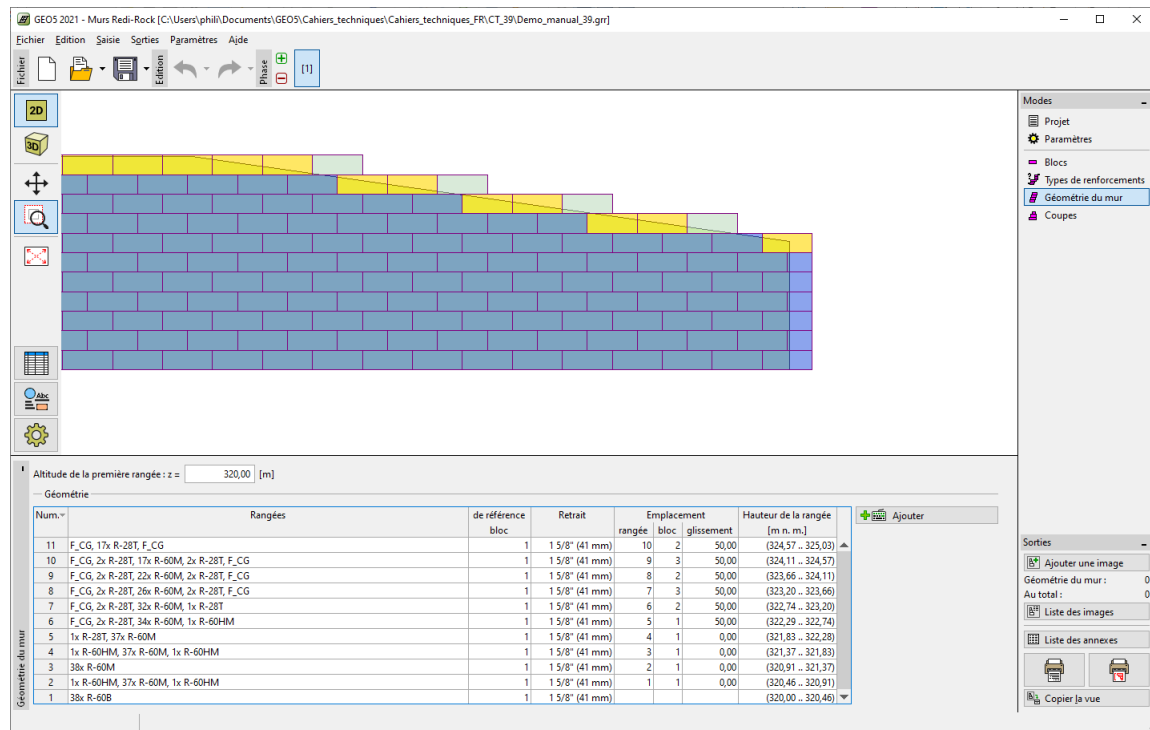


FIGURE 26 – Partie droite du mur après correction

Nous pouvons visualiser en 3D le mur créé. Nous constatons que l'extrémité du mur n'est pas très bien conçue, le bloc R-28T est exposé :

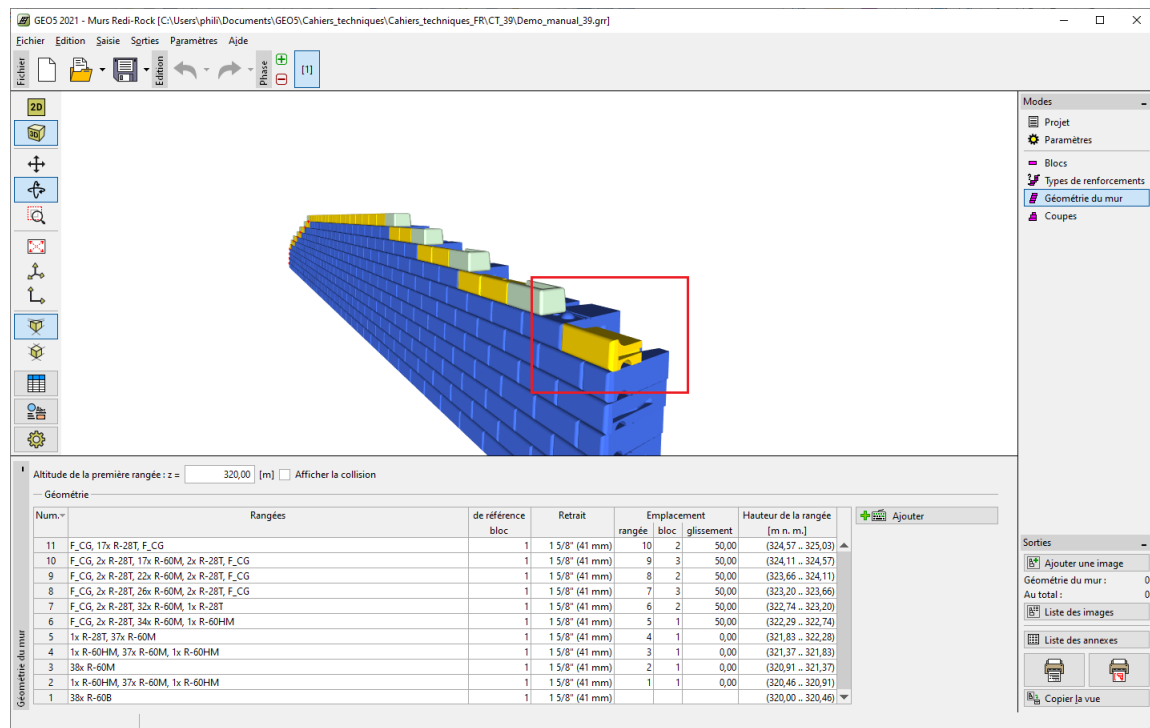


FIGURE 27 – Vue tridimensionnelle du mur

Nous allons corriger ce rang en remplaçant le bloc supérieur par un bloc de jardin :

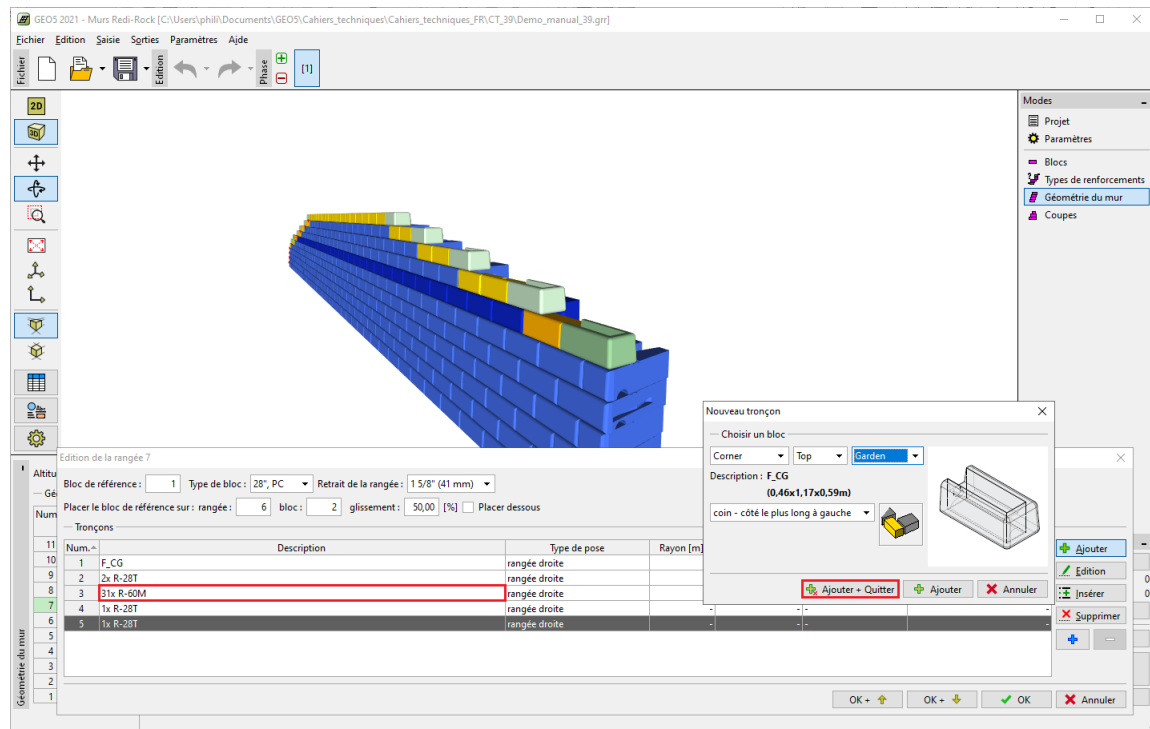


FIGURE 28 – Correction du bloc supérieur

À présent, tout le mur est conçu à partir des blocs R-60, cependant, cette conception n'est pas nécessairement très efficace. Nous allons donc remplacer certains blocs par des blocs de plus petite taille. Dans les trois rangées supérieures, nous allons utiliser des blocs de 28", et au dessous nous allons utiliser trois rangées composées de blocs de 41".

Le remplacement est simple - nous allons sélectionner les trois premières rangées et utiliser le bouton « Échanger des blocs » pour remplacer les blocs R-60M par des R-28M.

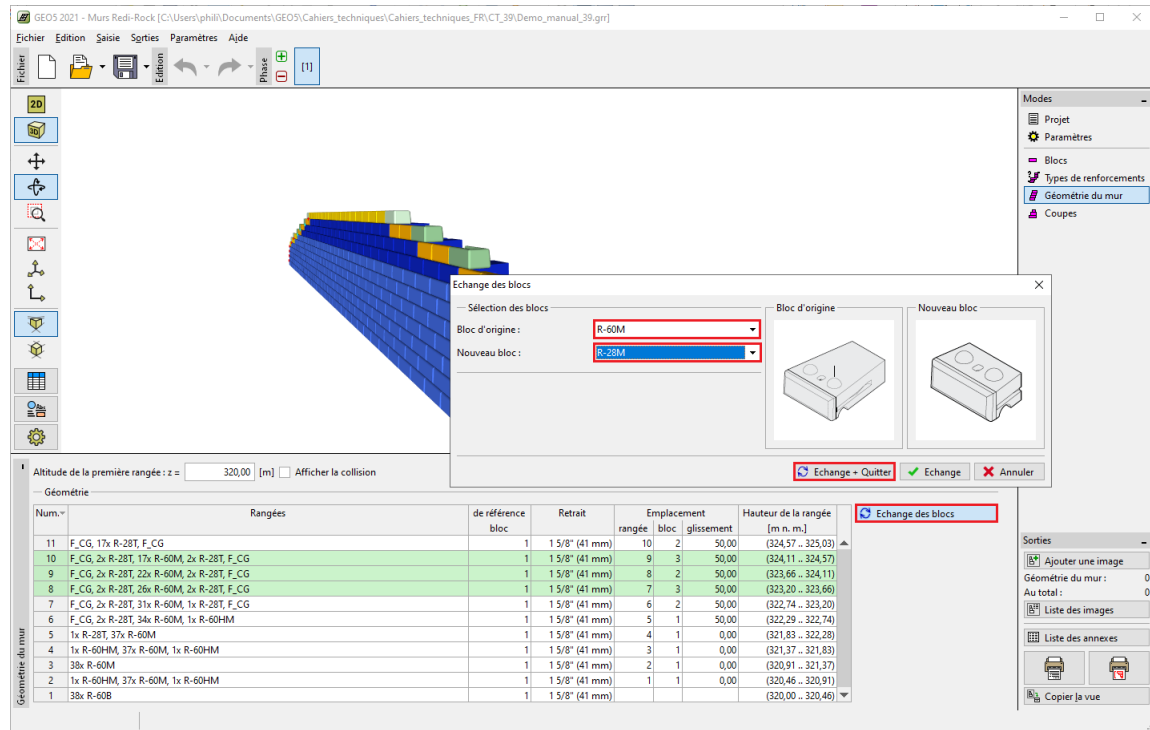


FIGURE 29 – Échange R-60M → R-28M

De la même manière, nous allons remplacer les trois rangées du dessous par des blocs R-41M; il faut également modifier les demi-blocs (R-60HM → R41HM) :

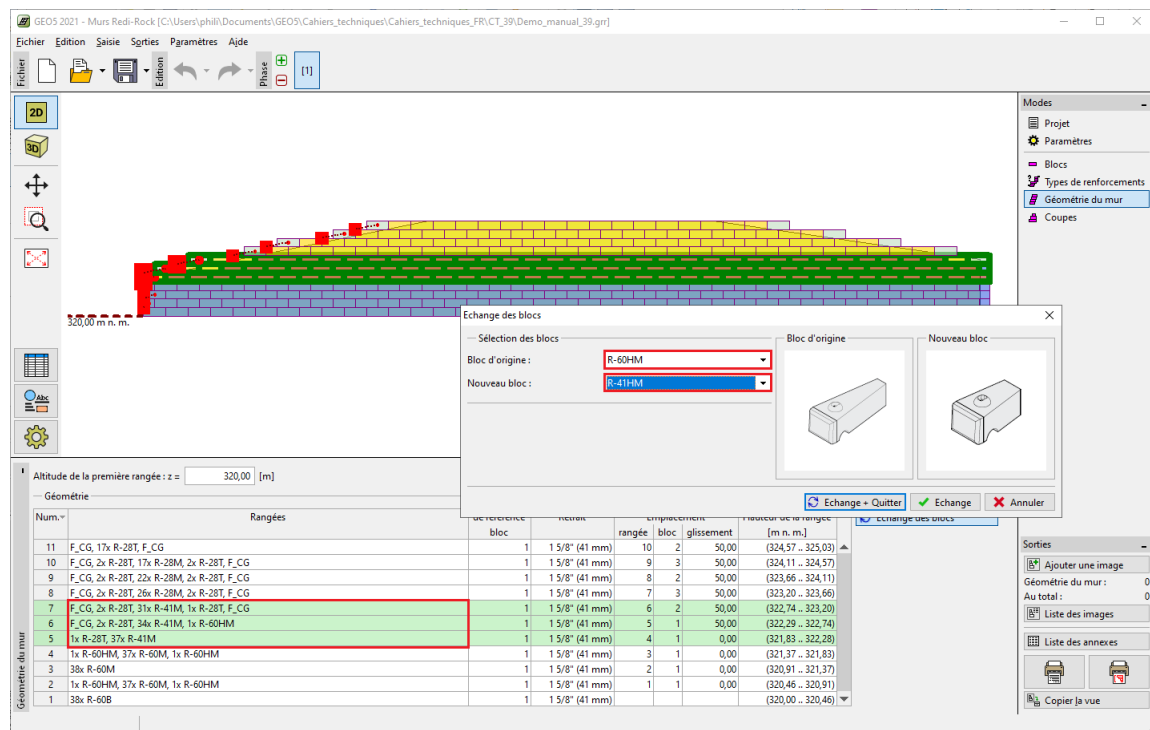


FIGURE 30 – Échanges R-60M → R-41M et R-60HM → R41HM

2.6 Mur poids

Le mur poids est à présent terminé :

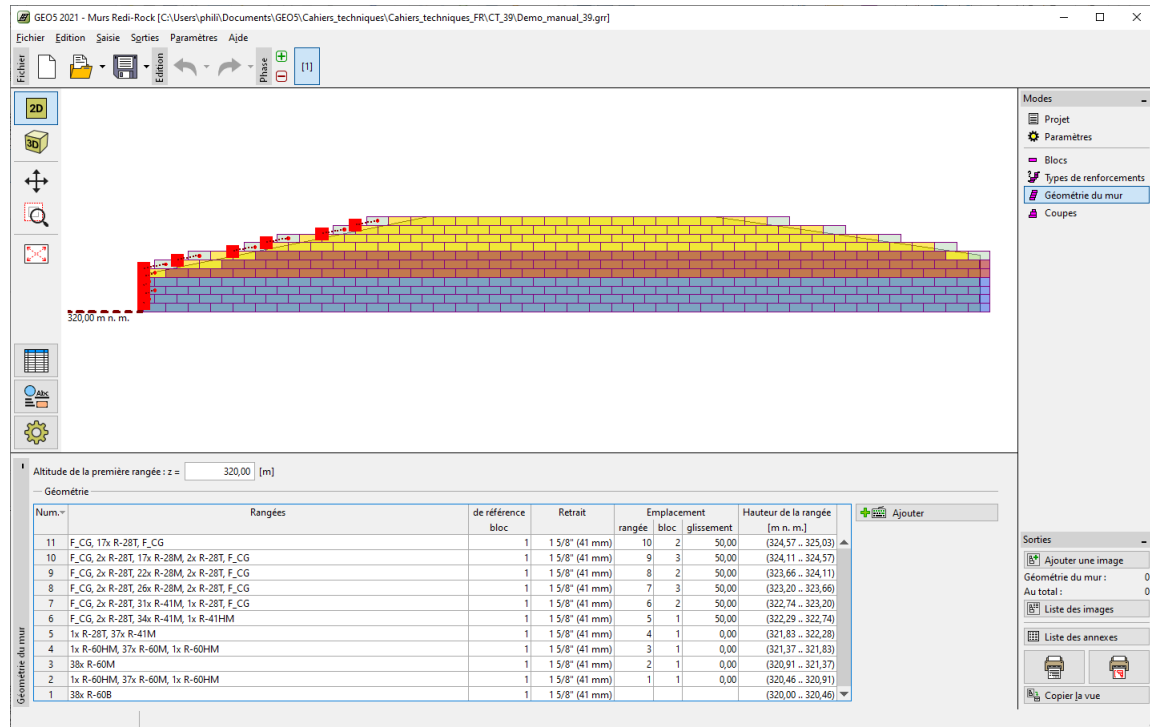


FIGURE 31 – Mur poids

Maintenant certaines options de visualisation, comme les points de référence ou les axes, peuvent ne plus être importantes. Nous pouvons nous rendre dans les paramètres de dessin et les désactiver :

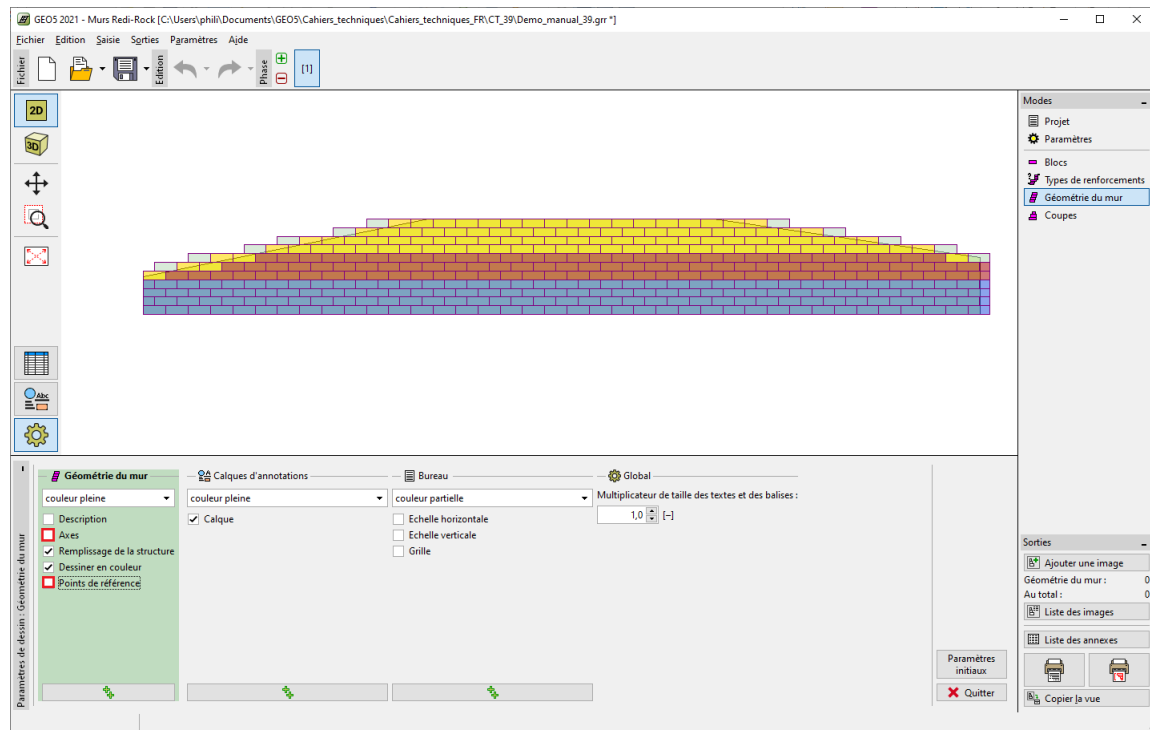


FIGURE 32 – Correction de l'affichage

Nous pouvons également vérifier notre mur en mode 3D :

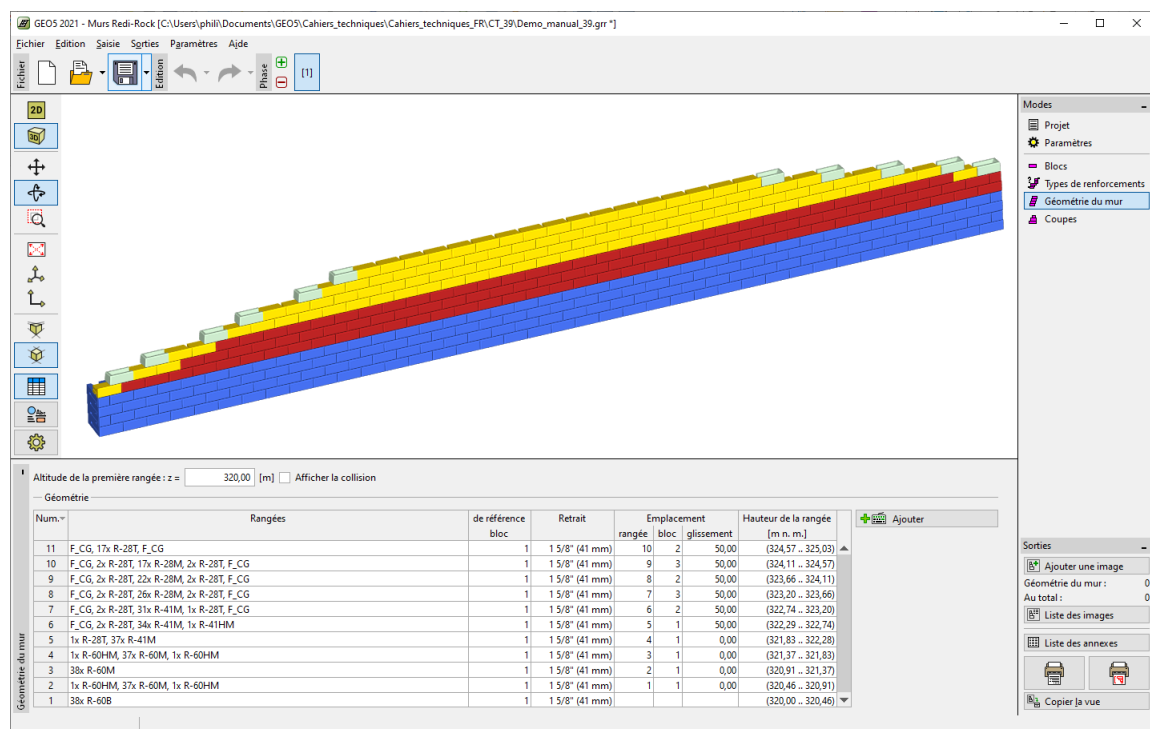


FIGURE 33 – Mur en 3D

Nous allons passer au cadre « Coupes » et ajouter une section au point le plus élevé du mur :

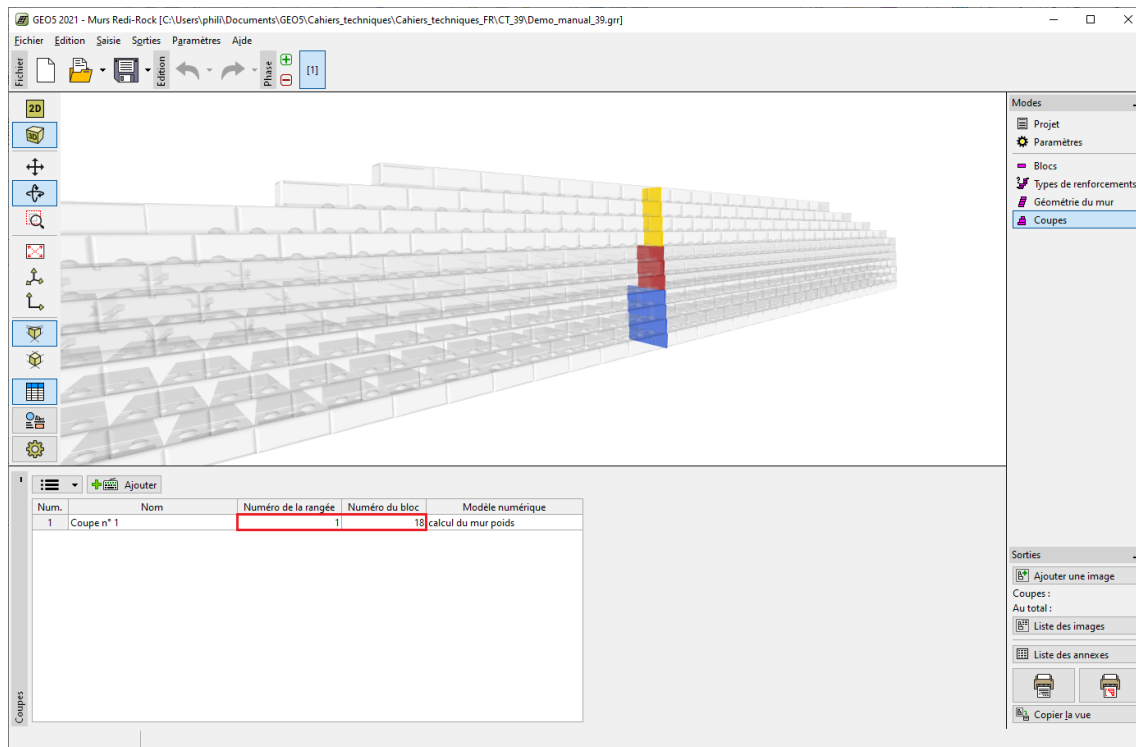


FIGURE 34 – Définition de la coupe

En cliquant sur le bouton « Copier une coupe pour le calcul », le programme va basculer en mode calcul :

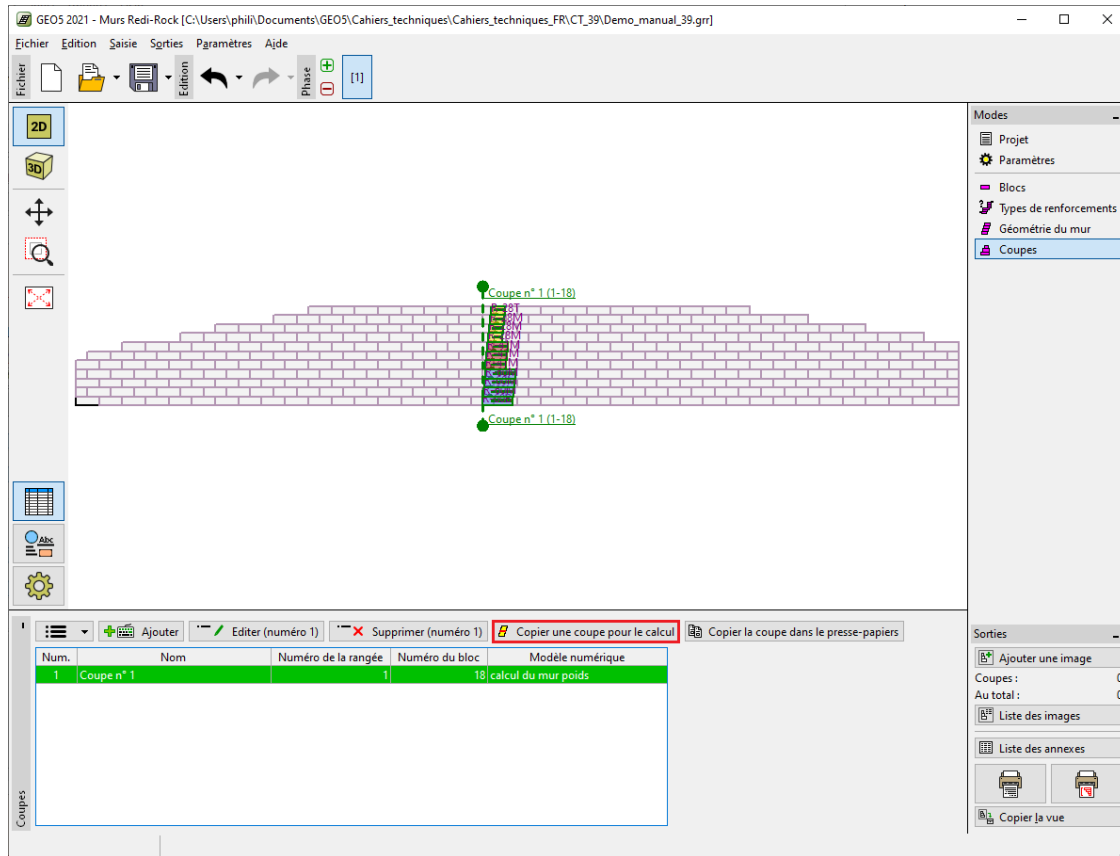


FIGURE 35 – Passage au mode « Calcul »

À présent, dans le cadre « Sol » nous allons créer deux sols (dont un remblai) avec les caractéristiques suivantes :

Sols, roches (Classification)	Poids volumique γ [kN/m ³]	Angle de frottement interne φ_{ef} [°]	Cohésion du sol c_{ef} [kPa]	Angle de frot. structure/sol δ [°]	Poids volumique du sol saturé γ_{sat} [kN/m ³]
Sol - G5	18,50	27,00	8,00	15,00	19,00
Remblai - G2	20,00	36,00	0,00	25,00	20,00

TABLE 2 – Caractéristiques des sols

Dans le cadre « Assignment », nous allons assigner le sol G5 sur toute la profondeur et dans le cadre « Remblai » définir les caractéristiques de la zone remblayée :

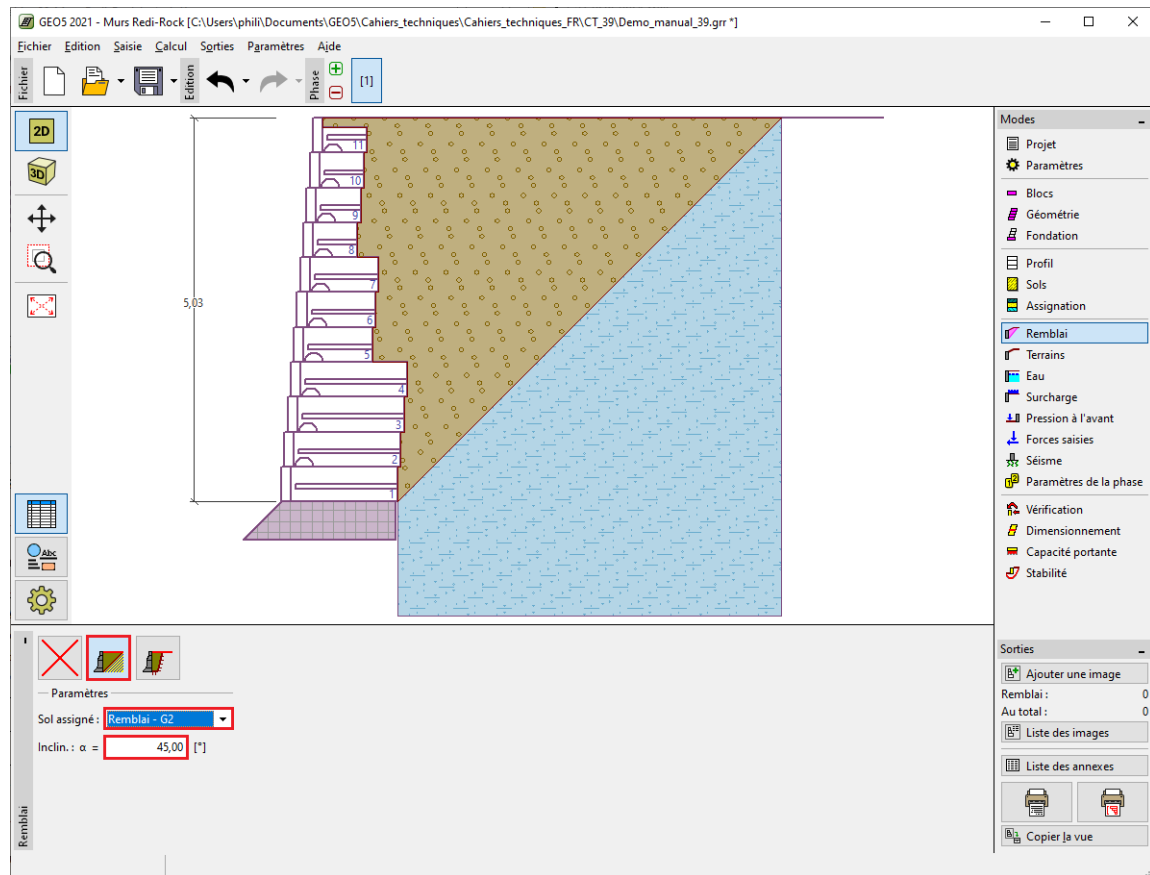


FIGURE 36 – Cadre « Remblai »

Si le mur n'est pas adapté ou n'est pas conçu de manière économique, il convient de le modifier et de trouver la conception optimale. Suite à cela, nous pouvons revenir au mode 3D et apporter des modifications, si nécessaire, pour tenir compte des révisions.

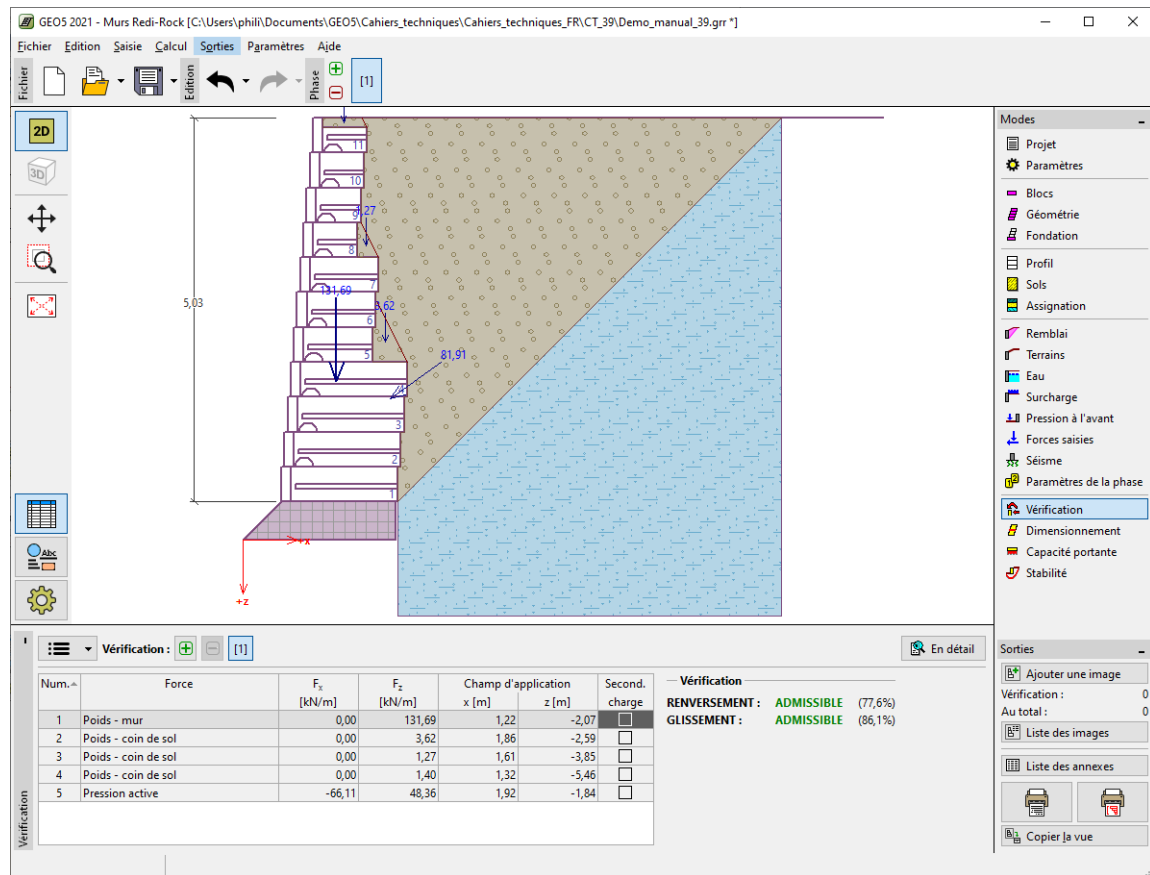


FIGURE 37 – Cadre « Vérification » - Cas du mur poids

Revenons maintenant à la définition 3D du mur. Nous pouvons le faire dans le cadre « Géométrie », en cliquant sur le bouton « Mur 3D / Coupes » ou dans le cadre « Paramètres » :

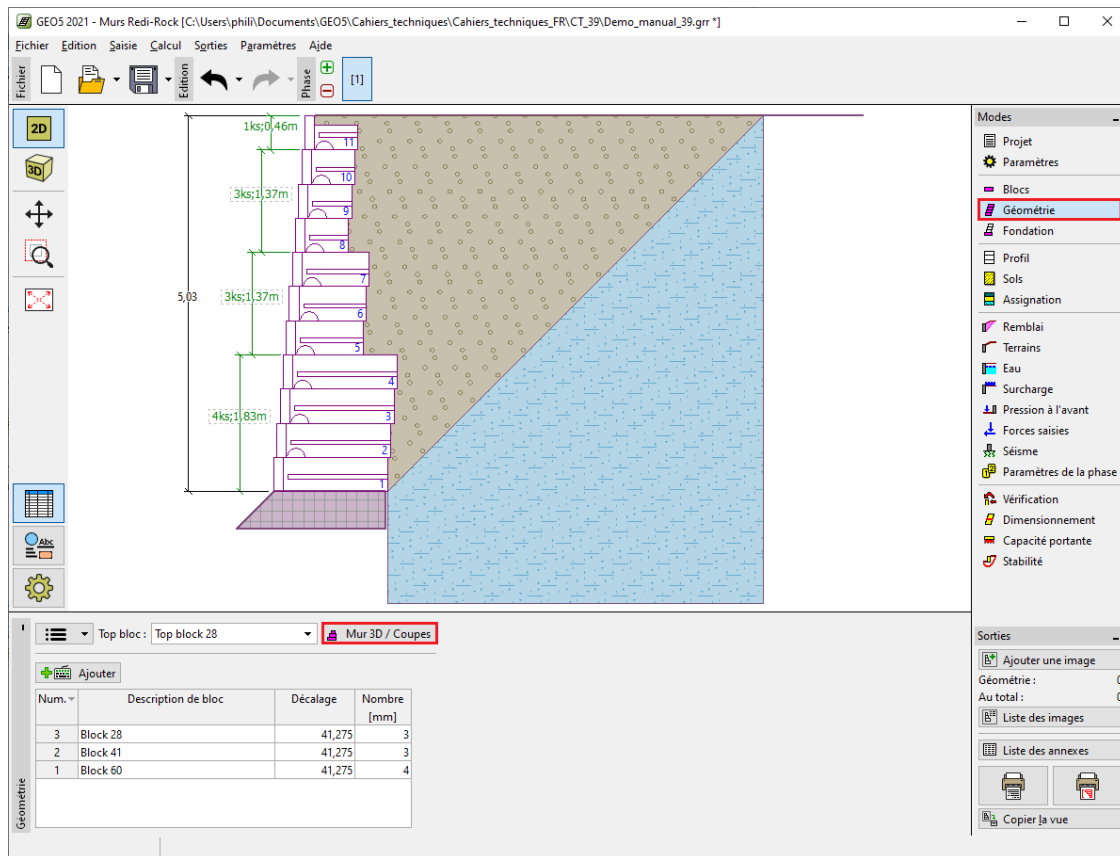
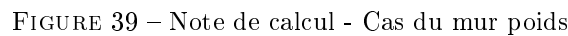


FIGURE 38 – Cadre « Géométrie »

La note de calcul fournit des informations concernant le nombre total de blocs et leur poids total :



- R-60B \rightarrow R-41PCB
- R-60M \rightarrow R-41PCM
- R-41M \rightarrow R-41PCM
- R-28M \rightarrow R-28PCM
- R-60HM \rightarrow R-41HM

FIGURE 40 – Échange des blocs et ajout du renforcement

Les renforcements sont représentés par une ligne pointillée sur la partie supérieure des blocs :

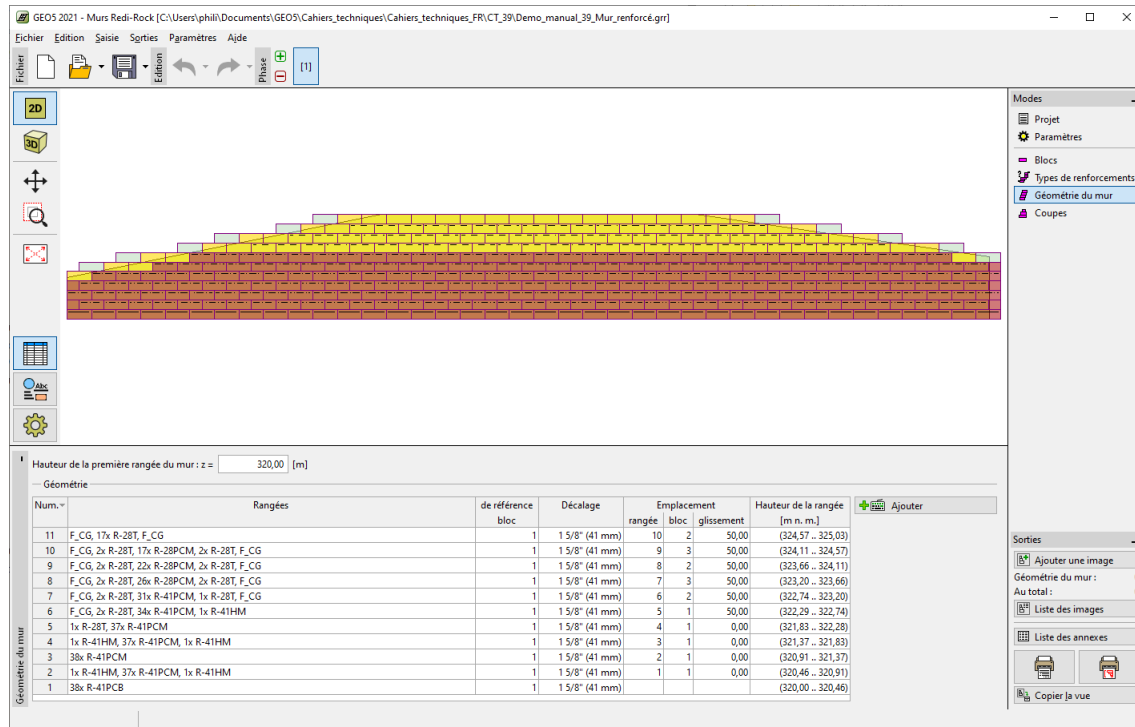


FIGURE 41 – Visualisation des renforcements en mode 2D

Dans tous les cas, ils sont beaucoup plus faciles à visualiser en mode 3D :

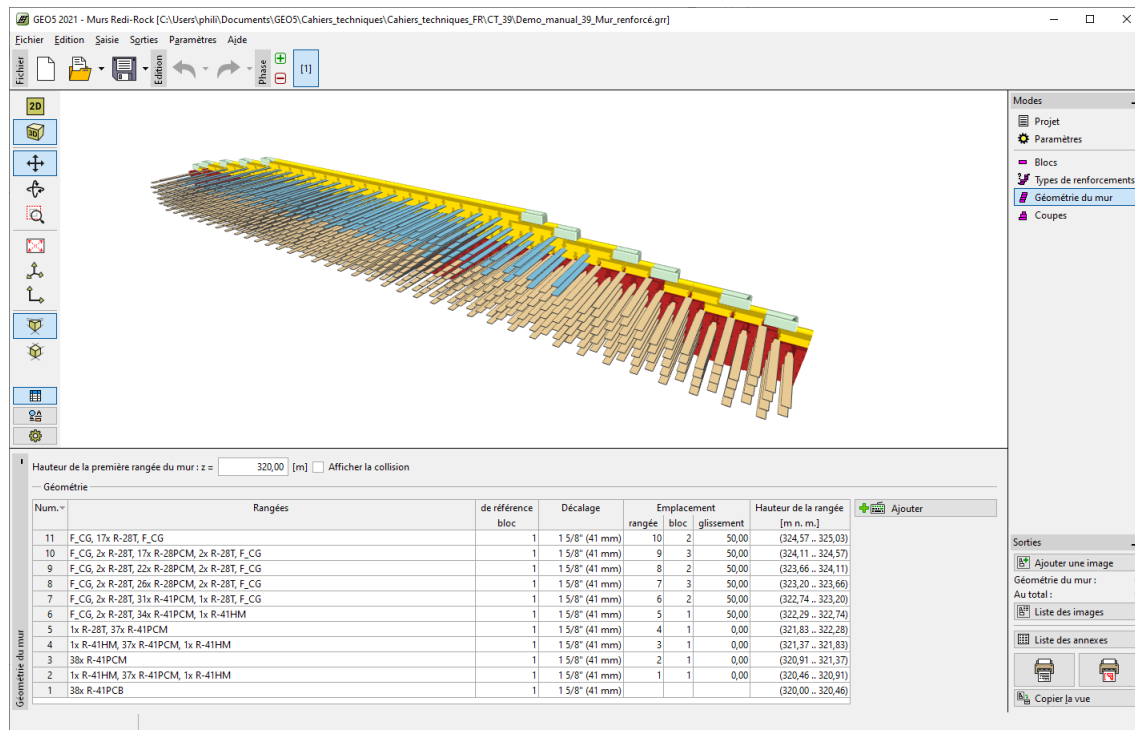


FIGURE 42 – Visualisation des renforcements en mode 3D (mur vu de dos)

Nous allons passer au cadre « Coupes » et générer une coupe afin de l'analyser :

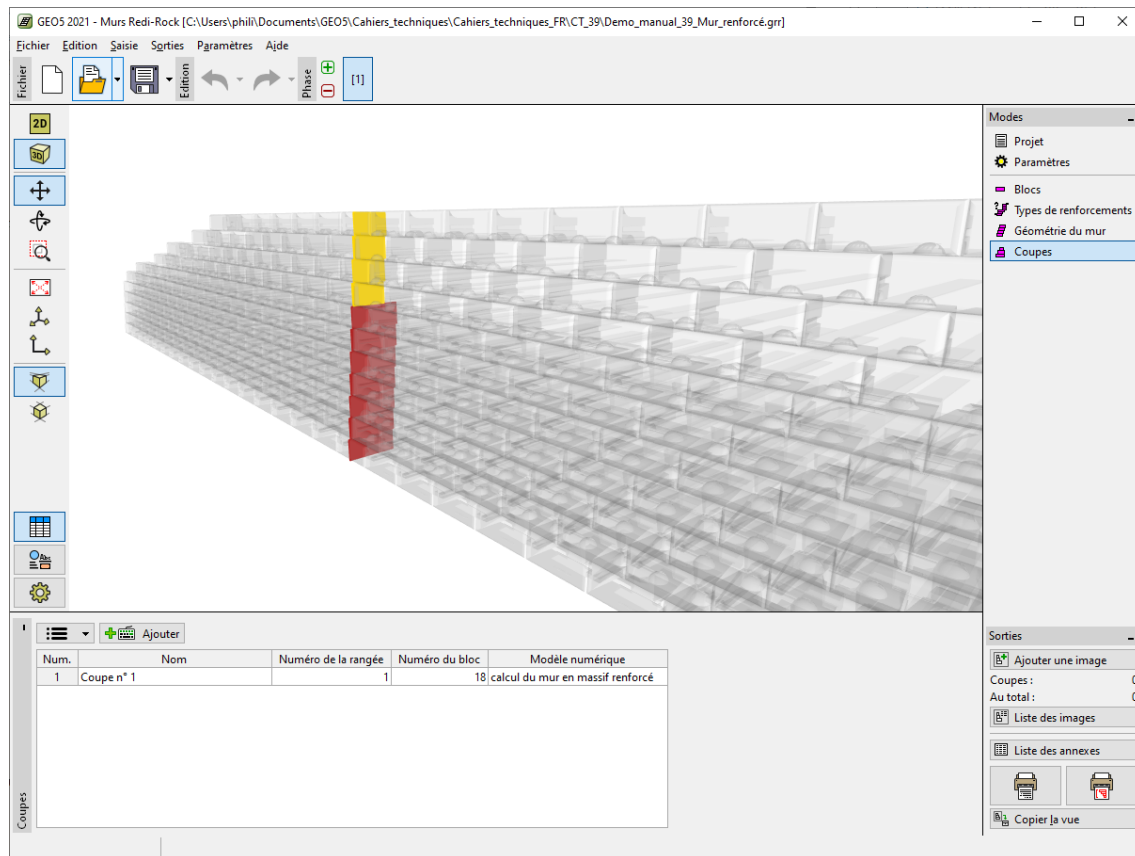


FIGURE 43 – Coupe du mur en massif renforcé

Si le mur n'est pas adapté ou n'est pas conçu de manière économique, il convient de le modifier et d'en optimiser la conception. Pour cela, nous allons retourner au mode 3D et apporter les modifications nécessaires à la taille des blocs, à la résistance ou à la longueur de la géogridde.

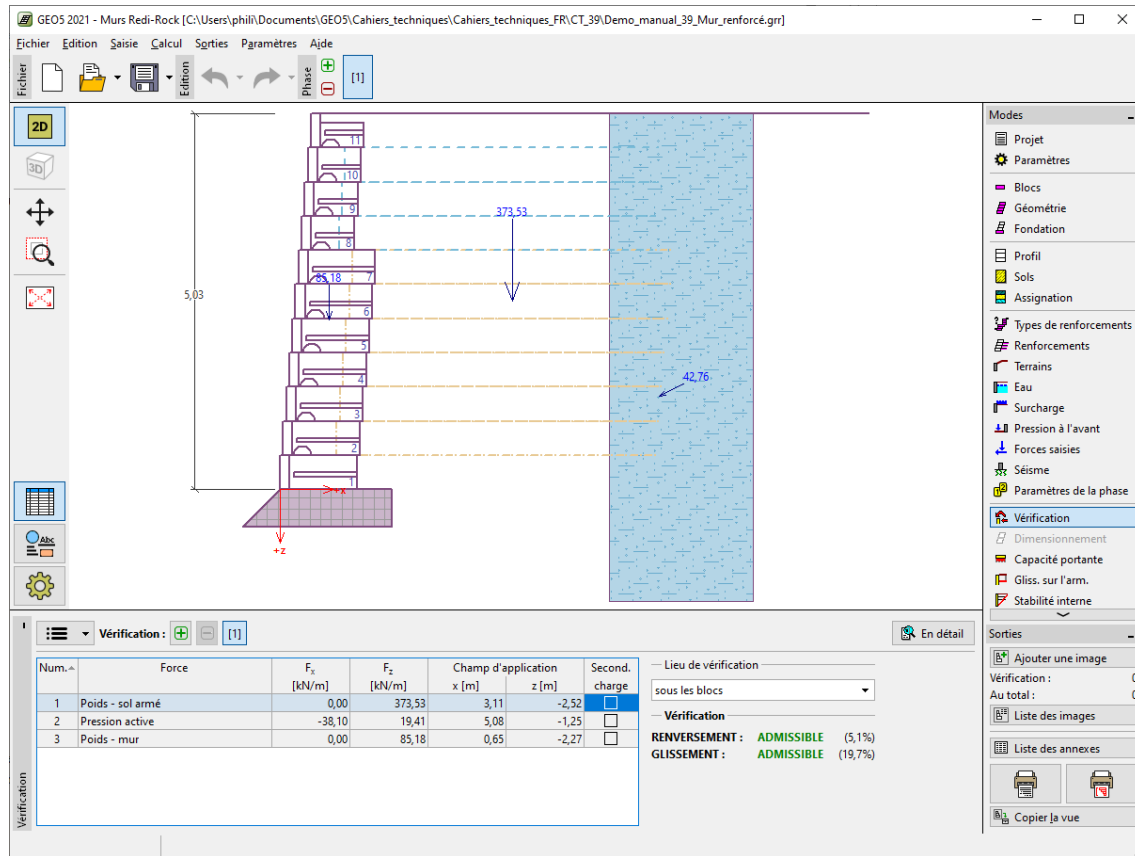


FIGURE 44 – Cadre « Vérification » - Cas du mur en massif renforcé

La note de calcul fournit des informations sur le nombre total de blocs, leur poids total, ainsi que des informations sur la longueur totale de tous les renforcements utilisés dans le mur :

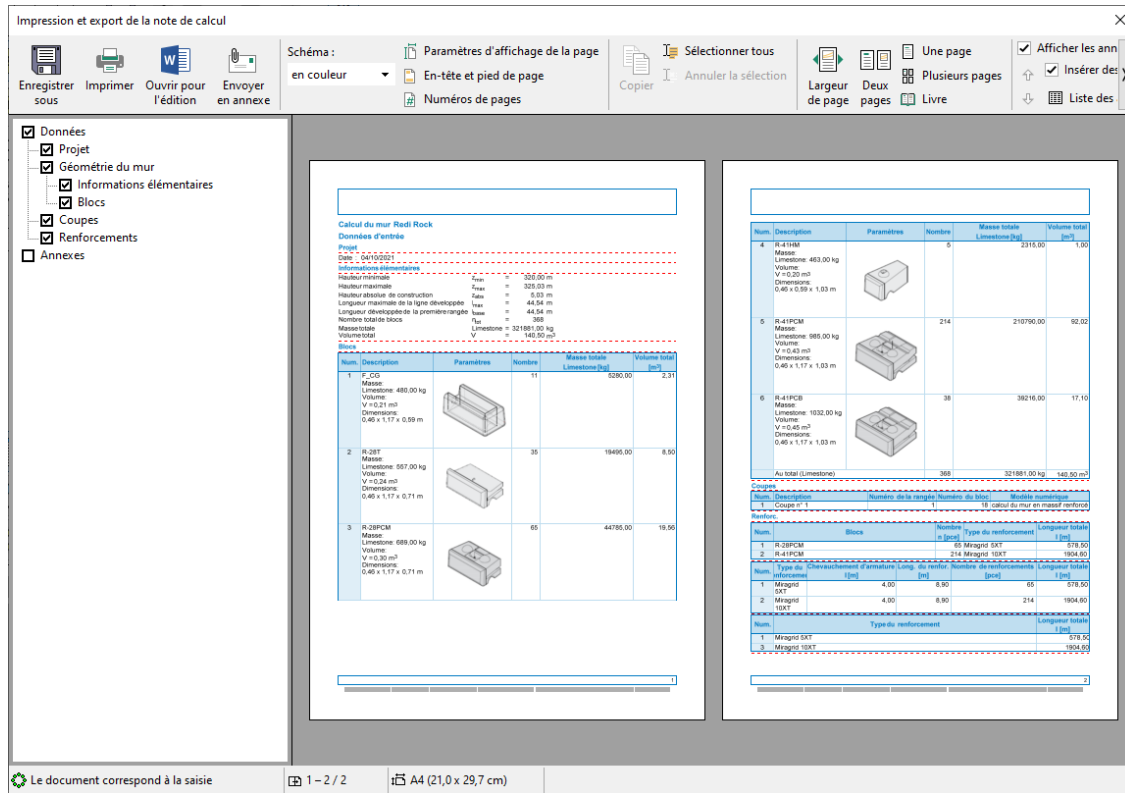


FIGURE 45 – Note de calcul - Cas du mur en massif renforcé

Ainsi nous pourrions comparer les coûts des deux options et décider quelle conception est préférable.

2.8 Mur courbe (bonus)

Lors de la modélisation de murs, la tâche la plus difficile est de modéliser une courbe. Dans cet exemple, nous allons modifier la géométrie du mur poids, où le mur forme un arc ayant un rayon de 10 m.

2.8.1 Solution

Nous allons passer en mode « Annotations » et tracer une ligne représentant le début de l'arc :

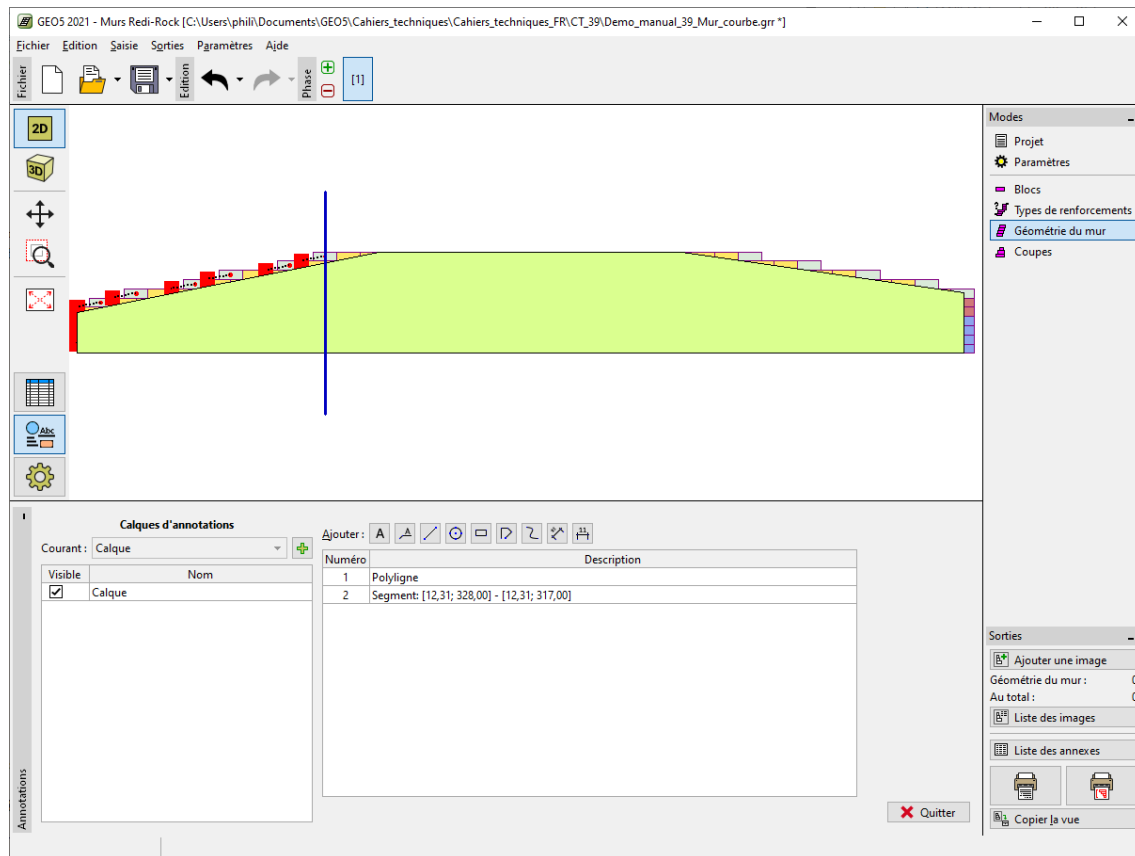


FIGURE 46 – Ajout d'un segment marquant le début de la courbe

Nous allons modifier la partie la plus haute du mur – nous allons définir un arc convexe d'un rayon de 10 m.

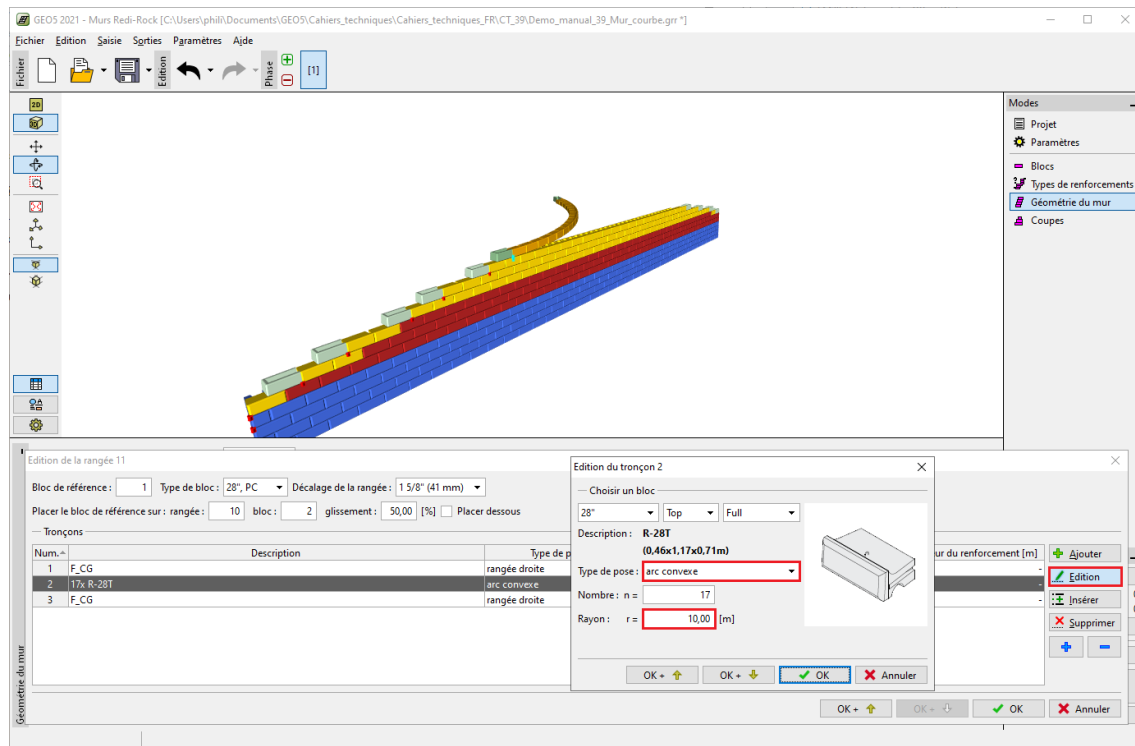


FIGURE 47 – Ajout d'un arc convexe d'un rayon de 10 m sur la première rangée

Nous allons passer à la deuxième rangée et entrer dans l'arc pour les 17 blocs R-28M et 2 blocs R-28T d'extrémité. Le rayon de l'arc sera de 10,04 m, car le retrait du mur est de 41 mm. Le rayon doit changer de cette valeur dans chaque rangée pour tenir compte du fruit de mur.

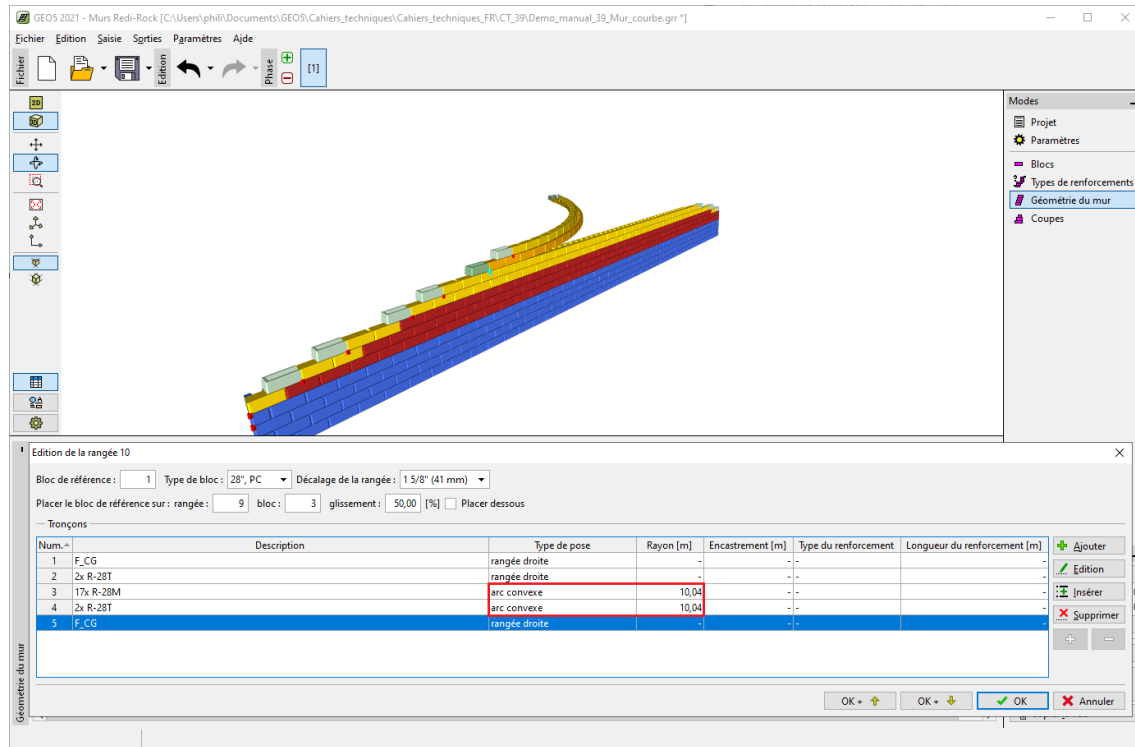


FIGURE 48 – Ajout d'un arc convexe d'un rayon de 10,04 m sur la deuxième rangée

Nous allons contrôler le résultat - nous constatons que le modèle n'est pas correct, la courbure doit commencer un bloc plus tôt.

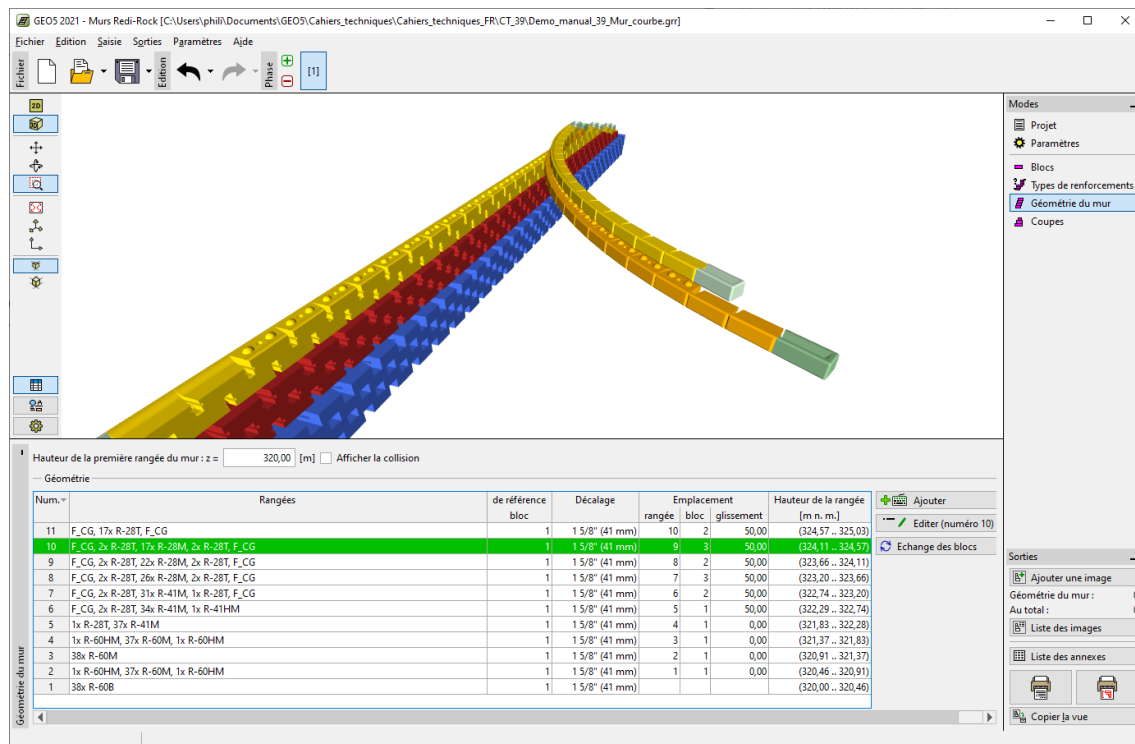


FIGURE 49 – Évaluation du résultat

Nous allons diviser les deux blocs R28-T en deux entrées distinctes et saisir l'arc sur le deuxième bloc. La rangée est maintenant correctement saisie.

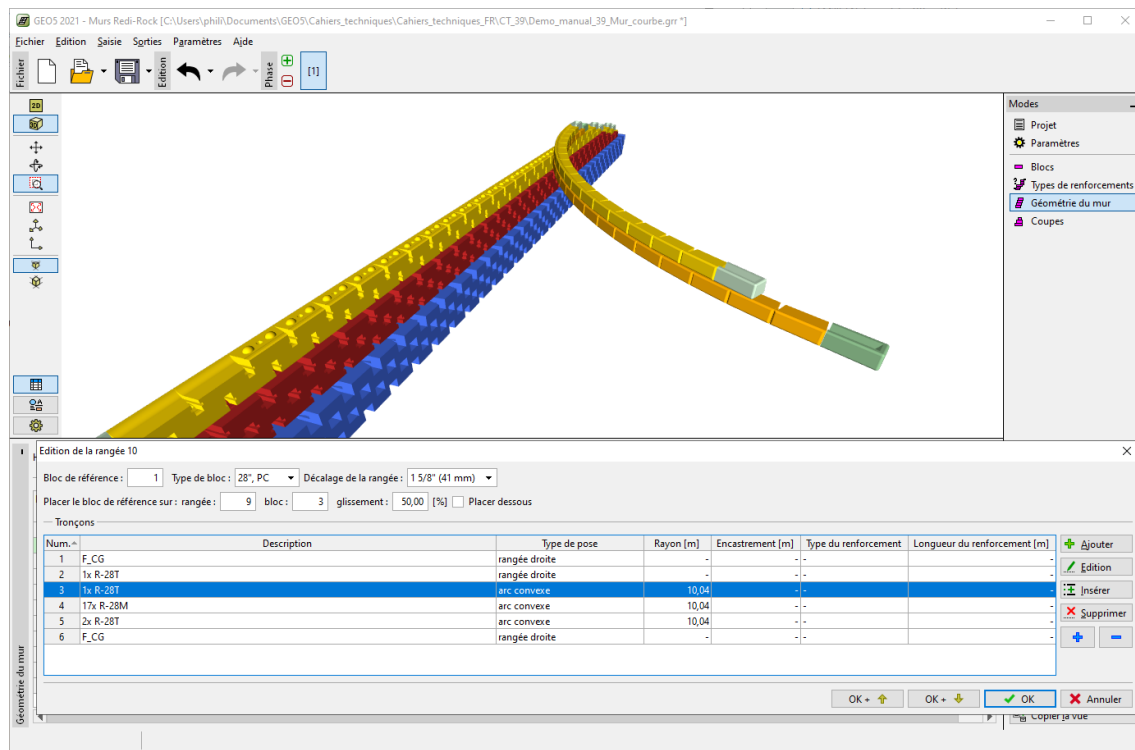


FIGURE 50 – Correction de la deuxième rangée

Dans la rangée suivante, un bloc R-28M est droit, les 22 autres blocs font alors partie de la courbe. Le rayon de l'arc dans cette rangée est de 10,08 m. Le résultat n'est pas correct puisque la courbe commence à mi-chemin le long d'un bloc :

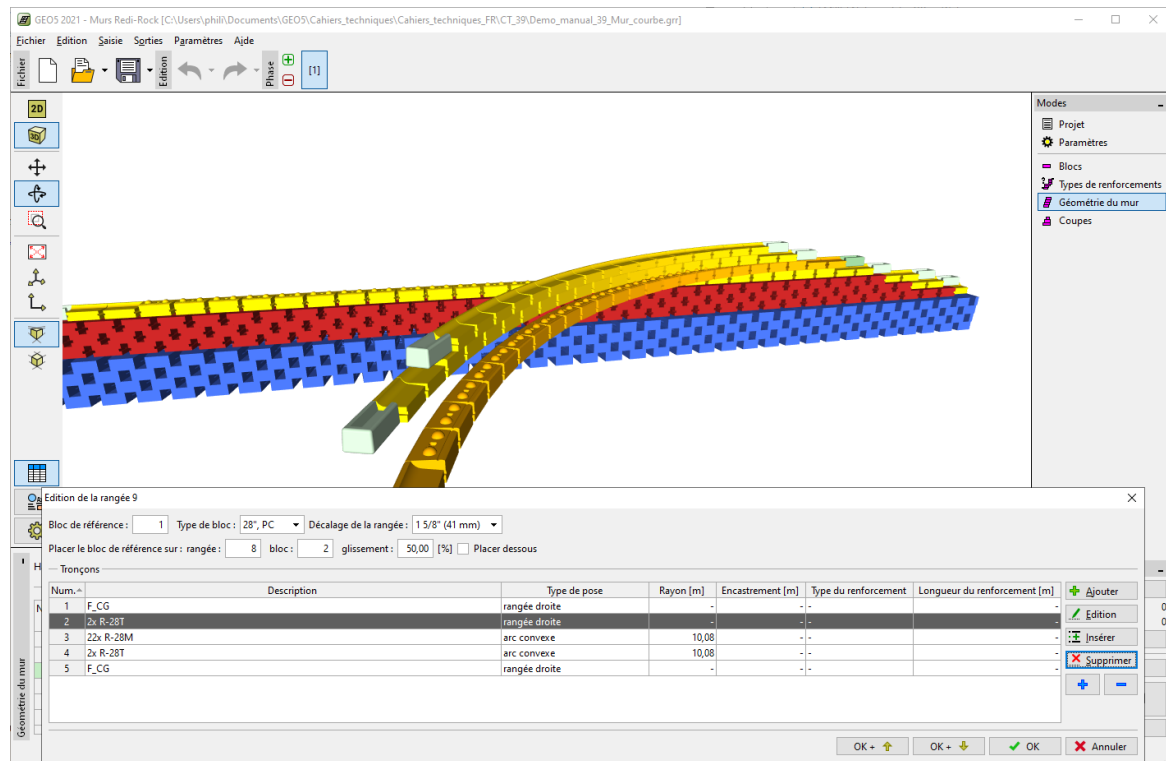


FIGURE 51 – Défaut dans la troisième rangée

Nous allons apporter la correction nécessaire : le bloc qui commence la courbe doit avoir deux fois le rayon de l'arc (20,16 m) :

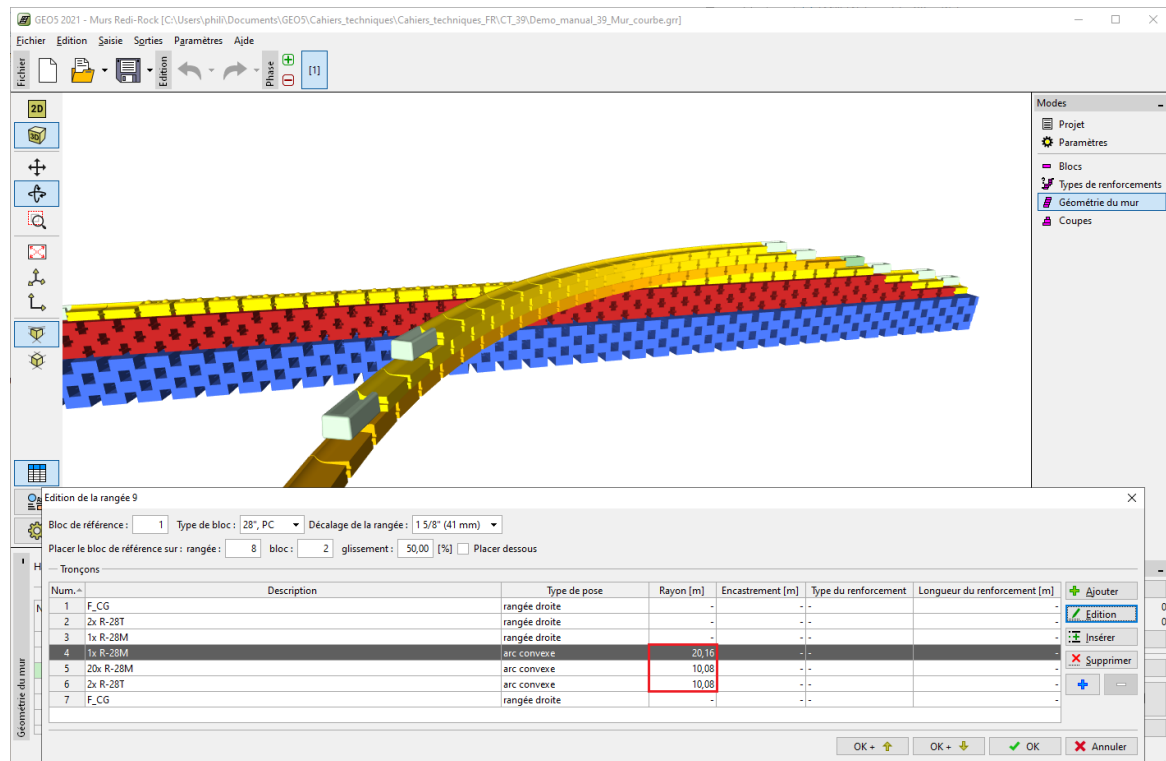


FIGURE 52 – Correction de la troisième rangée

Les autres rangées sont modélisées de la même manière. Le rayon r de chaque rangée suivante doit être augmenté du retrait de rangée à rangée (41 mm). Les blocs en vert doivent être saisis séparément avec un rayon d'arc de $2r$. Tous les autres blocs au-delà de la ligne ont le même rayon r .

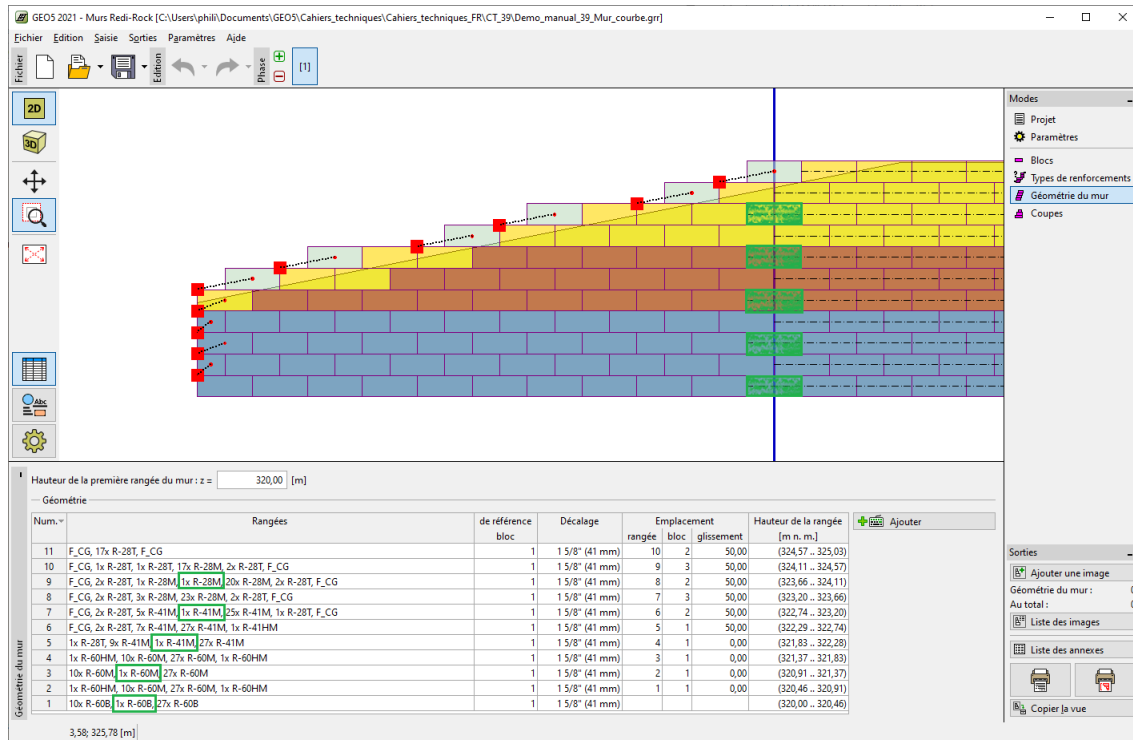


FIGURE 53 – Alternance des blocs de correction de courbure (en vert)

La division en blocs finale est la suivante :

Num.	Rangées	de référence bloc	Décalage	Emplacement			Hauteur de la rangée [m n. m.]
				rangée	bloc	glissement	
11	F.CG, 17x R-28T, F.CG	1	1 5/8" (41 mm)	10	2	50,00	(324,57 .. 325,03)
10	F.CG, 1x R-28T, 1x R-28T, 17x R-28M, 2x R-28T, F.CG	1	1 5/8" (41 mm)	9	3	50,00	(324,11 .. 324,57)
9	F.CG, 2x R-28T, 1x R-28M, 1x R-28M, 20x R-28M, 2x R-28T, F.CG	1	1 5/8" (41 mm)	8	2	50,00	(323,66 .. 324,11)
8	F.CG, 2x R-28T, 3x R-28M, 23x R-28M, 2x R-28T, F.CG	1	1 5/8" (41 mm)	7	3	50,00	(323,20 .. 323,66)
7	F.CG, 2x R-28T, 5x R-41M, 1x R-41M, 25x R-41M, 1x R-28T, F.CG	1	1 5/8" (41 mm)	6	2	50,00	(322,74 .. 323,20)
6	F.CG, 2x R-28T, 7x R-41M, 27x R-41M, 1x R-41HM	1	1 5/8" (41 mm)	5	1	50,00	(322,29 .. 322,74)
5	1x R-28T, 9x R-41M, 1x R-41M, 27x R-41M	1	1 5/8" (41 mm)	4	1	0,00	(321,83 .. 322,28)
4	1x R-60HM, 10x R-60M, 27x R-60M, 1x R-60HM	1	1 5/8" (41 mm)	3	1	0,00	(321,37 .. 321,83)
3	10x R-60M, 1x R-60M, 27x R-60M	1	1 5/8" (41 mm)	2	1	0,00	(320,91 .. 321,37)
2	1x R-60HM, 10x R-60M, 27x R-60M, 1x R-60HM	1	1 5/8" (41 mm)	1	1	0,00	(320,46 .. 320,91)
1	10x R-60B, 1x R-60B, 27x R-60B	1	1 5/8" (41 mm)				(320,00 .. 320,46)

FIGURE 54 – Division en blocs du mur

Les blocs courbes sont marqués en vue 2D par la ligne du milieu :

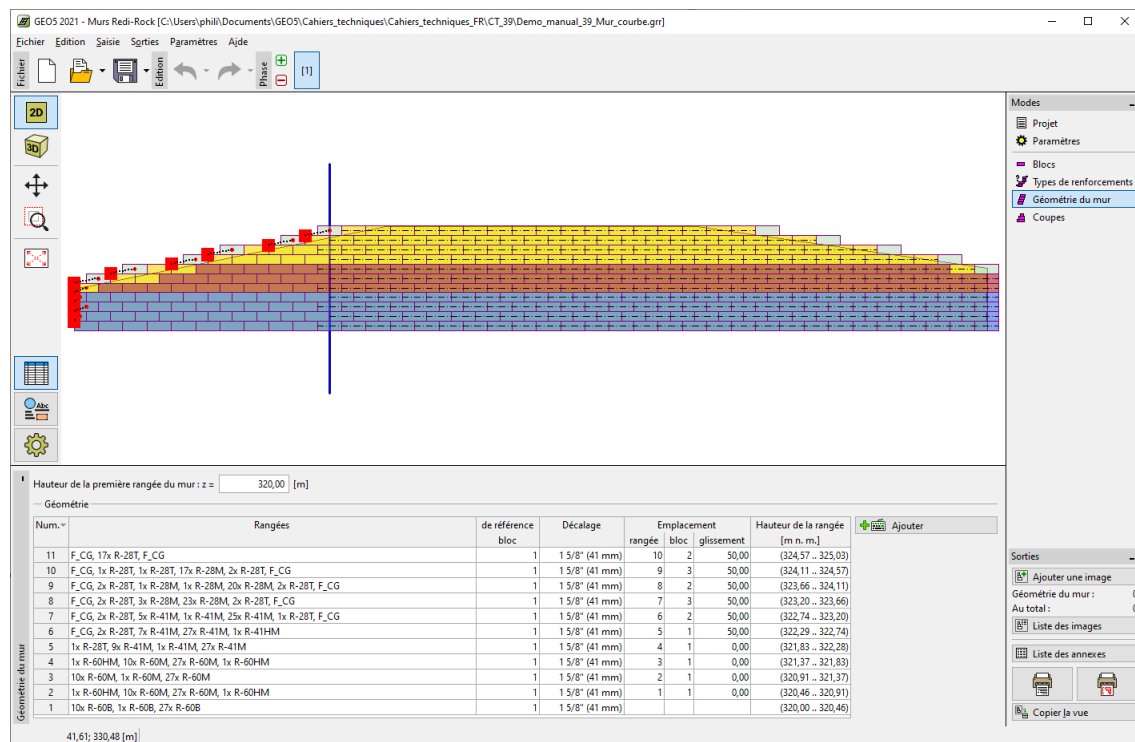


FIGURE 55 – Visualisation des blocs courbes

Le résultat final de nos efforts est ce modèle 3D de notre mur :

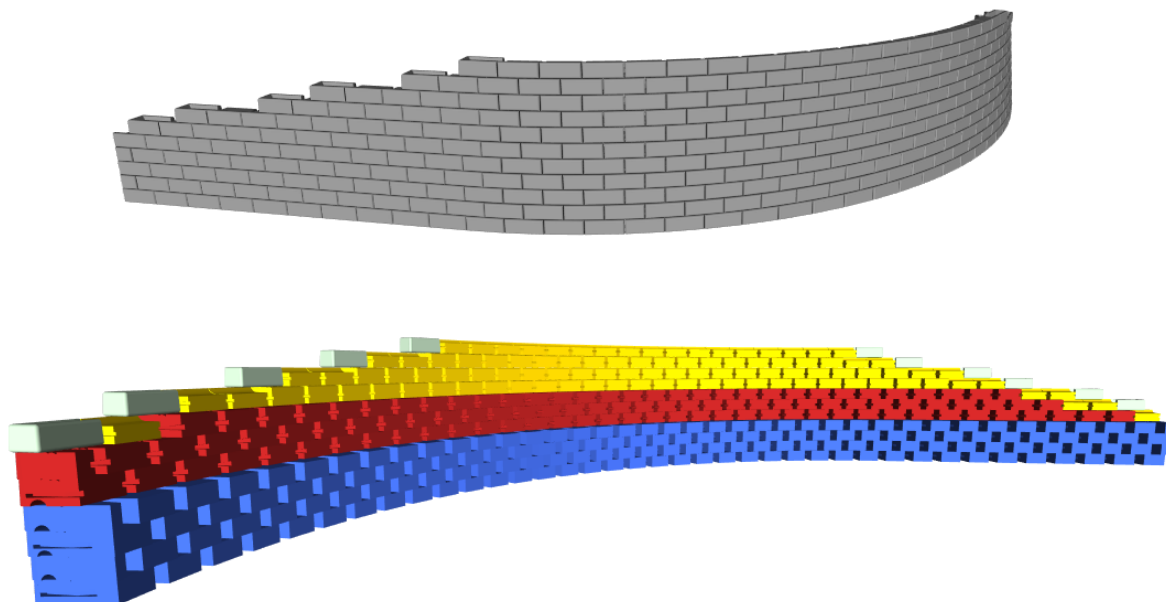


FIGURE 56 – Modèle 3D de notre mur