



© SOLETANCHE BACHY

# RENFORCEMENT DE SOL PAR GEOMIX À LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE NOGENT-SUR-SEINE

AUTEURS : SANDRINE COMBA, SERVICE GÉOLOGIE GÉOTECHNIQUE, EDF DIPNN CEIDRE TEGG - MATTHIEU JACQUET, SERVICE GÉOLOGIE GÉOTECHNIQUE, EDF DIPNN CEIDRE TEGG - IBRAHIM ASRI, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE - ALAIN MENOIRET, CHEF DU DÉPARTEMENT GÉOTECHNIQUE, GEOS INGENIEURS CONSEILS (GROUPE INGEROP) - STÉPHANE MONLEAU, DIRECTEUR COMMERCIAL, SOLETANCHE BACHY FRANCE

**SUR LE SITE DE LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE NOGENT-SUR-SEINE, EDF A FAIT RÉALISER UN RENFORCEMENT DES SOLS DE FONDATION SOUS LE FUTUR BÂTIMENT DIESEL ULTIME SECOURS (DUS) DE LA TRANCHE NUMÉRO 2, AU TITRE DU RETOUR D'EXPÉRIENCE DE FUKUSHIMA. CE RENFORCEMENT A CONSISTÉ EN UN COMPARTIMENTAGE DU SOL DE FONDATION AVEC DES VOILES OBTENUS PAR LE MÉLANGE DU SOL EN PLACE AVEC UN COULIS DE CIMENT (TECHNIQUE DU GEOMIX INSPIRÉE DE L'HYDROFRAISE) VISANT À RÉDUIRE LES TASSEMENTS DIFFÉRENTIELS POUR QU'ILS RESTENT ADMISSIBLES VIS-À-VIS DES CONTRAINTES DU PROJET DUS, ET À APPORTER DES MARGES DE DIMENSIONNEMENT SUPPLÉMENTAIRES NOTAMMENT SOUS SITUATIONS SISMIQUES.**

## CONTEXTE DU PROJET DUS

Faisant suite à l'accident de Fukushima, EDF a engagé la conception et la construction de nouveaux bâtiments sur ses CNPE, dont les bâtiments Diesels d'Ultime secours, dits « bâtiments DUS ». Ceux-ci visent à garantir

la sûreté des installations face à des événements agresseurs extrêmes, au-delà du dimensionnement usuel, en pérennisant l'alimentation électrique des tranches nucléaires en cas de défaillance des autres sources. Un bâtiment DUS doit être construit

**1- Vue d'ensemble du chantier.**

**1- General view of the project.**

pour chaque tranche (1300 MW) du CNPE de Nogent-sur-Seine. Les bâtiments se présentent sous la forme de bâtiments étroits et relativement élancés (H = 22 m), fondés sur radier général (15 m x 24,1 m), sans plots parasismiques (figure 2). ▶

Les deux bâtiments sont implantés sur deux emplacements différents. L'article s'intéresse au bâtiment DUS de la tranche numéro 2.

**CONTEXTE GÉOTECHNIQUE SOUS LES DUS**

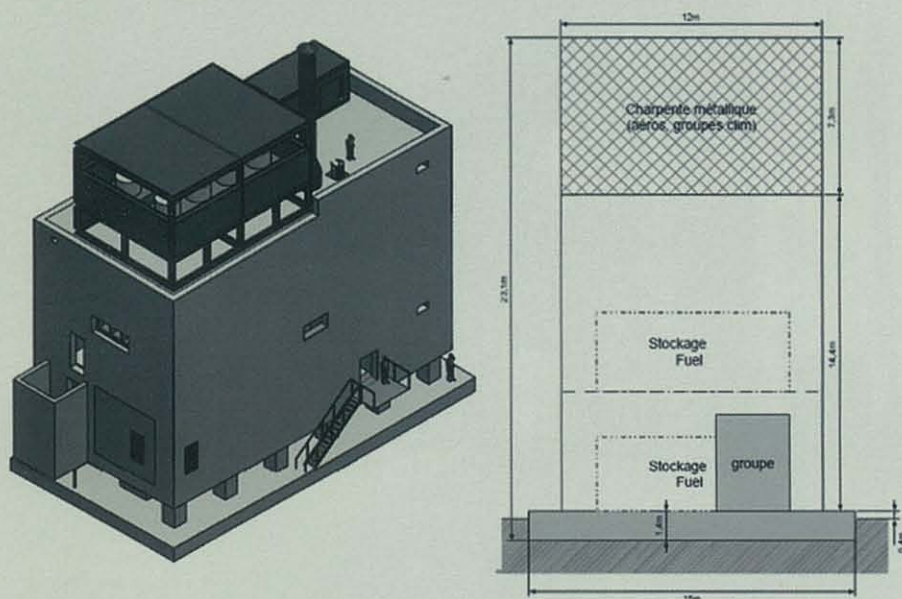
La campagne d'investigation géotechnique a porté sur la zone d'implantation du DUS 2 ainsi que sur les liaisons VRD (Voirie et Réseau Divers) entre le DUS et l'îlot nucléaire. Cette campagne, venant compléter les données historiques du site, était composée d'un sondage carotté (-30 m/Plateforme du site(PF)), 3 sondages pressiométriques (-15, -20, -30 m/PF) et 5 sondages SPT (-8,3 m à -15 m/PF du site). En complément, 2 sondages SPT (-15 m/PF) et 7 sondages CPT (-15 m/PF) ont été réalisés sur le tracé des VRD. Enfin, des essais de laboratoire (identifications des sols et essais mécaniques) ont complété la campagne.

La campagne d'investigation a permis d'affiner la stratigraphie présumée sur la zone et de caractériser les différents horizons géotechniques mis à jour.

Les couches suivantes sont rencontrées à partir de la plateforme (68,2 NGFN) (figure 3) :

- Des remblais constitués d'alluvions sablo-graveleuses propres de la Seine avec un peu de fines, de compacité généralement dense, localement lâche voire très lâche. Sur l'emprise du DUS 2, l'épaisseur de la couche de remblai est comprise entre 5,5 et 6,5 m avec une valeur moyenne de 5,7 m.
- Les alluvions modernes (limons de crue) constituées d'un mélange de sable et de limon avec trace d'argile de compacité généralement lâche. Sur l'emprise du DUS 2, l'épaisseur de la couche d'alluvions modernes est comprise entre 0,3 et 0,45 m avec une valeur moyenne de 0,4 m.
- Les alluvions anciennes constituées d'un mélange de graves sableuses avec un peu de fines, de compacité généralement dense à très dense, localement moyenne. Sur l'emprise du DUS 2, l'épaisseur de la couche d'alluvions anciennes est comprise entre 3,6 et 5,0 m avec une valeur moyenne de 4,1 m.
- Le contact alluvions-craie constitué d'un mélange d'alluvions et de débris crayeux de granulométrie hétérogène, tantôt à dominance sableuse, tantôt à dominance limoneuse, de compacité moyenne ou de consistance raide. Sur l'emprise

**ILLUSTRATION DU BÂTIMENT DUS**  
(à gauche sur appui parasismique ; à droite sur radier élargi)



2 © EDF

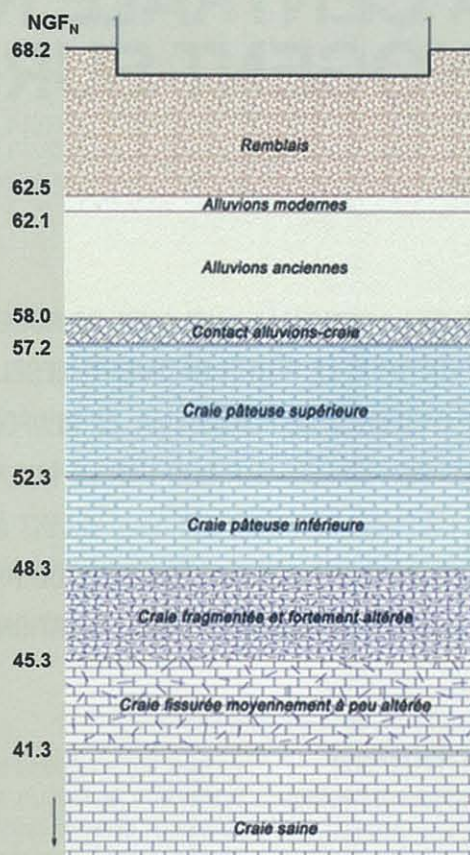
**2- Illustration du bâtiment DUS (à gauche sur appui parasismique ; à droite sur radier élargi).**

**3- Coupe stratigraphique sous le DUS 2.**

**2- Illustration of the backup diesel building (left-hand on earthquake-resistant support; right-hand on enlarged foundation raft).**

**3- Stratigraphic cross section under backup diesel building 2.**

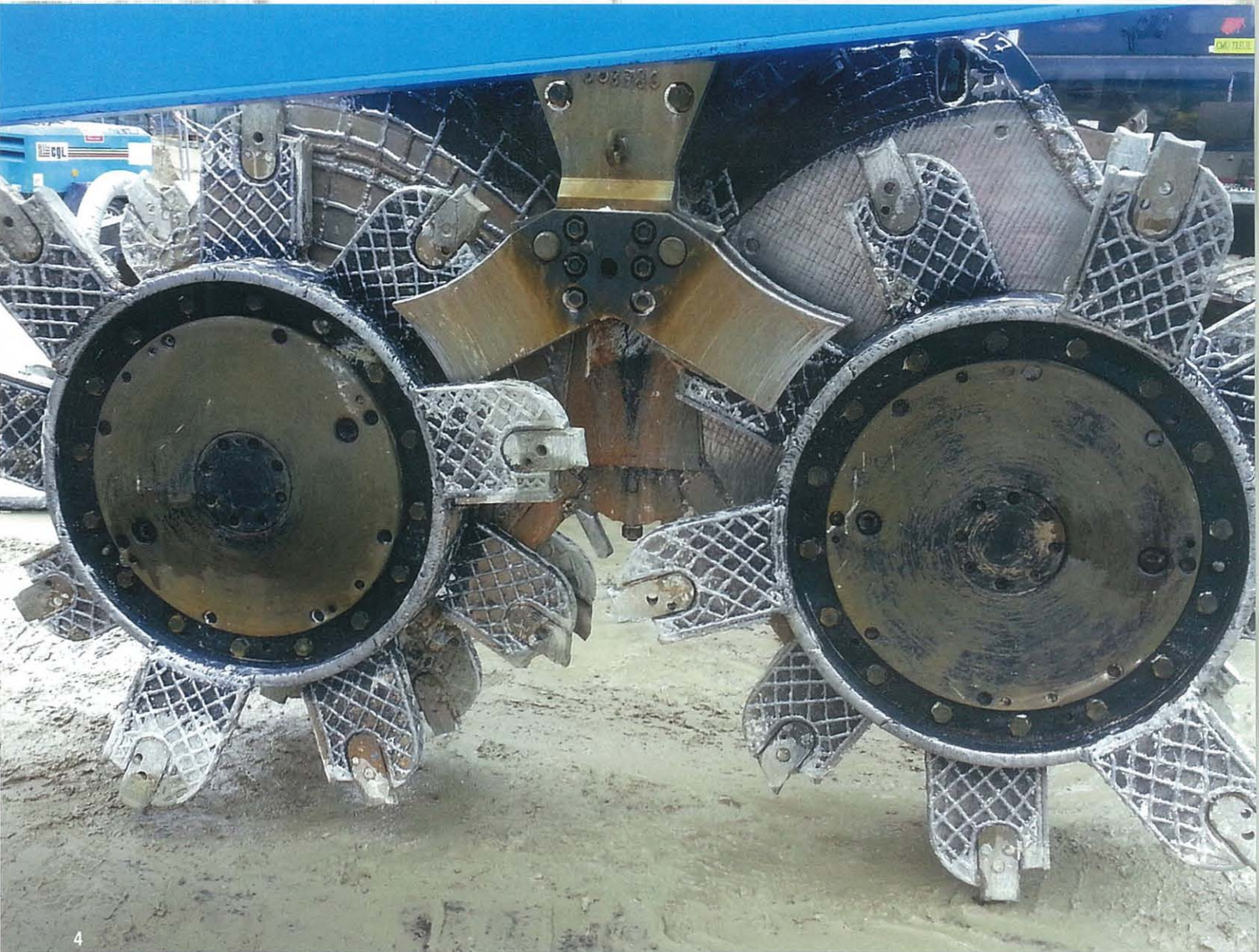
**COUPE STRATIGRAPHIQUE SOUS LE DUS 2**



du DUS 2, l'épaisseur du contact alluvions-craie est comprise entre 0,5 et 1,00 m, avec une valeur moyenne de 0,8 m.

- La craie, dans ses faciès successifs en fonction du degré d'altération : craie pâteuse supérieure, craie pâteuse inférieure, craie fragmentée fortement altérée, craie fissurée peu altérée, craie saine. Le toit de la craie pâteuse supérieure est rencontré à une profondeur de 11 m sous le niveau de la plate-forme, celui de la craie saine à une profondeur de 27 m.

3 © EDF



4

© EDF

**4- Vue sur les tambours rotatifs et sur la buse d'injection du liant (coulis) au centre.**

**5- Le terrain est déstructuré lors de la perforation (descente) du CSM. Le coulis de ciment est injecté et mélangé au terrain en place à la descente et remontée de l'outil.**

**4- View of rotating drums and binder (grout) injection nozzle in the centre.**

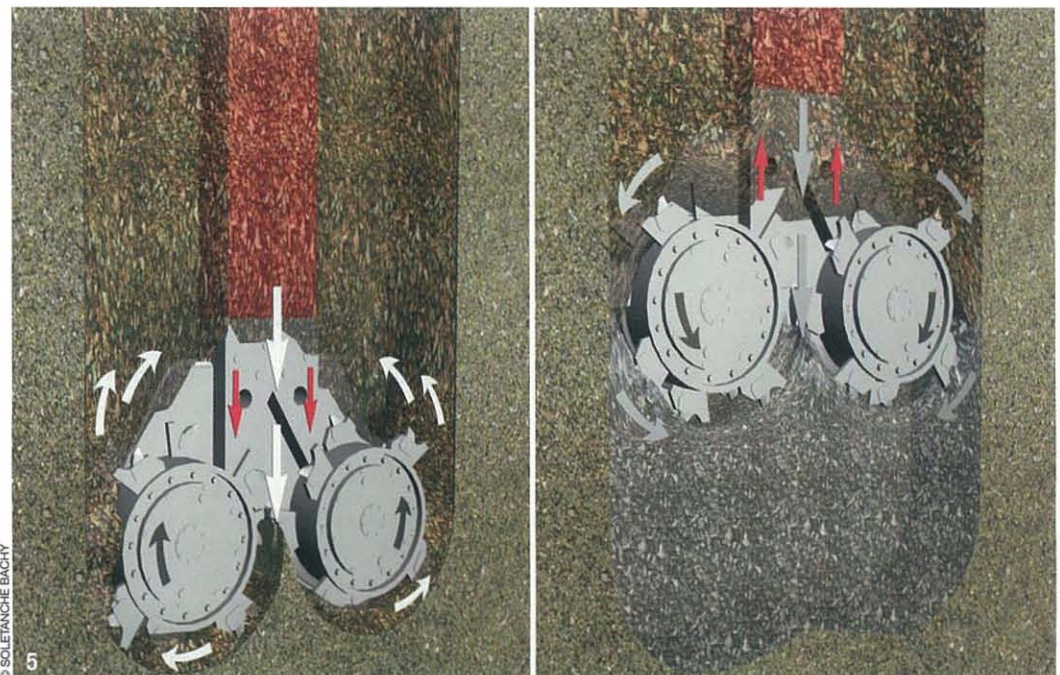
**5- The ground is destructured during drilling (lowering) of the CSM device. The cement grout is injected and mixed with the ground in situ when lowering and raising the tool.**

Les niveaux d'eau évalués dans les terrains, en accord avec l'ETC-C 2012 (European Pressurised Reactor Technical for Civilworks (code AFCEN)) pour le Niveau Médian Permanent ( $G_{k,w}$ ) et le Niveau Variable Fréquent ( $Q_{k,wief}$ ) sont situés respectivement à -4,2 m/PF et 3,7 m/PF.

#### ÉLÉMENTS DE CHOIX POUR LE RENFORCEMENT DE SOL : PROCÉDÉ GEOMIX

Au regard des hypothèses de dimensionnement, des contraintes du projet DUS et du modèle géotechnique établi sur la zone, les études de pré-dimensionnement ont préconisé le principe

d'un renforcement de sol afin de s'affranchir de tout risque de liquéfaction et de se prémunir de possibles tassements différentiels supérieurs à ceux admis par le projet DUS, tout en apportant des marges de dimensionnement supplémentaires notamment sous situations sismiques. ▷



© SOLETANCHE BACHY

5

**6- Modèle en éléments finis (Z-Soil) du système de fondation.**

**7- Plan d'exécution du renforcement de sol par Geomix.**

**6- Finite element model (Z-Soil) of the foundation system.**

**7- Working drawing of soil reinforcement with Geomix.**

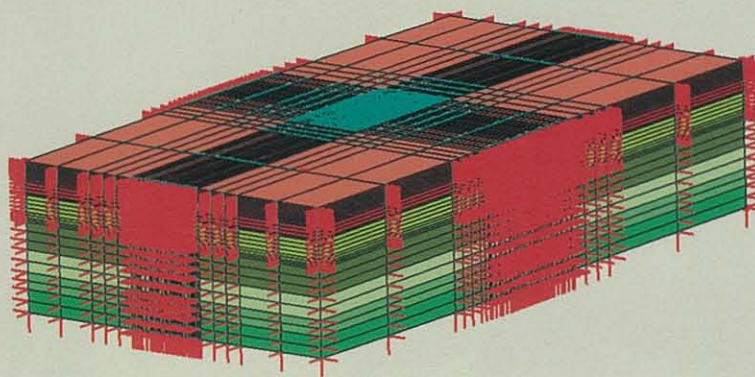
L'entreprise Soletanche Bachy a répondu à l'appel d'offre en proposant la technique du Geomix.

Cette méthode consiste à confiner le sol en place par la réalisation d'un maillage de panneaux perpendiculaires (constitués par le mélange du sol en place avec un coulis de ciment) de forte inertie (réalisation d'un caissonnage) qui apporte une forte rigidité au cisaillement sous sollicitations horizontales et permet d'homogénéiser la raideur du sol verticalement.

Les niveaux de distorsion atteints dans le sol confiné sont réduits, diminuant ainsi la génération de pression interstitielle à l'origine du phénomène de liquéfaction. De plus, même si localement des phénomènes de liquéfaction venaient à se produire, l'horizon liquéfié se limiterait à l'emprise du caisson de sol. En outre, les voiles du dispositif reprennent une partie des charges transmises par le radier, et par leur rigidité contribuent à homogénéiser le massif de sol et ainsi réduire les tassements différentiels. Le renforcement de sol est complété d'un matelas de répartition (remblai sablo-graveleux), assurant l'interface entre le sommet des voiles de Geomix et la sous-face du radier du bâtiment DUS.

Cette technique de renforcement permet également de s'adapter à l'hétérogénéité des terrains et aux contraintes de la zone de travaux (proximité de réseaux et du bâtiment réacteur). Elle évite les lourdes manutentions, l'évacuation de grandes quantités de déblais, et diminue la consommation de ressources naturelles (peu d'apport de béton ou de matériau extérieur (ciment-bentonite)). La technique ne nécessite généralement pas la construction préalable de murettes guides. Comme les parois traditionnelles, la paroi Geomix

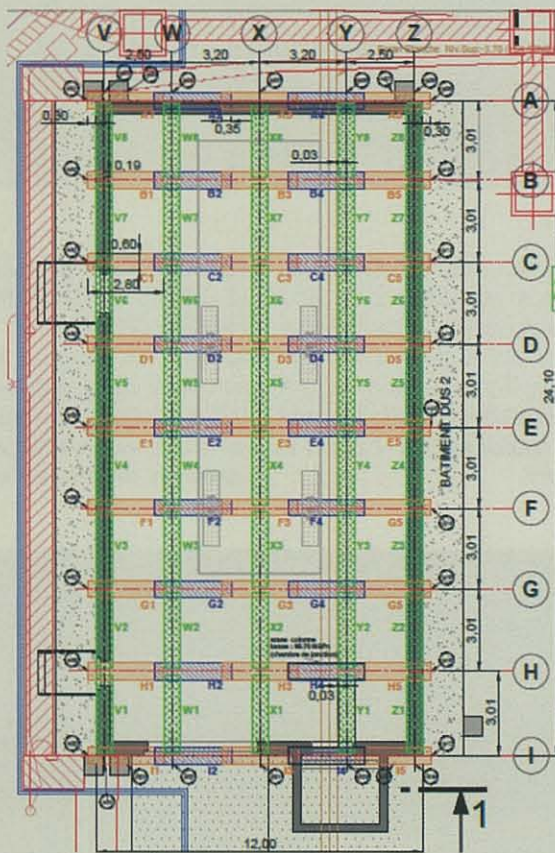
**MODÈLE EN ÉLÉMENTS FINIS (Z-SOIL) DU SYSTÈME DE FONDATION**



- 1 Radier
- 2 Matelas
- 3 Remblai hors nappe
- 4 Remblai sous nappe
- 5 Alluvions modernes
- 6 Alluvions anciennes
- 7 Contact alluvion-cr
- 8 Craie pâteuse sup
- 9 Craie pâteuse inf
- 10 Craie fragmentée
- 11 Craie peu altérée
- 12 Geomix
- 13 Paroi étanche
- 14 Chambre (Shell)
- 15 Interface Geomix
- 16 Interface Paroi ét
- 17 Interface Geomix
- 18 Shell trap

6 © GEOS

**PLAN D'EXÉCUTION DU RENFORCEMENT DE SOL PAR GEOMIX**



- LEGENDE :**
- PLOT D'ESSAI DUS 2 :**
- ZONE PLOT D'ESSAI
  - PASSE D'ESSAI N
- TRAVAUX SOIL MIXING DUS 2 :**
- PASSE PRIMAIRE
  - PASSE SECONDAIRE
  - PASSE TERTIAIRE

7 © SOLETANCHE BACHY

est constituée de panneaux juxtaposés primaires et secondaires. Ce procédé est le résultat de l'alliance des techniques de *soil mixing* et de la technologie Hydrofraise. Le procédé présente ainsi la robustesse et l'expérience de l'Hydrofraise avec l'ingéniosité du *soil mixing* (mélanger le sol

en place à un coulis bentonite/ciment). Un nouvel outil a été développé : le CSM (Cutter Soil Mixing), constitué de moteurs hydrauliques sur lesquels sont montés deux paires de tambours rotatifs (figure 4) qui assurent le forage et le malaxage sol/ciment (figure 5). Cet équipement est compatible avec

de nombreux types de porteurs, ce qui apporte une grande souplesse d'utilisation. Le marché a ainsi été confié à l'entreprise Soletanche Bachy France, incluant les études de conception et de dimensionnement définitif du renforcement (y compris le matelas de répartition).

## DIMENSIONNEMENT DU RENFORCEMENT DU SOL

Les études portées par l'entreprise Soletanche Bachy France ont été confiées à Geos Ingénieurs Conseils. Elles avaient pour objectif de dimensionner le système de renforcement de sol par Geomix afin de garantir des tassements différentiels du bâtiment DUS à moins de 0,3 mm/m (contrainte du projet DUS), de démontrer la non liquéfaction sous niveau de Séisme

Noyau Dur (SND) avec un niveau de nappe  $Q_{k, w, EF}$ , d'estimer les tassements sismo-induits, et enfin de démontrer la préservation de l'intégrité et de la perméabilité de l'enceinte géotechnique principale<sup>(1)</sup>. Ce dernier point a fait l'objet d'une attention particulière car le positionnement et la profondeur requis pour le dispositif de renforcement de sol imposaient que celui-ci traverse l'enceinte géotechnique principale en plusieurs points. Les études d'exécution

réalisées pour justifier le renforcement de sol par compartimentage en voiles de Geomix ont montré que :

→ Déconvolution des accélérogrammes sur colonne de sol par méthode linéaire équivalent (logiciel SHAKE 2000) : le calcul de déconvolution par méthode linéaire équivalent des accélérogrammes calés sur le spectre EUR dans une colonne de sol représentative de la stratigraphie sous DUS 2 respecte le critère en

distorsion fixé par le guide ASN 2/01. Les modules dynamiques dégradés par linéaire équivalent sont ainsi compatibles avec les distorsions induites par le séisme. Les modules dynamiques dégradés sont justifiés pour être utilisés dans les calculs de tassements aux éléments finis.

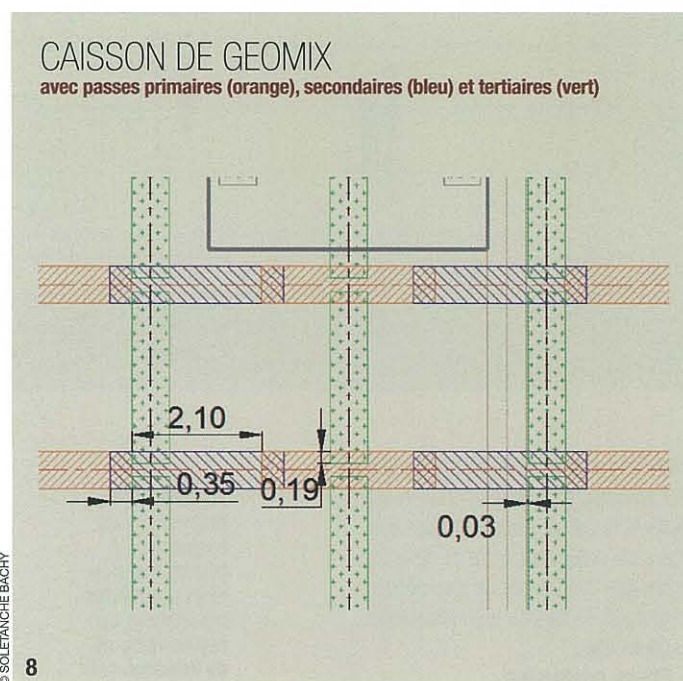
→ Réponse du système de fondation (logiciel Z-Soil) : le calcul de la réponse du système de fondation vise à l'évaluation des tassements sous sollicitations statiques, ELSqp, et ELU sismique. Ces réponses sont évaluées par une modélisation aux éléments finis en trois dimensions avec le logiciel Z-Soil. Une vue du modèle aux éléments finis est donnée sur la figure 6 (seul le radier du DUS est représenté). L'évaluation des tassements sous sollicitations sismiques est obtenue par une analyse pseudo-statique : le caractère dynamique de la sollicitation est pris en compte par les torseurs des efforts appliqués et par l'adaptation des modules d'élasticité des sols aux distorsions induites par le séisme. Pour les cas de charges statiques, les études ont intégré une hétérogénéité en grand des remblais. Pour cela, un zonage des remblais a été adopté. Sur la base des informations disponibles, deux zones de remblai sont considérées ; elles sont séparées par l'axe transversal de l'ouvrage.

8- Caisson de Geomix avec passes primaires (orange), secondaires (bleu) et tertiaires (vert).

9- Enregistrement et suivi en temps réel des paramètres de foration - injection ainsi que les contrôles inclinométriques.

8- Geomix caisson with primary (orange), secondary (blue) and tertiary (green) passes.

9- Real-time recording and monitoring of drilling and injection parameters, and clinometric checks.



## ENREGISTREMENT ET SUIVI EN TEMPS RÉEL DES PARAMÈTRES DE FORATION - INJECTION AINSI QUE LES CONTRÔLES INCLINOMÉTRIQUES

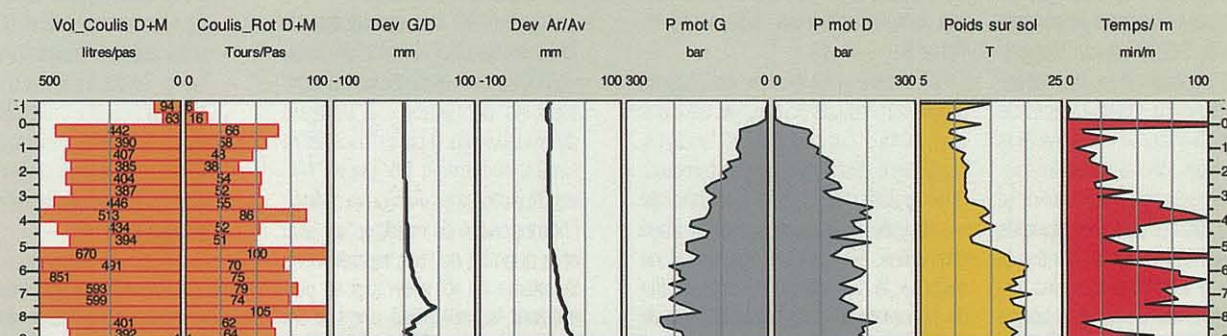


### RAPPORT C.S.M. f(profondeur).

#### GEOMIX Enregistrement des paramètres

Volume Total Bentonite (litres)	0
Volume Total Coulis (litres)	9657
Largeur (mm) :	2800 mm
Epaisseur (mm) :	600 mm
Profondeur finale (m) :	9.00
Temps de perforation (min) :	60.00
Temps d'injection (min) :	11.00

DATE : 08/08/2016	NOGENT SUR SEINE	Panneau E3
-------------------	------------------	------------



Le module d'élasticité attribué à la zone Sud du remblai est le module moyen de la formation, soit 72 MPa. Le module d'élasticité attribué à la zone Nord du remblai est réduit par un facteur de 3 et est égal à 24 MPa. Il est proche de la valeur ponctuelle minimum du module d'élasticité des remblais estimée à 27 MPa. Cette façon d'appréhender l'influence de l'hétérogénéité des remblais est considérée sécuritaire, tant dans la radicalité du zonage que dans la différenciation des modules d'élasticité du remblai dans les deux zones. Les tassements du radier calculés sous sollicitations statiques dans l'hypothèse d'un remblai hétérogène varient entre 3,9 et 4,6 cm. Pour tous les cas de chargements, le critère de tassement différentiel admissible fixé par le projet DUS a été respecté.

- Le risque de liquéfaction est écarté et le facteur de sécurité vis-à-vis de la liquéfaction est suffisant pour prévenir des tassements différés post-séisme.
- L'état initial de l'enceinte géotechnique (intégrité et perméabilité) est conservé après les travaux de renforcement de sol. De plus, en phase travaux, l'exécution du traitement de sol ne peut perturber le comportement hydraulique souterrain et garantir une perméabilité suffisante à long terme.

## EXÉCUTION DES TRAVAUX DE GEOMIX

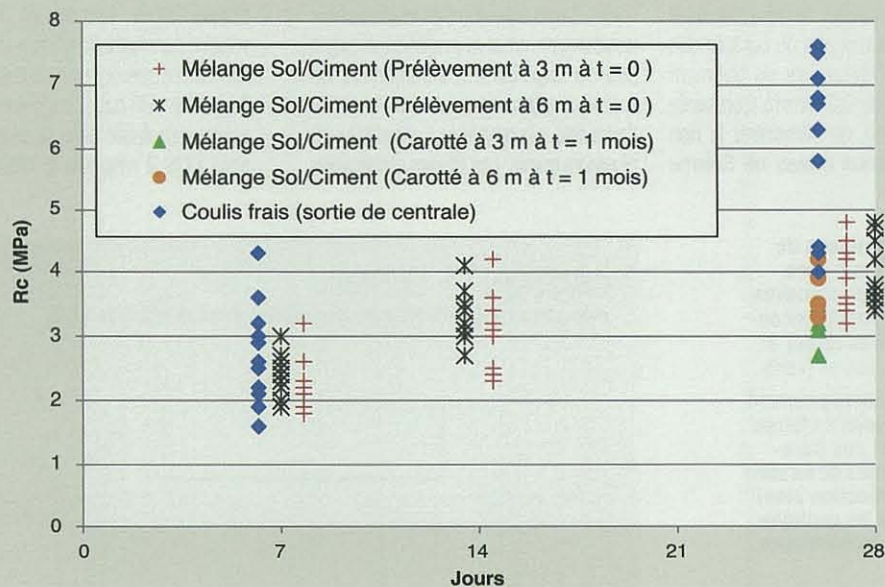
Les travaux de Geomix se sont déroulés en trois étapes bien distinctes :

### 1- Plot d'essai

(23/03/2016 au 01/04/2016)

La réalisation d'un plot d'essai est requise préalablement à tous travaux de renforcement de sol sous les ouvrages nucléaires. C'est une exigence de l'ETC-C, le code de dimensionnement requis par EDF pour les ouvrages de génie civil classés comme importants pour la sûreté. Sur le site de Nogent-sur-Seine, il a consisté en la réalisation de 4 panneaux indépendants de Geomix de profondeurs différentes (9 et 20 m) avec trois formulations de coulis différentes (quantités de ciment et de bentonite différentes). Les objectifs du plot d'essai étaient de démontrer la faisabilité de la technique avec les terrains de Nogent-sur-Seine et la bonne atteinte des performances exigées. Il a également permis de trouver et de valider la meilleure combinaison possible

## SYNTHÈSE DES ESSAIS DE RÉSISTANCE À LA COMPRESSION DES ÉPROUVETTES CONSTITUÉS DE COULIS FRAIS ET DE MÉLANGE SOL/COULIS



entre les paramètres de forage (indice de malaxage, etc.), la composition du coulis et le sol en place. De plus, des essais de convenance sur la centrale de chantier ont permis de caractériser la viscosité, la densité et la résistance du coulis frais.

### 2- Phase production (21/07/2016 au 26/08/2016)

Après validation du plot d'essai, la phase industrielle de réalisation des panneaux de Geomix a permis de réaliser 85 panneaux en 6 semaines, soit un linéaire total de 772 m. L'ordre de réalisation des différents panneaux du caissonnage a été conditionné par la préservation de l'intégrité de l'enceinte géotechnique. Le plan d'exécution du caissonnage est présenté en figure 7. Pour chaque ligne, les panneaux de Geomix sont réalisés par alternance de passes primaires et secondaires, comme cela est représenté en figure 8.

La continuité entre passes est assurée par un remordu de 35 cm. Les caissons sont fermés par des passes tertiaires, également réalisées avec un remordu. Pour guider l'outil, une prétranchée est réalisée en surface suivant le tracé des voiles. Elle permet également de collecter le sur-volume de déblais afin de conserver propre la plateforme de travail.

Les contrôles mis en œuvre lors du plot d'essai ont été reconduits lors de

### 10- Synthèse des essais de résistance à la compression des échantillons constitués de coulis frais et de mélange sol / coulis.

### 10- Summary of compressive strength tests on test specimens consisting of fresh grout and a soil/grout mixture.

la phase de production des panneaux. Ils sont détaillés ci-dessous en précisant la fréquence de contrôle :

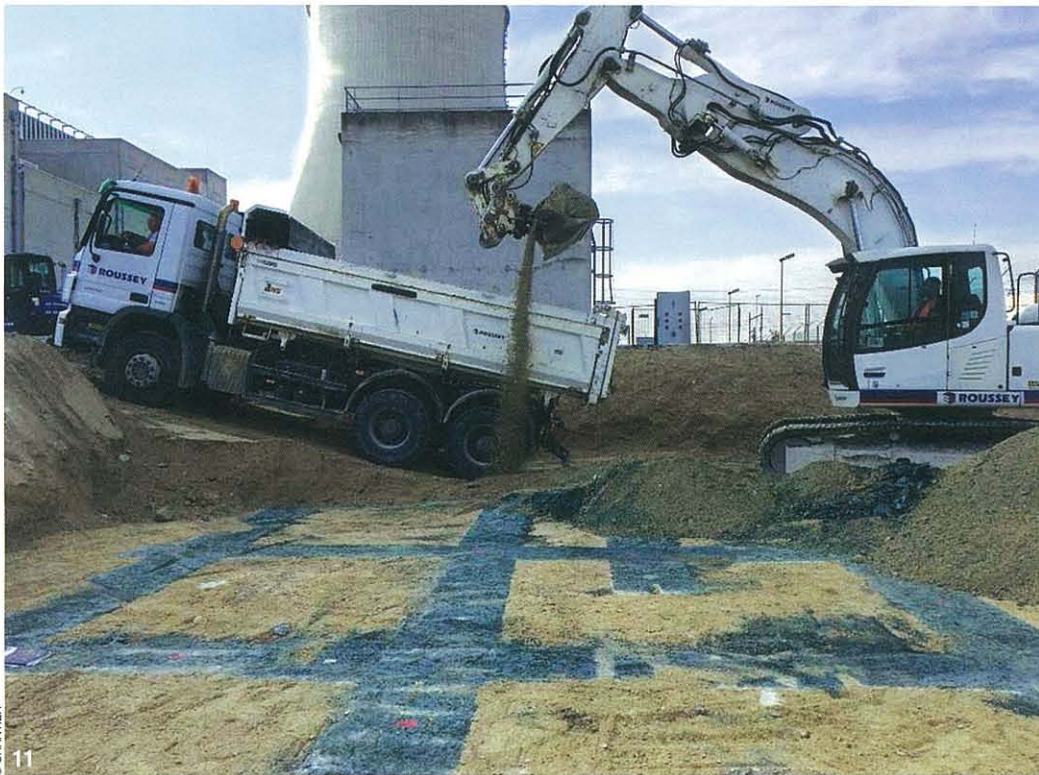
- Enregistrement des paramètres de foration-injection et contrôles inclinométriques : systématiques pour tous les panneaux ; le système de supervision (figure 9) contrôle simultanément et en temps réel les 2 paramètres clés du procédé : l'homogénéité du mélange sol-liant et la quantité de liant injectée dans le volume de sol traité tout en permettant la navigation dans le sol pour s'assurer de la verticalité de l'ouvrage réalisé. L'informatique embarquée permet la supervision

et le pilotage de l'outil depuis la cabine.

- Essais sur coulis frais en sortie de centrale : mesure de la densité et la viscosité du coulis frais avec une fréquence minimale de deux fois par poste ; prélèvement deux fois par semaine de 6 échantillons de coulis frais. Des essais de résistance à la compression sont réalisés à 7 jours (trois échantillons) et à 28 jours (trois échantillons).

- Essais sur le mélange sol-coulis :
  - Prélèvements deux fois par semaine du mélange sol - coulis au cœur d'un panneau fraîchement réalisé. Des essais de résistance à la compression sont réalisés à 7 jours (trois échantillons), à 14 jours (trois échantillons) et à 28 jours (trois échantillons) ;
  - Deux carottages verticaux sur deux panneaux (H2 et B3) à t = 1 mois après la réalisation du panneau. Ce délai permet d'assurer la prise du coulis. Trois échantillons sont écrasés (essai de résistance à la compression) à 7 jours et à 28 jours pour les profondeurs de 3 et 6 m.

De plus, pendant les travaux, un système de surveillance automatisé a été mis en place pour l'auscultation des bâtiments sensibles avoisinants. Le programme de surveillance mis en place a ainsi montré :



© CHANTIER



© CHANTIER

**11- Vue sur les voiles de soil mixing.**

**12- Réception du fond de fouille après récepçage.**

**11- View of soil mixing shear walls.**

**12- Acceptance inspection of bottom of cut after cutting-off.**

- Au total, 309 éprouvettes ont été écrasées durant le chantier, soit 103 essais de résistance à la compression. Les résistances à la compression mesurées à 28 jours sur toutes les éprouvettes de coulis ou de mélange sol-coulis sont conformes aux exigences (supérieures aux 2 MPa requis) (figure 10).
- La valeur moyenne de résistance à la compression à 28 jours pour les éprouvettes constituées de mélange sol-coulis est de 3,8 MPa (moyenne établie sur les 102 éprouvettes de *soil mixing* réalisées au cours du chantier et du plot d'essai (soit prélevée, soit carottée)) avec un écart type de 0,6 MPa. Il a été observé une bonne homogénéité dans les résultats des éprouvettes de *soil mixing* tant en profondeur que sur les différents panneaux.

Des blocs rocheux ont été rencontrés de façon sporadique pendant les travaux, ce qui a pu causer quelques dégâts sur l'outil de forage qui est en fait adapté pour travailler dans des sols meubles.

### **3- Réalisation du matelas de répartition**

**(du 05/09/2016 au 21/09/2016)**

La mise en œuvre d'un matelas de répartition d'un mètre d'épaisseur sur l'ensemble de la zone DUS termine le dispositif.

Le matelas de répartition joue un rôle mécanique (il réduit les sollicitations dans les panneaux) et permet de livrer une plateforme pour l'intervention du lot génie civil. Les objectifs de réalisation fixés étaient d'atteindre un niveau de compactage q3, un module EV2  $\geq 80$  MPa pour toutes les couches de remblais constitutives du matelas et un rapport EV2/EV1  $< 2,5$  sur la couche finale.

Le recépage préalable à la mise en place du matelas de répartition permet de contrôler de visu l'intégrité générale des panneaux, la qualité du mortier de sol en place, et surtout d'avoir une vue générale de la configuration des caissons (figures 11 et 12).

Une planche d'essai de remblaiement avait été imposée par le cahier des charges. L'objectif de la planche d'essai est de déterminer les paramètres de compactage à respecter pour atteindre les critères de réception du matelas de répartition.

Les contrôles suivants ont été réalisés lors de la mise en place du matelas de répartition :

- Vérification des caractéristiques des matériaux approvisionnés (de classe D3) : une analyse granulométrique, un essai Los Angeles et un essai micro-Deval sur les matériaux de la première couche et de la couche finale.
- Vérification de la bonne mise en œuvre : sur chaque couche intermédiaire, deux essais à la dynaplaque ont été effectués (figure 13). Sur la couche finale, trois essais à la plaque et un essai au pénétromètre dynamique ont été effectués. Enfin le critère de compacité Q/S a été contrôlé en continu pour chaque couche (inférieur à 0,07).

L'atteinte des requis a permis la réception de la plateforme (figure 14). Tous les résultats d'essais à la dynaplaque et à la plaque ont montré un EV2 supérieur à 80 MPa. Le module moyen EV2 de la couche finale est de 126 MPa avec un écart type de 10 MPa.



13



14

© CHANTIER

## CONCLUSION

La technique de renforcement de sol par Geomix mise en œuvre en fondation du bâtiment DUS de la tranche 2 du CNPE de Nogent-sur-Seine a donné satisfaction du point de vue des requis de dimensionnement et d'exécution liées à la sûreté nucléaire des ouvrages concernés. L'objectif premier de réduction des tassements différentiels est atteint, tout en apportant des marges de dimensionnement vis-à-vis d'autres

états limites géotechniques (en particulier en situation sismique pour le risque de liquéfaction).

Le mode d'exécution et le rigoureux programme de surveillance (plots d'essais et contrôles en phase de production) permettent de garantir la performance exigée du renforcement de sol, à la fois sur la qualité intrinsèque du matériau (résistance et perméabilité) et sur le comportement global du renforcement de sol.

**13- Essai à la dynaplaque sur le fond de fouille.**

**14- Réception de la plateforme finale.**

**13- Dynaplaque test on bottom of cut.**

**14- Acceptance inspection of final platform.**

In fine, le choix du mode de renforcement et le programme de surveillance établi en phase Études et Chantier entre l'ingénierie EDF et l'entreprise exécutante Soletanche Bachy France ont permis de répondre aux exigences liées à la sûreté nucléaire des ouvrages concernés. □

1- L'enceinte géotechnique (paroi moulée bentonite/ciment) du site de Nogent-sur-Seine a été réalisée à la construction de la centrale afin de mettre hors d'eau des fouilles. Elle ceinture les îlots nucléaires et vient s'ancrer dans la craie saine.

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**NOMBRE DE VOILES DE GEOMIX : 85 u**

**PROFONDEUR DE TRAITEMENT : 9 m**

**CIMENT : 332 t**

**ÉPAISSEUR DU MATELAS DE RÉPARTITION : 1 m**

**MATÉRIAU DE MATELAS DE RÉPARTITION : 795 t**

## INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : EDF - CNPE de Nogent-sur-Seine**

**MAÎTRE D'ŒUVRE : EDF - DIPDE (ex GIPN)**

**MAÎTRISE D'ŒUVRE GÉOTECHNIQUE : EDF CEIDRE TEGG (Aix-en-Provence)**

**ENTREPRISE TITULAIRE DU LOT RENFORCEMENT DE SOLS : Soletanche Bachy France**

**BUREAU D'ÉTUDES : Geos Ingénieurs Conseils SA**

## ABSTRACT

### SOIL REINFORCEMENT BY GEOMIX AT NOGENT-SUR-SEINE NUCLEAR POWER STATION

SANDRINE COMBA, EDF DIPNN CEIDRE TEGG - MATTHIEU JACQUET, EDF DIPNN CEIDRE TEGG - IBRAHIM ASRI, SOLETANCHE BACHY - ALAIN MENOIRET, GEOS INGENIEURS CONSEILS (GROUPE INGEROP) - STÉPHANE MONLEAU, SOLETANCHE BACHY

The soil mixing technique used in the Nogent-sur-Seine nuclear power station was very well suited to the geology of the site, namely backfill and alluvia. 85 Geomix shear walls were executed according to an orthogonal grid configuration, with a load distributing mattress covering the gridding, in order to eliminate the risk of soil liquefaction and reduce static and seismo-induced subsidence. This is to secure the superstructure formed by the emergency diesel generating set. The project underwent numerous quality controls establishing a substantial capital of experience feedback on this technique, effective but little used in France. □

### REFUERZO DEL SUELO POR GEOMIX EN LA CENTRAL NUCLEAR DE NOGENT-SUR-SEINE

SANDRINE COMBA, EDF DIPNN CEIDRE TEGG - MATTHIEU JACQUET, EDF DIPNN CEIDRE TEGG - IBRAHIM ASRI, SOLETANCHE BACHY - ALAIN MENOIRET, GEOS INGENIEURS CONSEILS (GROUPE INGEROP) - STÉPHANE MONLEAU, SOLETANCHE BACHY

La técnica de soil mixing utilizada en la central nuclear de producción de electricidad de Nogent-sur-Seine se adaptó muy bien a la geología del emplazamiento, a saber, terraplén y aluviones. La realización de 85 membranas de Geomix basadas en una malla ortogonal, con un colchón de distribución que recubre la cuadrícula, refleja la voluntad de eliminar el riesgo de licuefacción del suelo y reducir los asentamientos estáticos y sísmo-inducidos. Todo ello para proteger la superestructura que soporta el motor diésel de alimentación de emergencia. El proyecto ha sido objeto de numerosos controles de calidad, que han aportado una valiosa información sobre esta técnica, eficaz pero poco utilizada en Francia. □