

Evaluation du procédé géotechnique

Colonnes Bi-Module CBM

Nom du procédé	Colonnes Bi-Module CBM
Demandeur	Menard 2 rue Jean Rostand 91400 ORSAY

L'évaluation du procédé géotechnique colonnes Bi-Module CBM établie le 19 avril 2018 a été conduite par l'IFSTTAR (actuellement Université Gustave Eiffel) et le Cerema et approuvée de manière consensuelle par une commission dont la composition est précisée dans le référentiel relatif à l'évaluation des procédés géotechniques.

Cette évaluation est jointe ci-après, d'une durée de validité jusqu'au 19/04/2021.

La durée de validité de cette évaluation est prolongée jusqu'à 01/07/2024.

La prolongation de cette évaluation repose sur :

- la demande du 18/03/2021 de l'entreprise Menard sollicitant l'Université Gustave Eiffel et le Cerema pour un renouvellement du cahier des charges colonnes à Bi-Modules avec l'engagement que la mise en œuvre du procédé Inclusions Rigides sans matelas et sous fondations, n'a pas été identifiée comme une source de potentiel de désordres ;
- l'instruction en cours de cette demande.

Menard devra informer l'Université Gustave Eiffel ou le Cerema de tout incident ou désordre provoqué par la mise en œuvre du procédé géotechnique Inclusions Rigides Sans Matelas et sous fondations et de toute modification apportée au procédé durant cette période de validité.

Sequedin, le 29 Mars 2024.

Fabien Szymkiewicz
Université Gustave Eiffel
GERS/SRO

Loïc LEURENT
Cerema Hauts-de-France
Département/INFRA/ OAG-E



Evaluation du procédé géotechnique

Colonnes Bi-Module CBM

Nom du procédé	Colonnes Bi-Module CBM
Demandeur	Menard 2 rue Gutenberg 91620 NOZAY

L'évaluation du procédé géotechnique colonnes Bi-Module CBM établie le 19 avril 2018 a été conduite par l'IFSTTAR (actuellement Université Gustave Eiffel) et le Cerema et approuvée de manière consensuelle par une commission dont la composition est précisée dans le référentiel relatif à l'évaluation des procédés géotechniques.

Cette évaluation est jointe ci-après, d'une durée de validité jusqu'au 19/04/2021.

La durée de validité de cette évaluation est prolongée jusqu'au 30/10/2023.

La prolongation de cette évaluation repose sur :


- la demande du 18/03/2021 de l'entreprise Menard sollicitant l'Université Gustave Eiffel et le Cerema pour un renouvellement du cahier des charges colonnes à Bi-Modules avec l'engagement que la mise en œuvre du procédé Inclusions Rigides sans matelas et sous fondations, n'a pas été identifiée comme une source de potentiel de désordres ;
- l'instruction en cours de cette demande.

Menard devra informer l'Université Gustave Eiffel ou le Cerema de tout incident ou désordre provoqué par la mise en œuvre du procédé géotechnique Inclusions Rigides Sans Matelas et sous fondations et de toute modification apportée au procédé durant cette période de validité.

Fontenay-sous-bois, le 19 Avril 2023.

Fabien Szymkiewicz
Université Gustave Eiffel
GERS/SRO

Cécile MAUREL
Cerema Ile-de-France
Département Géosciences Risques



Evaluation du procédé géotechnique

Colonnes Bi-Module CBM

Nom du procédé	Colonnes Bi-Module CBM
Demandeur	Menard 2 rue Gutenberg 91620 NOZAY

L'évaluation du procédé géotechnique a été conduite par le Cerema et l'IFSTTAR et approuvée de manière consensuelle par une commission dédiée (dont le rôle, la composition, etc. sont précisés dans le référentiel relatif à l'évaluation des procédés géotechniques).

L'évaluation repose sur :

- la demande de l'entreprise Menard sollicitant l'IFSTTAR et le Cerema pour un renouvellement du cahier des charges « Colonnes Bi-Module CBM » avec l'engagement que la mise en œuvre de ce procédé n'a pas été identifiée comme une source potentielle de désordres ;
- l'analyse des performances du procédé géotechnique « Colonnes Bi-Module CBM » dans le cadre d'une mission réalisée par l'IFSTTAR et le Cerema avec l'appui de deux experts. Les conclusions de cette mission sont consignées dans un rapport d'analyse qui est présenté en annexe ;
- référentiel pour l'évaluation des procédés géotechniques (version 3 en date du 13/04/2018)

Sequedin, le 19/04/2018.

Fabien Szymkiewicz
IFSTTAR/GERS/SRO



Julien Habert
Cerema Nord-Picardie



1. Présentation du procédé

Le procédé « Colonnes Bi-Module CBM » rentre dans le cadre des procédés d'amélioration de sols par inclusions rigides. La particularité du procédé est d'associer une partie inférieure en inclusion rigide à une partie supérieure en matériau granulaire de type Colonnes Ballastées réalisées par voie sèche.

2. Référentiel retenu pour l'évaluation du procédé géotechnique « Colonnes Bi-Module CBM »

Le référentiel retenu pour l'évaluation du procédé géotechnique « Colonnes Bi-Module CBM » comprend :

- les Recommandations ASIRI (2012), traitant des inclusions rigides avec matelas
- les recommandations professionnelles du CFMS sur la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des colonnes ballastées sous bâtiments et sous ouvrages sensibles au tassement, version N°2 de mars 2011.
- l'Eurocode 7 partie 1 avec son annexe nationale française ;
- l'Eurocode 7 partie 2 ;
- l'Eurocode 8 partie 1 ;
- l'Eurocode 8 partie 5 avec son annexe nationale française ;
- la norme NF P94-261 et son amendement pour l'application nationale de l'Eurocode 7 à la justification des fondations superficielles ;
- la norme NF P94-262 et son amendement pour l'application nationale de l'Eurocode 7 à la justification des fondations profondes;
- AFPS / CFMS– Procédés d'amélioration et de renforcement de sols sous actions sismiques Janvier 2013
- le Guide pour la réalisation des cahiers des charges soumis à une évaluation de Procédé Géotechnique ;
- les normes NF EN 12699 et NF 1536 relatives à l'exécution des pieux avec refoulement de sol et pieux forés ;
- la norme NF EN 14731 relative à l'exécution des colonnes ballastées.

3. Documents

Les documents examinés dans le cadre de la mission confiée à l'IFSTTAR et au Cerema sont les suivants :

- le cahier des charges du procédé géotechnique « Colonnes Bi-Module CBM » version 3.0 du 13/04/2018 et ses annexes,
- le rapport d'analyses du comportement sous charges verticales d'une semelle et d'un dallage renforcé par le procédé CBM, dans le cadre des plots d'essai de Mining Colmar , version 1,0, réalisé en 2010,
- Note de dimensionnement de CBM du 12/12/17 avec comparaison du comportement sous charges verticales d'un dallage renforcé par le procédé CBM, selon les méthodes analytiques et numériques,
- le cahier des charges CMC sans matelas version 7 en date du 03/01/18
- les références sur les années 2014 à 2016,
- un relevé de sinistralité relatif au procédé CBM sur les années 2014 à 2016
- les divers éléments relatifs à l'instruction antérieure du cahier des charges :
 - cahier des charges version 2 du 30/06/2015,
 - avis de Bureau Apave du 01/04/2016.

4. Avis

L'IFSTTAR et le Cerema, sur la base des différents documents examinés, du rapport d'analyse présenté en annexe et de la présentation du procédé géotechnique « Colonne Bi-Module CBM » devant la commission réunie à l'IFSTTAR le 16 Janvier 2018, estiment que le procédé géotechnique décrit par le cahier des charges version 3 en date du 13/04/2018 est apte à satisfaire les exigences de fiabilité et de robustesse requises par le référentiel retenu.

5. Validité

La présente évaluation est valable jusqu'au 19/04/2021.

Menard devra informer l'IFSTTAR ou le Cerema de tout incident ou désordre provoqué par la mise en œuvre du procédé géotechnique « Colonne Bi-Module CBM » et de toute modification apportée au procédé durant cette période de validité.

Annexe – Rapport d’analyse du procédé géotechnique « Colonne Bi-Module CBM »

1. Spécificités du procédé « Colonne Bi-Module CBM »

Le procédé « CBM », ou Colonne Bi-Module, est une méthode d’amélioration des sols en place qui associe une partie inférieure en inclusion rigide de type Colonne à Module Contrôlé à une partie supérieure en matériau granulaire de type Colonne Ballastée réalisé par voie sèche.

A l’interface entre les parties supérieures et inférieures, on réalise une interface de transition par recouvrement et/ou mélange du mortier de l’inclusion et du ballast de la colonne ballastée.

Ce type de renforcement nécessite sous dallage la mise en place d’un matelas de répartition, qui peut être supprimé dans le cas des fondations superficielles filantes ou isolées, et dans le cas des radiers.

Des éléments spécifiques sont fournis dans le cahier des charges concernant :

- la mise en œuvre des colonnes Bi-module,
- les dimensions minimales de la partie supérieure en colonne ballastée,
- le dimensionnement des colonnes CBM par des méthodes analytiques,
- les paramètres utilisés pour le dimensionnement de l’inclusion,
- et les différents contrôles associés.

Du fait de la présence en partie supérieure d’une partie ballastée, les principes exposés dans les recommandations ASIRI pour les inclusions rigides ne sont pas directement transposables au procédé CBM, justifiant ainsi la nécessité d’un cahier des charges particulier. Les processus de dimensionnement (méthode, choix du paramètre k_3) et de contrôle retenus dans le document, s’inspirent très largement des exigences évoquées dans les recommandations ASIRI. Néanmoins, certaines de ces exigences ont été adaptées, notamment en termes de contrôle, du fait de la présence de la partie supérieure en colonne ballastée.

2. Principaux intérêts de la technique par rapport aux autres procédés d’amélioration de sol traditionnels.

Ce type de renforcement de sol est particulièrement intéressant dans le cas :

- des projets pour lesquels les couches de répartition présentent des difficultés de mise en œuvre : chantier phasé, plateformes profondes ou exigües ne permettant pas l’amenée d’engin de terrassement...
- des projets de renforcement de sol traditionnel nécessitant la réalisation d’arases basses importantes, souvent sources de complication : niveau des inclusions difficiles à maîtriser, détérioration des inclusions lors des terrassements, phasage particuliers pour la réalisation de la couche de répartition...
- des projets sismiques ou avec semelles subissant des efforts horizontaux importants permettant ainsi d’éviter de transférer les efforts horizontaux (type inertiel) aux inclusions rigides. Les efforts horizontaux sont alors repris par la semelle superficielle.

Toutefois, ce procédé permet généralement une réduction des tassements plus faible que pour les améliorations de sol de type inclusions rigides.

3. Réalisation des colonnes Bi-Module

Le procédé de réalisation des colonnes Bi-module s'effectue en deux étapes :

- dans un premier temps, on réalise une inclusion de mortier ou béton, par refoulement et sans extraction notable de matériaux. En présence de couche indurée, une réalisation des inclusions par forage sans refoulement peut éventuellement être nécessaire. Ces techniques de mise en œuvre se rattachent des pieux de classe 6 et 7 décrites dans la norme NF P94-262,
- après le début de prise du mortier ou du béton, une colonne ballastée est alors réalisée en partie supérieure de l'inclusion. La partie supérieure de l'inclusion rigide est alors disloquée et refoulée lors de la pénétration de l'outil. Lors de cette étape, une interface se crée à la transition entre les matériaux, constituée de ballast mélangé au matériau de la partie rigide.

La durée entre ces deux étapes doit être appropriée pour :

- permettre la pénétration de l'outil dans l'inclusion rigide,
- avoir la garantie d'une partie supérieure en colonne ballastée d'à minima 50 cm (ou 1,0 m en cas d'effort horizontaux importants) constituée de matériau granulaire uniquement.

4. Reprise des efforts verticaux par les Colonnes Bi-Module

La méthodologie de calcul analytique fournie par Menard dans le cadre de ce cahier des charges, associant :

- i) une méthode d'homogénéisation ou de Priebe pour le dimensionnement de la partie supérieure ballastée, et
 - ii) une méthode de Franck et Zhao pour le dimensionnement de la partie inférieure rigide,
- a montré des résultats tout à fait satisfaisant par rapport à des calculs comparatifs aux éléments finis réalisés dans le cadre de cette analyse.

Des essais de chargement réalisés en vraie grandeur sur des massifs de Colonnes Bi-modules ont aussi permis de justifier la pertinence de la prévision des tassements et des efforts transitant dans les colonnes.

5. Reprise des efforts horizontaux par les Colonnes Bi-Module

La présence d'un matériau granulaire en tête d'inclusion à l'avantage de réduire significativement les efforts transmis à la partie rigide. Les éléments indiqués dans le cahier des charges permettent de justifier les ouvrages de type colonne Bi-module soumise à des efforts horizontaux.

La limite fixée à $H/N = 0,2$, pour la combinaison de charge la plus défavorable, et la prise en compte d'une hauteur de minimale de colonne ballastée de 50 cm apparaît être une limite acceptable pour s'affranchir des vérifications particulières vis-à-vis des efforts horizontaux sous semelles superficielles.

Au-delà, de cette limite, une augmentation de la hauteur de la colonne à 1 m minimum et une vérification à la flexion et au cisaillement de partie inclusion rigide est nécessaire.

6. Le paramètre k_3 concernant le matériau constitutif des inclusions

Des valeurs du paramètre k_3 ont été proposées dans les configurations où aucun essai de chargement statique n'est réalisé :