

Sur le procédé

ACCA®SF

Famille de produit/Procédé : Procédé de renforcement du sol

Titulaire(s) : Société Acces BTP

AVANT-PROPOS

Les avis techniques et les documents techniques d'application, désignés ci-après indifféremment par Avis Techniques, sont destinés à mettre à disposition des acteurs de la construction **des éléments d'appréciation sur l'aptitude à l'emploi des produits ou procédés** dont la constitution ou l'emploi ne relève pas des savoir-faire et pratiques traditionnels.

Le présent document qui en résulte doit être pris comme tel et n'est donc **pas un document de conformité ou à la réglementation ou à un référentiel d'une « marque de qualité »**. Sa validité est décidée indépendamment de celle des pièces justificatives du dossier technique (en particulier les éventuelles attestations réglementaires).

L'Avis Technique est une démarche volontaire du demandeur, qui ne change en rien la répartition des responsabilités des acteurs de la construction. Indépendamment de l'existence ou non de cet Avis Technique, pour chaque ouvrage, les acteurs doivent fournir ou demander, en fonction de leurs rôles, les justificatifs requis.

L'Avis Technique s'adressant à des acteurs réputés connaître les règles de l'art, il n'a pas vocation à contenir d'autres informations que celles relevant du caractère non traditionnel de la technique. Ainsi, pour les aspects du procédé conformes à des règles de l'art reconnues de mise en œuvre ou de dimensionnement, un renvoi à ces règles suffit.

Groupe Spécialisé n° 3.3 - Structures tridimensionnelles, ouvrages de fondation et d'infrastructure

Versions du document

Version	Description	Rapporteur	Président
V1	1 ^{ère} version	PAYET Loïc	BERNARDIN-EZRAN Roseline

Descripteur :

Le procédé ACCA®SF, composé de la résine ACCA®3 , d'ACCES BTP est une technique de récupération des caractéristiques mécaniques et de portance du sol et permet de réduire la conductivité hydraulique par injection de résine expansive. Il consiste à injecter une résine polyuréthane bi-composant à fort pouvoir d'expansion dans les sols d'assise des fondations tout en contrôlant la structure et ses avoisinants par niveau laser. Au-delà des techniques traditionnelles de reprises en sous-œuvre classiques, souvent lourdes à mettre en place, cette technique, moins invasive et plus rapide, permet de reconstituer la capacité portante d'un sol tout en ciblant avec précision la zone d'influence des ouvrages et notamment le bulbe des contraintes verticales.

Ces deux objectifs sont atteints grâce au caractère expansif de la résine qui permet une diffusion en périphérie du point d'injection et du fait de sa polymérisation très rapide (moins de 10 secondes) capable de limiter cette diffusion et densifier le sol. Une fois injectée, la résine durcit au bout d'une minute.

Au cours des injections, l'ouvrage est mis sous monitoring par niveau laser afin de contrôler la réaction ascendante de la superstructure sous l'effet de l'expansion de la résine injectée en sous-œuvre des fondations. Afin d'éviter toute réaction préjudiciable à l'ouvrage traité, des critères d'arrêt sont définis et donnés comme consignes au chef de chantier (variable entre 1 et 2 mm en fonction du type d'ouvrage).

Le procédé peut être appliqué sous des semelles (fondations superficielles et semi-profondes) mais aussi sous des dallages et radiers.

Table des matières

1.	Avis du Groupe Spécialisé.....	4
1.1.	Domaine d'emploi accepté.....	4
1.1.1.	Zone géographique	4
1.1.2.	Ouvrages visés.....	4
1.2.	Appréciation	4
1.2.1.	Aptitude à l'emploi du procédé	4
1.2.2.	Durabilité	5
1.2.3.	Impacts environnementaux.....	5
1.3.	Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé.....	5
2.	Dossier Technique.....	6
2.1.	Mode de commercialisation.....	6
2.2.	Description.....	6
2.2.1.	Principe.....	6
2.2.2.	Caractéristiques des composants	7
2.3.	Dispositions de conception.....	12
2.3.1.	Prescriptions.....	12
2.3.2.	Dimensionnement du procédé	14
2.4.	Dispositions de mise en œuvre.....	16
2.4.1.	Généralités.....	16
2.4.2.	Rôles des intervenants du chantier.....	16
2.4.3.	Phasage d'intervention (voir figures 13 en annexe).....	16
2.4.4.	Contrôles.....	18
2.5.	Maintien en service du produit ou procédé.....	18
2.6.	Traitement en fin de vie.....	19
2.7.	Assistance technique	19
2.8.	Principes de fabrication de la résine et de contrôle de cette fabrication.....	19
2.8.1.	Prescriptions.....	19
2.8.2.	Fabrication (matière première) et contrôles qualité	19
2.8.3.	Contrôle sur chantiers de la résine	20
2.9.	Mention des justificatifs	21
2.9.1.	Résultats expérimentaux	21
2.9.2.	Références chantiers	21
2.10.	Annexe du Dossier Technique – Schémas de mise en œuvre.....	22

1. Avis du Groupe Spécialisé

Le procédé décrit au chapitre II « Dossier Technique » ci-après a été examiné par le Groupe Spécialisé qui a conclu favorablement à son aptitude à l'emploi dans les conditions définies ci-après :

1.1. Domaine d'emploi accepté

1.1.1. Zone géographique

Cet avis est formulé pour les utilisations en France métropolitaine avec possibilité d'emploi en zones de sismicité 1 à 4 (selon l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié) moyennant le respect des dispositions prévues au § 2.3.1.

1.1.2. Ouvrages visés

Le domaine d'emploi accepté pour ce procédé est limité à la récupération des caractéristiques mécaniques et de portance du sol et permet de réduire la conductivité hydraulique, sous des fondations superficielles (semelles filantes et isolées au sens du NF DTU 13.1), des fondations semi-profondes (massifs), des radiers et des dallages armés ou non armés (au sens du NF DTU 13.3) d'ouvrages existants de bâtiment.

Des données portant sur les sols, sur les fondations, sur la structure de l'ouvrage, sur les causes des désordres le cas échéant, doivent être fournies afin de préciser les conditions d'utilisation de ce procédé et les éventuels travaux complémentaires à y associer.

Dans le cas où une augmentation de la capacité portante est revendiquée, des essais devront être réalisés uniquement au pressiomètre ou au pénétromètre statique.

Le procédé ne permet pas de réévaluer la classe de sol.

Lorsque la contrainte moyenne de confinement du sol est supérieure à la pression de gonflement maximale de la résine (11 MPa), l'utilisation du procédé ACCA®SF pour consolider le sol n'est pas possible.

Le procédé est applicable dans tous les types de sols, en présence ou non d'une nappe (possibilité d'injection dans des sols saturés) à l'exclusion des types de sols suivants :

- Sols argileux dont les minéraux sont particulièrement sujets aux retraits gonflements inter-foliaires de forte amplitude (smectites, ...) : à défaut d'une analyse minéralogique, sol dont l'indice de plasticité I_p est supérieur à 40 ou la valeur de bleu VBS est supérieure à 8. ;
- Sols compressibles sensibles aux phénomènes de consolidation secondaire : sols à teneur en matière organique supérieure à 10% (tourbes, vases, ...) ;
- Sols rocheux ;
- Sols gelés.

En cas de présence d'une couche drainante et d'un réseau de drainage sous dallage ou sous fondation, l'utilisation du procédé de traitement de sol par injection de résine est exclue.

L'injection de la résine est limitée à une profondeur de 8,0 m par rapport à la plate-forme de travail.

Le dimensionnement, la mise en œuvre et les auto-contrôles de mise en œuvre sont réalisés exclusivement par la société Acces BTP.

1.2. Appréciation

1.2.1. Aptitude à l'emploi du procédé

Stabilité

La consolidation et le traitement du sol d'assise des ouvrages existants de bâtiment par le procédé ACCA®SF peuvent être considérés comme normalement assurés pour le domaine d'emploi accepté dans la mesure où la conception et la mise en œuvre respectent les prescriptions aux §2.3 et 2.4.

Pose en zones sismiques

Etant donné que le traitement des sols par injection de résine expansive selon le procédé ACCA®SF a pour effet de reconsolider les sols par redensification de la masse structurée du sol injecté (et augmentation de la résistance au cisaillement du sol), l'utilisation du procédé de traitement par injection ne présente pas de risque d'amplification des sollicitations sismiques.

L'utilisation en zones sismiques 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié est donc possible moyennant le respect des dispositions prévues au § 2.3.1.

Prévention des accidents lors de la mise en œuvre

Elle peut être normalement assurée moyennant l'application des mesures de protection habituelles pour les travaux de perforation et d'injection (gants, lunettes, masques, ...) et des conseils de prudence mentionnés dans les Fiches de Données de Sécurité (FDS) des composants de la résine.

Aspects sanitaires

Le présent avis est formulé au regard de l'engagement écrit du titulaire de respecter la réglementation, et notamment l'ensemble des obligations réglementaires relatives aux produits pouvant contenir des substances dangereuses, pour leur fabrication, leur intégration dans les ouvrages du domaine d'emploi accepté et l'exploitation de ceux-ci. Le contrôle des informations et déclarations délivrées en application des réglementations en vigueur n'entre pas dans le champ du présent avis. Le titulaire du présent avis conserve l'entière responsabilité de ces informations et déclarations.

1.2.2. Durabilité

Conformément au §2.3 de la norme NF EN 1997-1, la durabilité de la résine doit tenir compte des agents agressifs de l'eau et du terrain (acides, ...), des attaques chimiques (percolation de l'eau et de l'oxygène, ...) et des attaques biologiques (champignons et bactéries).

1.2.3. Impacts environnementaux

Le procédé ACCA®SF ne dispose d'aucune Déclaration Environnementale (DE) vérifiée par tierce partie et ne peut donc revendiquer aucune performance environnementale particulière. Il est rappelé que les DE n'entrent pas dans le champ d'examen d'aptitude à l'emploi du procédé.

1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Le Groupe Spécialisé n°3.3 tient à souligner que le traitement de sol par injection de résine est une technique pour laquelle il n'est pas possible de garantir l'absence d'apparition de fissures sur les ouvrages en béton ou en maçonnerie durant les travaux d'injection.

Il est souligné que le traitement de sol par injection sous un ouvrage existant quelle que soit la technique d'injection utilisée, doit faire suite à un diagnostic préalable de qualification de cet ouvrage (identification de la nature et la cause des désordres observés, description du système constructif et de la nature des matériaux constructifs, détermination de la descente de charge, ...). L'attention du Maître d'œuvre est donc attirée sur la nécessité qu'il y a à faire effectuer un diagnostic aussi précis que possible, permettant de dimensionner et de mettre en œuvre le traitement de sol de manière pertinente.

Si l'étude de sol réalisée avant l'intervention mentionne le manque de portance du sol, des essais pénétrométriques statiques et/ou des essais pressiométrique doivent aussi être réalisés après traitement.

L'application du procédé de consolidation du sol sous les fondations (ou les dallages), ne confère pas à lui seul une rigidité supplémentaire à la structure de l'ouvrage qui peut parfois nécessiter des travaux complémentaires.

En cas de déficiences structurelles pouvant entraîner des risques au niveau de la stabilité de l'ouvrage, un bureau d'études spécialisé doit se prononcer sur les travaux de rigidification nécessaires devant être entrepris en complément des injections.

Le Groupe attire l'attention sur les essais de vieillissement réalisés qui ne permettent pas d'appréhender le vieillissement naturel de la résine dans le sol et d'en déduire une méthodologie de prédiction de la durée de vie du procédé.

Le Groupe attire l'attention sur l'absence de retour d'expérience sur les conditions de polymérisation de la résine dans les sols particuliers (ex. : sols pollués, ...).

Des dossiers d'ouvrages traités doivent être communiqués à minima une fois par an au CSTB par ACCES BTP pour vérification du respect des prescriptions de l'Avis Technique.

2. Dossier Technique

Issu des éléments fournis par le titulaire et des prescriptions du Groupe Spécialisé acceptées par le titulaire

2.1. Mode de commercialisation

Le procédé d'injection de résine expansive ACCA®SF est commercialisé et mis en œuvre par ACCES BTP. Son application est assurée par ses propres équipes composées de chefs d'équipes et de techniciens chantiers.

2.2. Description

2.2.1. Principe

Le procédé ACCA®SF d'ACCES BTP est une technique de récupération des caractéristiques mécaniques et de portance du sol et permet de réduire la conductivité hydraulique par une injection de résine expansive. Il consiste à injecter une résine polyuréthane bi-composant à fort pouvoir d'expansion dans les sols d'assise des fondations tout en contrôlant la structure et ses avoisinants par niveau laser. Au-delà des techniques traditionnelles de reprises en sous-œuvre classiques, cette technique permet de reconstituer la capacité portante d'un sol tout en ciblant avec précision la zone d'influence des ouvrages et notamment le bulbe des contraintes verticales.

Ces deux objectifs sont atteints grâce au caractère expansif de la résine qui permet une diffusion en périphérie du point d'injection et du fait de sa polymérisation très rapide (moins de 10 secondes) capable de limiter cette diffusion et densifier le sol. Une fois injectée, la résine durcit au bout d'une minute.

Au cours des injections, l'ouvrage est mis sous monitoring par niveau laser afin de contrôler la réaction ascendante de la superstructure sous l'effet de l'expansion de la résine injectée en sous-œuvre des fondations. Afin d'éviter toute réaction préjudiciable à l'ouvrage traité, des critères d'arrêt sont définis et donnés comme consignes au chef de chantier (variable entre 1 et 2 mm en fonction du type d'ouvrage).

Les injections permettent de retrouver les caractéristiques mécaniques (augmentation de la capacité portante en cas de défaut ou revalorisation de portance) et hydrauliques (traitement des sols fins sensibles aux phénomènes de retrait-gonflement) des sols traités.

Ce procédé s'inscrit dans la norme NF EN 12715 relative aux « Exécutions de Travaux Géotechniques Spéciaux – Injection ». La présente norme définit l'injection à des fins géotechniques (injection géotechnique) comme un procédé qui consiste à introduire à distance un matériau dans le terrain pouvant être pompé. La maîtrise est assurée indirectement en ajustant les caractéristiques rhéologiques du fluide pompé et en intervenant sur les paramètres de mise en place (pression, volume et débit). Elle s'applique aux principes et méthodes géotechniques suivants :

- Injection avec déplacement des terrains (injection solide, fracturation hydraulique) ;
- Injection sans déplacement des terrains (imprégnation, injection de fissures, injection de comblement).

Selon la norme NF EN 12715, ce procédé présente à la fois les avantages des injections avec et sans déplacement. Cependant, il se distingue par :

- L'usage de résine (ACCA®3) à forte capacité expansive (plus de 5.5 fois son volume initial sans confinement) et un temps de réaction rapide (au bout de quelques secondes après polymérisation) ;
- La capacité à appliquer au sol traité une pression de gonflement pouvant atteindre 11 MPa ;
- Sa mise en œuvre facile, rapide et peu invasive avec l'utilisation exclusive de matériels légers et portatifs.

Concernant ce procédé ACCA®SF, les pathologies régulièrement rencontrées et pouvant se régler au moyen d'injections de résine dans le sol sont de diverses natures, telles que :

- Défaut de conception des ouvrages (fondations superficielles sous-dimensionnées) ;
- Migration des fines, lessivage des sols (fuites de réseaux, inondations...) ;
- Défaut de portance (sols décomprimés) ;
- Défaut de compactage de couche d'assise ;
- Hétérogénéité de consistance ;
- Présence de vides ;
- Manque de cohésion ;
- Conséquence d'excavation à proximité d'un ouvrage existant (décompression) ;
- Rétractation des sols sous-jacents (sécheresse, proximité de sources de chaleur...).

Les désordres associés sont principalement :

- Affaissements des fondations ;
- Tassements, battements, pianotages de dallages ;
- Fissurations des murs, des dallages ;
- Déplacements et déformations du bâti ;
- Mises en tension des huisseries, de la charpente, des réseaux ...

Le procédé d'injection ACCA®SF d'ACCES BTP peut être appliqué sous des semelles (fondations superficielles et semi-profondes) mais aussi sous des dallages et radiers..



Figure n°1 : Principe d'injection sous fondation (semelles filantes, massifs isolés)



Figure n°2 : Principe d'injection sous dallage ou radier

Afin d'assurer la stabilité de l'ouvrage, le procédé d'injection de résine expansive est mis en œuvre de manière à, selon le cas :

- Homogénéiser la portance ;
- Augmenter la résistance ;
- Améliorer la cohésion ;
- Comblent les vides ;
- Réduire la sensibilité des sols aux phénomènes de retrait-gonflement ;
- Limiter les flux hydriques (en limitant les voies de drainage).

En fonction de la problématique à traiter, l'application du procédé ACCA®SF peut être classifié en deux groupes :

- Application n°1 : Traitement de sol par injection de résine expansive (le cas des sols sensibles aux variations hydriques) ;
- Application n°2 : **Récupération des caractéristiques mécaniques et de portance du sol** par injection de résine expansive (le cas d'une perte de portance).

En cas de faiblesses infrastructurelles (ou structurelles) de l'ouvrage, les injections de résine peuvent, lorsque nécessaire, être couplées à des reprises en sous-œuvre (semelles, longrines, etc.) ou divers travaux de rigidification.

2.2.2. Caractéristiques des composants

2.2.2.1. Caractéristiques des composants de base de la résine ACCA®3

La résine ACCA®3 est une résine d'injection à deux composants (composant A et composant B) à réaction extrêmement rapide, exemptes de CFC (chlorofluorocarbures) et d'halogènes (fluor, chlore, brome, iode, astate).

Le composant A est un mélange de différents polyols et d'additifs qui réagit avec le composant B (isocyanate) pour former une résine polyuréthane dure et résistante.

Le mélange, de couleur brune, présente une masse volumique à l'état liquide de 1120 kg/m³ environ. Lorsque le produit est injecté, il mousse et durcit, rapidement pour former une mousse polyuréthane rigide, dure, dense et à haute résistance à la compression.

La résine ACCA®3 a une réaction rapide, moussante avec un facteur d'expansion volumétrique très grand, même en cas de réaction avec de l'eau dans la zone injectée. Le produit final doit être appliqué avec une température comprise entre 15°C et 40°C.

2.2.2.2. Caractéristiques de la résine ACCA®3

La résine polyuréthane expansive bi-composant utilisée dans le procédé est l'ACCA®3 qui appartient à la famille des polymères rigides à cellules fermées avec une distribution relativement uniforme dont la taille est fonction du poids volumique (Figure n°3). Cette résine se classe dans la catégorie des polymères réticulés thermodurcis. Elle est produite à la suite d'une réaction

exothermique de polymérisation entre deux composants mélangés dans des proportions volumétriques spécifiques. En conditions d'expansion libre, la résine peut atteindre un volume jusqu'à plus de 5,5 fois celui du mélange initial, permettant la consolidation des sols. La masse volumique du mélange à l'état liquide, établie à 1120 kg/m^3 , constitue une référence. En revanche, la résine expansée présente une densité réduite, influencée par la pression de gonflement. Cette variabilité de densité souligne la flexibilité de la résine ACCA®3, adaptable aux exigences spécifiques de diverses applications géotechniques et de construction.

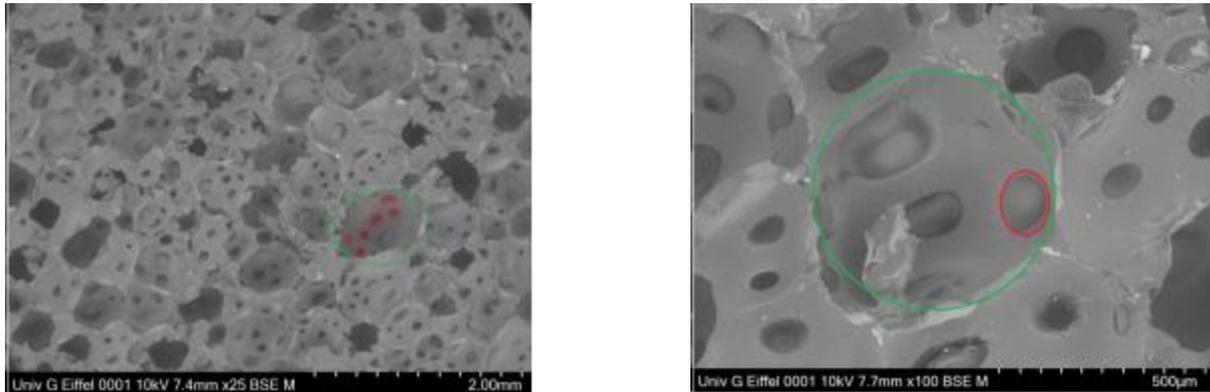


Figure n°3 : Gros plan des échantillons de résine ACCA®3 de poids volumique $1,31 \text{ kN/m}^3$. Ces images obtenues au microscope électronique à balayage révèlent la microstructure à cellules fermées et montrent les pores fermés (lignes vertes) et les ouvertures de pores aussi fermés (lignes en rouge).

2.2.2.2.1. Caractéristiques physico-mécaniques de la résine ACCA®3

La détermination des caractéristiques physico-mécaniques de la résine expansive ACCA®3 a nécessité la réalisation de plusieurs essais en laboratoire conformément aux normes internationales en vigueur ci-dessous :

- [1] : ISO 1209-1 – Mai 2007 – Rigid cellular plastics : Determination of flexural proprieties – Part 1 – Basic bending test ;
- [2] : ISO 1209-2 – Mai 2007 – Rigid cellular plastics : Determination of flexural proprieties – Part 2 – Determination of flexural of strength and apparent flexural modulus of elasticity ;
- [3] : ISO 1926 – Décembre 2009 – Plastiques alvéolaires : Détermination des caractéristiques en traction ;
- [4] : ISO 2796 – Août 1986 – Plastiques alvéolaires rigides : essai de stabilité dimensionnelle ;
- [5] : NF EN ISO 844 – Mars 2021 – Plastiques alvéolaires rigides : Détermination des caractéristiques de compression.
- [6] : NF ISO 7850 Plastiques alvéolaires rigides – Détermination du fluage en compression.

2.2.2.2.1.1. La loi d'expansion de la résine ACCA®3

La pression de gonflement a été déterminé sur la base d'essais pour une gamme de poids volumique des échantillons testés variant entre $1,77 \text{ kN/m}^3$ et $8,57 \text{ kN/m}^3$. L'évolution de la pression d'expansion maximale en fonction du poids volumique est traduite sur le graphique ci-dessous :

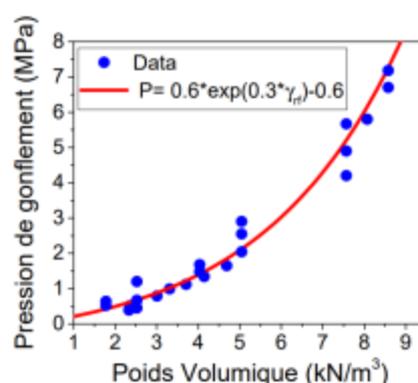


Figure n°4 : Pression de gonflement maximale en fonction du poids volumique final de l'échantillon.

Il a été constaté que la pression d'expansion varie en fonction de la densité finale de la résine, oscillant entre 0,50 et 7 MPa dans la plage de poids volumique spécifique étudiée ($\gamma_{rf} = 1,7$ à $8,5 \text{ kN/m}^3$). Ces valeurs donnent une indication sur la pression que la résine peut générer lorsqu'elle est injectée dans le sol. Il convient cependant de rappeler que selon les indications du fabricant, la pression de gonflement peut atteindre 11 MPa. La pression d'expansion de la résine est influencée par l'état de contrainte dans lequel se produit la réaction de polymérisation, le poids spécifique de la résine, ainsi que son degré d'expansion volumétrique mesuré à la fin du processus.

L'évolution du facteur de mousse ou d'expansion volumétrique définie comme le rapport V_{rf}/V_{ri} en fonction de la pression de gonflement (où V_{rf} représente le volume de la résine après expansion et V_{ri} le volume initial du mélange bi-composant) est représentée par la figure n°5 ci-dessous.

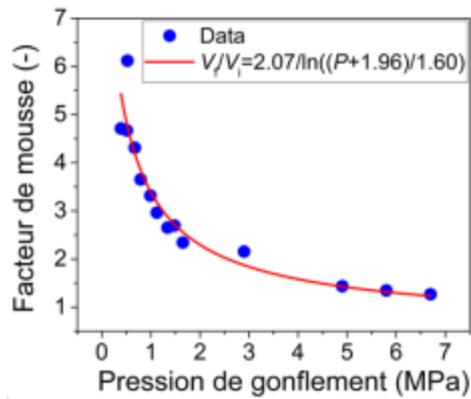


Figure n°5 : Facteur de mousse ou rapport de gonflement en fonction de la pression de gonflement.

2.2.2.2.1.2. Résistance à la compression

Les propriétés mécaniques statiques de la résine ACCA®3 ont été déterminés au travers d'essais statiques de compression uniaxiale conformément à la norme "NF EN ISO 844-Mars 2021". L'expérimentation a impliqué l'utilisation d'échantillons cubiques de 50 mm de côté, avec des poids volumiques γ_{rf} variant entre 2,3 kN/m³ et 11,3 kN/m³.

La figure n°6 montre l'évolution de cette résistance à la compression correspondante à une déformation de 1% en fonction du poids volumique de la résine.

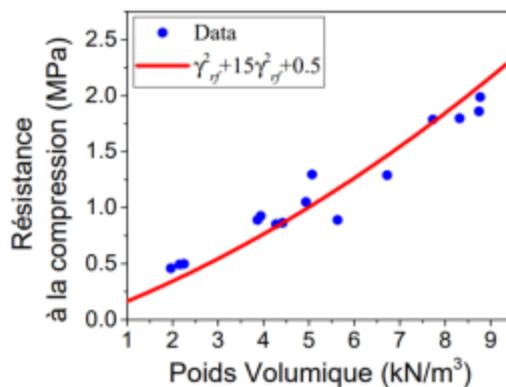


Figure n°6 : Résistance de compression à 1% de déformation en fonction du poids volumique

Pour des déformations beaucoup plus élevées, la courbe contrainte-déformation se poursuit jusqu'à la rupture. Les résultats présentés sur la figure n°7 révèlent une corrélation significative entre la contrainte maximale de compression (à la rupture) du mélange expansé et son poids volumique.

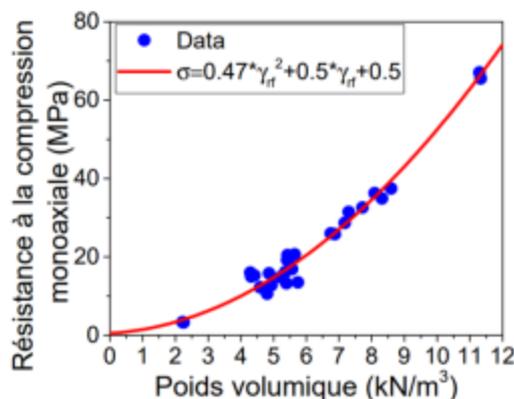


Figure n°7 : Contrainte maximale à la compression en fonction du poids volumique de la résine finale γ_{rf}

2.2.2.2.1.3. Module d'élasticité

Les résultats précédents ont permis de calculer le module d'élasticité pour une déformation verticale de 1%. Les valeurs obtenues varient dans une fourchette allant de 45 à 198 MPa pour des résines de poids volumique γ_{rf} variant entre 2,3 kN/m³ et 11,3 kN/m³. Cette variabilité démontre la sensibilité du module d'élasticité de la résine ACCA®3 aux différentes conditions de poids volumique, mettant en évidence son comportement élastique sous des charges spécifiques (cf. Figure n°8).

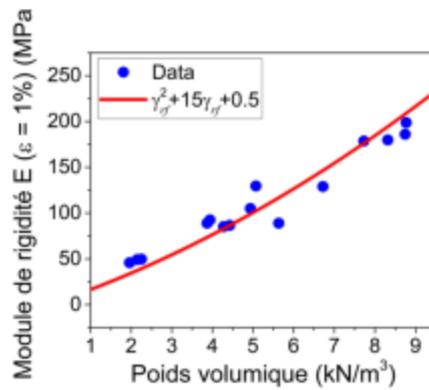


Figure n°8 : Module de rigidité ou élastique à ε = 1% en fonction du poids volumique

2.2.2.2.1.4. Résistance à la traction

La résistance à la traction de la résine ACCA®3 a fait l'objet d'une évaluation selon de la norme ISO 1926 : 2009. Cette analyse a été menée pour trois poids volumiques différents : 3,72 kN/m³, 4,65 kN/m³ et 5,85 kN/m³. Les éprouvettes sont conditionnées durant 6h sous une température de 23°C et une humidité relative de 55%. Les résultats obtenus, présentés dans le tableau n°1 :

Poids volumique final de la résine γ_{rf} (kN/m³)	Résistance à la traction (MPa)
3,72	4,5
4,65	6,5
5,85	8,9

Tableau n°1 : Résistance maximale (rupture) à la traction de la résine ACCA®3 pour 3 poids volumiques

2.2.2.2.1.5. Résistance à la flexion

La résistance à la flexion à trois points de la résine ACCA®3 a été soumise à une évaluation conforme à la norme "ISO 1209-1-Mai 2007". L'expérimentation a été réalisée avec des poids volumiques variant entre 2,3 kN/m³ et 11,9 kN/m³. La résistance maximale à la flexion est déterminée en fonction du poids volumique de la résine (figure n°9).

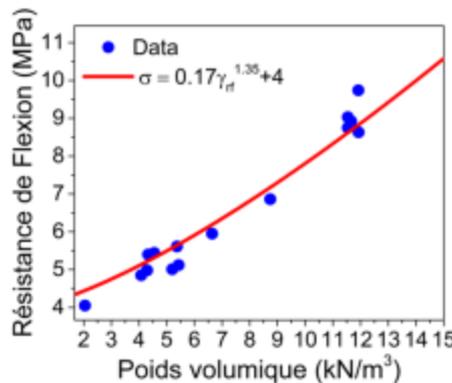


Figure n°9 : Résistance à la flexion maximale (rupture) en fonction du poids volumique de la résine finale γ_{rf}

2.2.2.2.2. Perméabilité

Il a été réalisé des essais de conductivité à l'air sur la résine pure, affichant un poids volumique de 2,2 kN/m³. Les résultats ont montré des valeurs de perméabilité entre 10⁻⁹ et 10⁻¹¹ m/s, révélant ainsi une porosité interconnectée très limitée. Ces résultats confirment la prédominance de la structure de la résine en alvéoles fermées, imperméables à l'air et par conséquent, à l'eau comme démontre l'image de la figure n°3. En outre, suite à l'immersion de la résine dans l'eau et dans une huile silicone de très faible viscosité, aucun phénomène de remontée capillaire n'a été observé dans la masse.

Ces observations soulignent que, dans des conditions naturelles et en l'absence de défauts, la résine ACCA®3 peut être considérée comme imperméable et étanche à l'eau.

2.2.2.2.3. Durabilité de la résine expansive ACCA®3

Une fois la réaction terminée, les résines doivent être protégées des rayons UV directs pour rester inertes et conserver ses propriétés inaltérées dans le temps. Sous l'influence d'actions prévisibles comme les charges statiques à long terme et de substances et produits chimiques normalement présents dans les sols, plusieurs tests ont été réalisés pour éprouver la durabilité de la résine ACCA®3.

2.2.2.2.3.1. Comportement à long terme sous charges statiques constantes

Les informations fournies sur la figure n°10 représentent les résultats d'un test examinant le comportement à long terme de la résine sous des charges constantes. Ces échantillons, ayant différentes densités, ont été soumis à quatre phases de chargement d'une durée de 20 jours chacune, avec des contraintes qui varient entre 160 et 800 kPa.

Les déformations verticales mesurées sont présentées dans sur la figure ci-dessous.

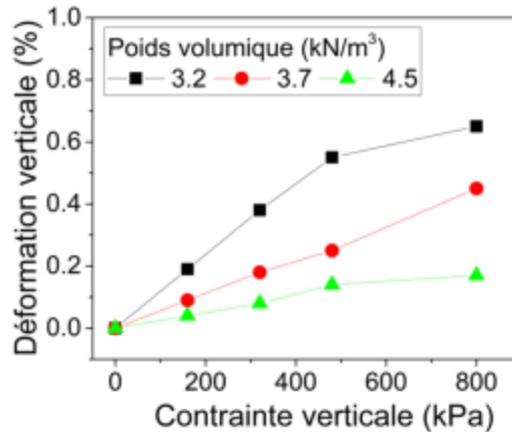


Figure n°10 : Evolution de la déformation en fonction de la contrainte appliquée pour trois résines de poids volumique différent.

Les observations indiquent que les déformations demeurent négligeables, inférieures à 0,8%. Cette constatation démontre que la résine conserve sa stabilité structurale malgré les charges appliquées, avec des niveaux de déformation faibles. En résumé, ces résultats démontrent la capacité de la résine à maintenir son intégrité sous des charges constantes sur une période prolongée, ce qui la rend adaptée pour des applications nécessitant une résistance à long terme.

2.2.2.2.3.2. Stabilité dimensionnelle

Cet essai vise à mesurer les variations dimensionnelles résultant des variations d'humidité relative et de température, conformément à la norme ISO 2796-Août 1986. Trois éprouvettes de dimensions $L = 100$ mm de longueur, $l = 100$ mm de largeur et $e = 25$ mm d'épaisseur, avec des poids volumiques de $3,2$ kN/m³, $3,7$ kN/m³ et $4,5$ kN/m³ sont utilisées. Pour chaque éprouvette, les variations moyennes dans chaque direction sont mesurées au bout de 20 h, 48 h, 7 jours et 28 jours.

Il est noté qu'à des températures de -10°C et 23°C , aucune variation dimensionnelle n'est observée, que ce soit en termes de longueur, de largeur ou d'épaisseur de l'éprouvette, quel que soit l'environnement (sec ou avec un taux d'humidité de 95%).

Cependant, à une température de 70°C dans un environnement à 95% d'humidité relative, un très faible rétrécissement, avec des variations inférieures à 0,01%, est observé pour les résines ayant un poids volumique de $3,2$ kN/m³ et $3,7$ kN/m³. En revanche, la résine ayant un poids volumique de $4,5$ kN/m³ reste quant à elle intacte, sans observer de variations dimensionnelles significatives.

2.2.2.2.3.3. Comportement sous charges dynamiques

Ces essais ont été réalisés sur des échantillons cubiques, de 50 mm de côté, soumis à des essais de compressions dynamiques cycliques à 1% de déformation, avec une fréquence de 2 Hz et un nombre de cycles de chargement/déchargement fixé à 15000. Dans ces conditions où le chargement en compression est maintenu constant, la direction de la traverse mobile est inversée lorsque le déplacement atteint une valeur de 0,05 mm. La contrainte de confinement latérale a été maintenue nulle afin de simuler l'application de la résine à une faible profondeur dans le sol.

Les essais ont été réalisés sur des échantillons de trois poids volumiques différents ($3,2$; $3,7$ et $4,5$ kN/m³). Ainsi, pour chaque essai, le module de résistance de la résine a été déterminé.

Poids volumique final de la résine γ_{rr} (kN/m ³)	Module de résistance (MPa)	Module de résistance moyen (MPa)
3,2	52,75	50,6
	48,52	
3,7	78,34	73,7
	69,17	
4,5	94,53	99,8
	105,06	

Tableau n°2 : Modules de résistance sous charge cyclique de la résine ACCA®3 pour 3 poids volumiques

2.2.2.2.3.4. Résistance aux champignons et bactéries

La résine ACCA®3 a fait l'objet de tests de résistance aux attaques de micro-organismes tels que les champignons et les bactéries. Il en résulte que la résine est capable de résister indemne aux attaques des champignons et des bactéries.

En résumé, le matériau lui-même n'est pas un substrat « fertile » et n'est pas biologiquement dégradé par des agents naturels. Il peut être considéré comme un substrat biologiquement inerte ne servant ni de nutriment ni de substrat pour la fixation d'agents biologiques.

2.2.2.2.3.5. Résistance aux produits chimiques

Afin de déterminer la durabilité de la résine ACCA®3 aux agents chimiques, des échantillons de résines durcis ont été mis en immersion dans différents produits chimiques pendant 168 heures (1 semaine) à température ambiante, suivi d'un séchage de 48 heures (2 jours). Pour attribuer la classification présentée dans les tableaux ci-dessous, l'aspect visuel, la résistance à la compression à 10% de déformation et le module d'élasticité équivalent ont été mesurés avant et après immersion.

Noms produits chimiques	Classification	Noms produits chimiques	Classification	Noms produits chimiques	Classification	Noms produits chimiques	Classification
Acide acétique 10%	3	Gazole	5	JP - 4 Carburant	5	Propane	5
Acide acétique 2%	4	Diéthylamine	3	JP - 5 Carburant	5	Eau de mer	5
Acide acétique 20 - 80%	2	Di isobutyl cétone	5	Kérosène	5	Bicarbonate de sodium 10%	5
Acétone 100 %	2	Di isobutylène	5	Huile de lin	5	Chlorure de sodium aqueux 10%	5
Acétone 40 %	5	Carbonate de diméthyle	4	Sels de manganèse 10%	5	Hydroxyde de sodium 10%	5
Alcool	5	Eau distillée	4	Mercuré	5	Hydroxyde de sodium 100%	5
Eau ammoniacale	5	Acétate d'éthyle	3	Méthanol	2	Hydroxyde de sodium 25%	5
Hydroxyde d'ammonium 10%	5	Éthanol	4	Alcool de méthyle	4	Acide stéarique	5
Hydroxyde d'ammonium 100%	4	Éthylène glycol 100%	4	Méthyléthylcétone	2	Styrène	5
Sulfate d'ammonium 2%	5	Acides gras	5	Dichlorométhane	3	Acide sulfurique 10%	5
Acétate d'amyle	4	Engrais 10%	5	Lait	5	Acide sulfurique 100%	1
Benzène	5	Formaldéhyde	4	Huiles minérales	5	Acide tanrique 10%	3
Chlorure de benzyle	5	Acide formique 10%	3	Alcool minéral	5	Tétrahydrofuranne	0
Blanchir	3	Essence	5	Mortier, ciment, chaux	5	Toluène	5
Borax	5	Polyéther d'essence	5	Huile moteur	5	Trichloréthylène	3
Liquide de frein	2	Huile pour engrenages jusqu'à 80°C	5	Naphte	3	Térébenthine	3
Saumure 10%	5	Gélatine	5	Acide nitrique 10%	2	Urée	3
Saumure saturée	5	Glycérine 50%	5	Acide nitrique 100%	1	Vaseline	5
Butane	5	Glycol 50%	3	Acide oléique	5	Huile végétale	5
Butanol	5	Hexane	3	Ortho-dichlorobenzène	5	Eaux usées	3
Acétate de butyle	4	Acide chlorhydrique 10%	3	Pétrole 10%	5	Alcool blanc	4
Tétrachlorure de carbone	5	Acide chlorhydrique 30%	1	Acide phosphorique 10%	4	Xylène	2
Acide carbonique	5	Peroxyde d'hydrogène 3%	3	Chlorate de potassium 5%	4	Chlorure de zinc 10%	3
Chlorobenzène	4	Superoxyde d'hydrogène 0,5	5	Chlorure de potassium	5	Hydroxyde de potassium 1%	5
Acide citrique 10%	5	Alcool isopropylique	2				

Tableau n°3 : Résistance aux produits chimiques (définition de la classification donnée ci-dessous)

La définition des différentes échelles de durabilité est donnée dans le tableau ci-après associant chaque note de classification à la perte de volume et de propriétés correspondant :

Classification	Perte de propriétés	Perte de volume
5 Excellente résistance	< 10%	<3%
4 Bonne résistance	< 20% - >10%	>3% - <6%
3 Moyenne Résistance	< 40% - > 20%	>6% - <15%
2 Faible résistance	< 60% - > 40%	>15% - <25%
1 - 0 Attaque chimique grave	> 60%	>25%

Tableau n°4 : Légende tableau résistance aux produits chimiques

Il convient de noter que les propriétés de la résine ne sont affectées que lorsque soumise à des produits purs et très concentrés. Ce type de concentration ne peut pas être rencontré dans le milieu naturel. Pour le traitement des sols pollués se référer au § 2.3.1.3.

Dès lors, dans des conditions souterraines normales, en contact avec des substances et des produits chimiques normalement présents dans les sols, le fabricant a indiqué qu'il est très probable que le matériau durci restera inchangé pendant la durée de vie normale des ouvrages, généralement de 50 ans, en l'absence d'effets thermiques, chimiques ou physiques inhabituels.

2.3. Dispositions de conception

La conception du procédé s'inscrit dans le cadre la norme NF P 94-261.

2.3.1. Prescriptions

2.3.1.1. Prescriptions générales

Les fondations doivent faire l'objet d'une reconnaissance précise afin d'identifier leur nature, leurs caractéristiques géométriques (épaisseurs, débords, ...), leur implantation et leur profondeur d'assise.

Il convient également de repérer l'existence, l'emplacement et l'état de toutes les structures adjacentes, par exemple bâtiments, routes, réseaux, infrastructures et leurs fondations.

Le diagnostic de la structure de l'ouvrage doit préalablement être réalisé par un bureau d'étude structure afin d'identifier la nature et la cause des désordres observés, la description du système constructif et la nature des matériaux constructifs en tenant compte de la destination de l'ouvrage et des contraintes particulières liées à son fonctionnement. La descente de charge sur les fondations doit également être déterminée avec précision ainsi que l'état des contraintes en place dans le sol d'assise.

Il convient de justifier l'aptitude de la structure à supporter ponctuellement et sans dommages une réaction verticale liée aux travaux d'injection.

Le diagnostic de l'ouvrage doit fournir les déformations admissibles par la structure (en tenant compte de la présence éventuelle de revêtements fragiles) et par les ouvrages d'infrastructure situés à proximité de la zone de traitement (murs enterrés, ...).

Les objectifs d'injection du sol à atteindre (capacité portante, module de déformation) doivent être déterminés à partir des résultats de l'étude géotechnique et du diagnostic de l'ouvrage (descente de charge sur les fondations).

Avant toute intervention, il convient également de réaliser une détection préalable des réseaux enterrés (nature et emplacement) ainsi que des ouvrages en infrastructure (nature, caractéristiques géométriques, etc...) afin d'adapter en conséquence le positionnement des points d'injection.

A partir des résultats de l'étude de sol, du diagnostic de l'ouvrage et donc des objectifs de traitement à atteindre, le maillage des points d'injection (nombre de niveau d'injection, espacement entre les points, ...) doit être prédéterminé suivant les prescriptions ci-après.

Dans le cas des dallages, à défaut de justifications particulières (réalisation d'essais d'injection grandeur nature et vérification de l'influence du traitement de sol par injection sur le comportement mécanique et l'intégrité du dallage), le maillage des points d'injection ne doit pas être supérieur à 2 m x 2 m.

Avant les travaux d'injection, des essais mécaniques de contrôle in situ devront être réalisés sur la profondeur de sol à traiter. Il conviendra de prévoir un point de sondage tous les 20 ml de fondations ou tous les 100 m² de radiers / de dallages avec au minimum deux points de sondage.

Après les travaux d'injection, des essais mécaniques de contrôle in situ seront réalisés dans les mêmes conditions (type pénétromètre dynamique et nombre d'essais identiques), et au plus près des sondages avant injections afin d'être en mesure de comparer les résultats. Ces essais de contrôles devront être réalisés au droit des fondations et dans le cas des dallages ou des radiers être situés au centre du maillage d'injection.

L'objectif de ces essais de contrôle avant / après injection est une estimation comparative du traitement de sol et la validation de l'atteinte des objectifs fixés. Dans le cas où ces objectifs ne sont pas atteints, il conviendra de prévoir la réalisation d'injections complémentaires en introduisant des points d'injection intermédiaires par rapport au maillage initial (doublage du maillage). Des essais de contrôle devront être à nouveau réalisés dans les conditions définies ci-dessus.

Le principe de dimensionnement du procédé ACCA®SF est le dimensionnement par expérimentation.

Les volumes injectés sont égaux au maximum admissible par le sol jusqu'à la détection d'un mouvement ascendant de l'ouvrage, ce mouvement ne se produisant qu'après une saturation du sol en résine et une amélioration optimale de la contrainte horizontale du sol.

Dans le cas d'un objectif à atteindre d'amélioration des caractéristiques mécaniques du sol, un prédimensionnement doit être réalisé par le titulaire conformément aux prescriptions du §2.3.2.2 qui suivent en tenant compte du maillage prédéfini, des caractéristiques du sol (étude géotechnique) et de la descente de charge (diagnostic de l'ouvrage) afin d'estimer le volume de résine nécessaire et de déterminer à minima le taux d'amélioration de la capacité portante d'origine du sol.

Les essais de contrôles doivent être réalisés au droit des fondations.

Dans le cas des dallages ou des radiers, les essais de contrôle doivent être situés au centre du maillage d'injection.

Dans le cas où une capacité portante doit être recalculée (récupération de la capacité portante), la détermination des caractéristiques mécaniques du sol après injection du procédé ACCA®SF est réalisée sur la base d'essais pénétrométriques statiques et/ou pressiométriques.

Dans le cas où le tassement doit être estimé, il convient de réaliser des essais pressiométriques et/ou des essais œdométriques. Ces essais mécaniques doivent être réalisés au droit des zones de sondage géotechnique avant et après injection afin d'être en mesure de comparer les résultats.

Des dossiers d'ouvrages traités doivent être communiqués à minima une fois par an au CSTB par ACCES BTP pour vérification du respect des prescriptions de l'Avis Technique.

2.3.1.2. Traitement des sols sensibles aux phénomènes de retrait-gonflement

La vérification des critères d' I_p maximum de 40 et de VBS maximale de 8 sera basée sur la réalisation d'essai de gonflement à l'œdomètre sur échantillon de sol intact, prélevé à l'appui d'un profil de teneurs en eau en période de déficit hydrique, selon la norme XP P94-091 (Sols : reconnaissance et essais – Essai de gonflement à l'œdomètre – Détermination des déformations par chargement de plusieurs éprouvettes) :

- $\sigma'g < \sigma'vo + \Delta\sigma_z$,
- $R_g \leq 5\%$,

Avec :

- $\sigma'g$ la contrainte de gonflement du sol,
- $\sigma'vo$ la contrainte effective des terres au repos,
- σ_z la contrainte apportée par la fondation dans sa zone d'influence,
- R_g le rapport de gonflement.

Dans le cas des sols argileux, les travaux d'injection doivent être réalisés uniquement après retrait du sol ayant entraîné des désordres sur la structure supportée.

Dans ces sols, il est recommandé de compléter le traitement par une ou plusieurs des solutions décrites ci-après afin de maintenir l'état hydrique du sol traité. Pour cela, l'avis d'un bureau d'étude géotechnique pourra être demandé (Guide Pathologie des bâtiments - La pathologie des fondations superficielles - Diagnostic, réparation et prévention - maisons individuelles et bâtiments assimilés - AQC - Editions CSTB - 2014) :

- Éloignement de la végétation du bâti, création d'un écran anti-racines ;
- Réalisation d'une ceinture étanche autour du bâtiment (trottoir périmétrique par exemple) ;
- Étanchéification des canalisations enterrées ;

- Réalisation d'un dispositif de drainage.

La distance entre les points d'injection ne devra pas excéder 70 cm sur le premier niveau d'injection afin de garantir une saturation à la résine du sol sur toute la zone traitée.

Les ouvrages traités devront faire l'objet d'une période d'observation sur au moins un cycle saisonnier.

2.3.1.3. Traitement des sols pollués

En cas de sols pollués, l'intervention est conditionnée sur la base des résultats d'un diagnostic pollution (*).

Sont considérés comme traitement possible, les sols limités à la présence de polluants de la classe 5 au Tableaux 3 et 4 §2.2.2.3.5 (5 = Excellente résistance et très faible présence de polluants).

En complément, un plot d'essai préalable d'injection doit être réalisé afin de confirmer les conditions de polymérisation de la résine.

(*) : Selon la norme NF X 31-620, parties 1 à 5, concernant les prestations de services relatifs aux sites et sols pollués (étude, ingénierie, réhabilitation de sites pollués et travaux de dépollution), de décembre 2021

2.3.1.4. Prescriptions en zone sismique

Ce procédé ne permet de réévaluer la classe de sol après injection.

2.3.2. Dimensionnement du procédé

Le dimensionnement du procédé est réalisé dans le cadre d'une mission G3 par Acces BTP conformément à la norme NF P 94-500.

Le procédé entre dans le cadre des améliorations de sols avec injections conformément au document du CFMS « Amélioration et renforcement des sols » d'Avril 2018 sous la forme de 3 applications :

- Traitement des sols fins sensibles aux variations hydriques
- Récupération de la portance d'un sol
- Augmentation de la portance d'un sol

2.3.2.1. Application n°1 du procédé ACCA®SF : Traitement des sols fins sensibles aux variations hydriques

Le procédé peut être mis en œuvre de manière à :

- Réduire la sensibilité des sols fins aux variations hydriques en vue de diminuer l'influence des phénomènes de retrait-gonflement sur les ouvrages ;
- Limiter les flux hydriques (en neutralisant les voies de drainage).
- Le maillage du traitement est adapté en fonction de la nature de l'ouvrage et des sols en place. Il suit les principes suivants :
- Sur le plan horizontal : 1 forage tous les 0,50 m à 1,20 m pour les fondations et 1 point tous les 1 à 2 m² pour les dallages/radiers ;
- Sur le plan vertical : 1 point situé directement sous la base de la fondation (à 10 cm sous l'assise de la fondation), puis une série de points espacés de 0,70 à 1,00 m jusqu'à la profondeur de traitement définie dans les études.

Sur la base de notre process interne, la quantité de résine à injecter est définie lors d'un plot d'essai réalisé au démarrage du chantier. Cette approche, basée sur la méthode observationnelle conformément au paragraphe 2.7 de l'Eurocode 7 – Partie 1 – Juin 2005, permet de déterminer la masse volumique, la quantité de résine à injecter et le maillage pour chaque niveau selon un critère d'arrêt basé sur la réaction de l'ouvrage (1 mm). Cependant, une série d'essais pénétromètres est réalisée avant et après injection afin d'apprécier le traitement opéré.

En première approche, les quantités prévisibles sont définies sur la base d'un retour d'expérience sur plusieurs chantiers réalisés par nos soins en fonction de la nature des fondations :

- ▶ Fondations superficielles (semelles filantes, semelles isolées, radier) : 7 kg/m³ à 16 kg/m³ ;
- ▶ Dallage : 3 à 6 kg/m³.

En règle générale, la résine une fois injectée dans des sols fins a tendance à suivre le réseau de fractures préexistantes. D'autre part, elle peut s'étendre aussi dans les fractures créées par l'expansion de la résine lors des injections.

2.3.2.2. Application n°2 du procédé ACCA®SF : Récupération de la portance d'un sol

Cette application peut concerner aussi bien les sols fins que granulaires afin de :

- Homogénéiser la portance des sols d'assise des fondations entre deux points d'un ouvrage ;
- Reconstituer la capacité portante d'un sol d'assise par suite d'arrivées d'eau anarchiques (fuites de réseaux, inondations) qui peuvent lessiver les sols ;
- Comblent les vides (dans les sols et/ou sous l'ouvrage).

Ces problématiques citées ci-dessus sont associées à l'apparition de désordres sur le bâti qui peuvent se manifester sous forme de fissures voire lézardes pouvant rendre inexploitable l'ouvrage. Dans ce cas, le procédé ACCA®SF est mis en œuvre de manière curative.

Pour l'analyse des effets produits par les injections de résines polyuréthanes, les conditions de drainage sont d'une importance capitale. Elles sont également intimement liées à la granulométrie du sol traité. Les sols à grains grossiers sont supposés être en condition drainée, puisque la dissipation des surpressions interstitielles générées par l'expansion du bulbe injecté se révèle très rapide. Dans le cas des sols à grains grossiers (sable moyen/grossier et graviers), la conductivité hydraulique est

suffisamment élevée pour permettre à la résine de pénétrer dans les pores et d'entraîner la formation d'un bulbe constitué d'un mélange sol-résine. L'expansion de ce bulbe se poursuit jusqu'à atteindre des conditions d'équilibre avec les contraintes de confinement générées dans le sol environnant. Dans les sols à grains fins, en revanche, l'expansion de la résine se produit en condition non drainée, avec formation de surpressions interstitielles, dont la dissipation s'effectue dans un laps de temps appréciable. Il s'ensuit, dans ce cas, des variations de l'état de contraintes qui se produisent au fil du temps, et peuvent nécessiter l'exécution d'injections différées dans le temps afin d'atteindre les objectifs de consolidation prédéfinis.

La masse volumique, la quantité de résine et le maillage du traitement sont adaptés en fonction de la nature de l'ouvrage et des sols en place. Il suit les principes suivants :

- Sur le plan horizontal : 1 forage tous les 0,50 m à 1,20 m pour les fondations et 1 point tous les 1 à 2 m² pour les dallages/radiers ;
- Sur le plan vertical : 1 point situé directement sous la base de la fondation (à 10 cm sous l'assise de la fondation), puis une série de points espacés de 0,70 à 1,00 m jusqu'à la profondeur de traitement définie dans les études.

Contrairement à l'application n°1 du procédé, en plus du critère d'arrêt des injections lié à la réaction de l'ouvrage, il faut obtenir des caractéristiques mécaniques post-injection du sol consolidé permettant de justifier une contrainte admissible supérieure ou égale à la contrainte de référence issue de la descente de charges de l'ouvrage. Sur le même principe, la quantité de résine nécessaire pour atteindre cet objectif est aussi déterminée lors du plot d'essai intégré à l'ouvrage réalisé au démarrage du chantier. Sur la base d'un retour d'expérience sur plusieurs chantiers par nos soins, les quantités prévisibles varient entre 7 et 28 kg/m³ en fonction du poids de l'ouvrage, de la nature du sol à traiter.



Depuis l'entrée en vigueur de l'Eurocode 7 plus précisément de la norme d'application nationale (NF P 94-261), la conception et le dimensionnement des fondations n'est plus possible avec les résultats de l'essai de pénétration dynamique. Conformément à la norme NF P 94-261, on peut citer les différentes méthodes de calcul et de dimensionnement des fondations superficielles ci-dessous :

- Méthode pressiométrique (selon l'Annexe D) ;
- Méthode au pénétromètre statique (selon l'annexe E) ;
- Méthode à partir des propriétés de cisaillement du sol (selon l'Annexe F).

Dans notre cas, on s'intéresse intentionnellement à la méthode de calcul de la capacité portante à partir de l'essai pressiométrique.

La définition des objectifs d'amélioration en nombre de coups (N10) et de résistance dynamique de pointe (qd) passe avant tout par la détermination de la pression limite nette équivalente nécessaire pour justifier d'une contrainte admissible post-injection (q_{adm}) supérieure ou égale à la contrainte de référence (q'_{ref}) soumise au sol.

2.3.2.3. Application n°3 du procédé ACCA®SF : Augmentation de la portance d'un sol

Cette application peut concerner aussi bien les sols fins que granulaires afin d'augmenter la cohésion d'un terrain dans le cadre d'une réhabilitation entraînant des augmentations de descentes de charges (suppression/modification de porteurs, surélévations).

Dans cette application revendiquant une augmentation de capacité portante, des essais devront être réalisés uniquement au pressiomètre et/ou au pénétromètre statique.

Taux d'augmentation :

La détermination du taux d'augmentation nécessite une connaissance conjointe de l'étude de sol et de l'étude structurelle et est résumée sur l'algorithme ci-dessous :

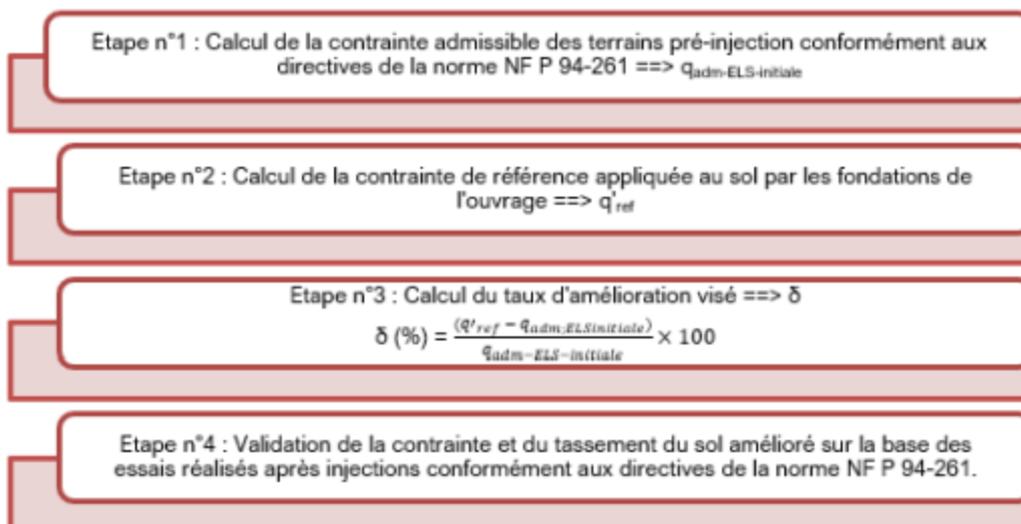


Figure n°11 : Algorithme de détermination du taux d'augmentation

Dans le même principe que les deux autres méthodes, au démarrage du chantier, la masse volumique, la quantité de résine et le maillage sont adaptés pour atteindre les objectifs fixés et qui seront vérifiés par essais mécaniques.

2.4. Dispositions de mise en œuvre

2.4.1. Généralités

La mise en œuvre est effectuée exclusivement par le titulaire. Elle doit être effectuée dans les strictes conditions définies dans les articles suivants, notamment pour ce qui concerne le traçage des lignes et niveaux d'injection sur le secteur à traiter, la perforation (et le respect de leur inclinaison), la mise en place des tubes d'injection et le suivi de la phase d'injection par contrôle laser.

Afin de garantir le positionnement correct des points d'injection, des précautions particulières doivent être adoptées lors du repérage et du traçage des points d'injection ainsi que lors de la réalisation des perforations.

Le repérage et le traçage des points d'injection devront être réalisés à partir d'un plan d'exécution, établi pour chaque chantier, indiquant le positionnement précis de l'ensemble des points d'injection vis-à-vis de l'ouvrage (identification de la zone à traiter, nombre de niveaux d'injection, localisation et espacement des points d'injection par niveau, maillage, ...). Un plan de recollement précisant l'implantation des points d'injection après exécution doit être établi.

Lors des travaux de perforations dans le cas d'injections sous fondations superficielles ou semi-profondes, une attention particulière doit être apportée sur la détermination et le maintien de l'inclinaison des percements. Selon le positionnement des points d'injection, l'inclinaison des percements doit être systématiquement déterminée en fonction de l'encastrement et de la géométrie des fondations (reconnaissance initiale des fondations) à partir d'un trait de niveau référence tracé sur les murs supportés par les fondations et de la localisation du point de percement au niveau de la plateforme de travail.

La tolérance sur le positionnement des points d'injection ne devra pas excéder +/- 10 cm.

Avant toute intervention, il conviendra de vérifier que le repérage des réseaux (nature et emplacement) a correctement été matérialisé.

Dans le cas de la présence d'ouvrage en infrastructure à proximité des zones de sol à traiter (dénivellation de fondation, murs enterrés, ouvrages avoisinants, ...), les points d'injection doivent être situés à une distance minimale d'environ 1 m vis-à-vis de ces ouvrages afin d'éviter toute dégradation sous l'effet de la pression de gonflement générée par le procédé.

En cas de présence de murs enterrés, un contrôle continu des déformations du mur lors des travaux d'injection doit être systématiquement mis en place afin de s'assurer du non-dépassement de la déformation admissible déterminée au préalable par le bureau d'étude structure dans le cadre du diagnostic initial de l'ouvrage.

Chaque injection doit obligatoirement être accompagnée d'un suivi de l'ouvrage par niveau laser afin de détecter tout mouvement vertical de l'ouvrage traité avec une précision de 0,5 mm. La réaction de l'ouvrage doit être mesurée en temps réel et l'ensemble de ces mesures doivent être consignées dans des fiches d'autocontrôle.

Afin de garantir une bonne consolidation du sol d'assise, chaque injection doit être systématiquement poursuivie, indépendamment du volume de résine consommé, jusqu'à détection d'un mouvement ascendant de l'ouvrage.

Dans le cas du traitement du sol d'assise d'une fondation superficielle avec présence d'un dallage, le dallage doit également faire l'objet d'un suivi par niveau laser afin de détecter tout mouvement vertical lors des injections.

En complément des contrôles demandés dans la norme NF EN 12715, les contrôles mentionnés aux § 2.4.4 et 2.8.3 doivent faire l'objet d'un enregistrement dans des fiches d'autocontrôle datées, numérotées et signées par le responsable du contrôle, avec identification du chantier et de la nature du contrôle réalisé, du résultat de contrôle et du traitement décidé en cas de non-conformité.

Ces fiches d'autocontrôle doivent notamment comporter : les mesures du contrôle laser avant et après injection pour chaque point d'injection, la vérification de l'inclinaison avant percement de chaque point d'injection, le suivi de l'état de dégradation de l'ouvrage supporté, le suivi de la déformation des réseaux et des murs enterrés éventuels, le volume de résine consommé pour chaque injection, le résultat du contrôle visuel quotidien de la polymérisation à l'air libre de la résine (couleur, texture, vitesse de polymérisation, absence de résidus...), le résultat de la vérification de la conformité de la pression et de la température au niveau du camion atelier.

À la suite des travaux de traitement du sol par injection de résine, il est nécessaire de respecter une période d'observation et de stabilisation d'une année avant travaux de reprise des fissures et des enduits.

2.4.2. Rôles des intervenants du chantier

En plus des différentes étapes présentées ci-dessus, la mise en œuvre du procédé sur chantier est généralement assurée par une équipe de 3 personnes composée : 1 chef équipe et 2 sous-chefs.

Le chef assure le rôle de responsable du chantier, du matériel et de la bonne coordination des membres de son équipe. Il est garant de la bonne mise en exécution des instructions transmises dans le cadre de la fiche chantier par la direction technique. Il coordonne l'implantation du chantier, des points d'injection et des autocontrôles. Personne la plus expérimentée de l'équipe, il réalise les injections.

Sur supervision du chef, les deux sous-chefs assurent les travaux de percements, de préparation des canules et de l'équipement des percements. Ils participent aussi à la réalisation des autocontrôles et à la bonne tenue du chantier de manière générale.

En cas d'adaptation nécessaire sur chantier pour atteindre les objectifs, l'équipe est généralement appuyée par la direction technique.

2.4.3. Phasage d'intervention (voir figures 13 en annexe)

Conformément à la description ci-dessus, les différentes étapes d'application du procédé ACCA®SF sont présentées ci-dessous :

Phase 01 : Travaux préparatoires

► Phase 01-a - Etudes d'exécution :

ACCES BTP dispose de sa propre direction technique composée d'ingénieurs géotechniciens et génie civil qui prennent en charge les études nécessaires à la justification et au dimensionnement de ses travaux.

Dans le cadre des études, une note technique ou une fiche chantier est éditée précisant obligatoirement :

- Les généralités du procédé d'injection ;
- Le modèle géomécanique retenu conformément à l'étude de sol ;
- Le mode et les caractéristiques des fondations existantes ;
- Les descentes de charge ainsi que les contraintes de référence (q_{ref}) ;
- La profondeur de traitement à atteindre ;
- Le maillage horizontal et vertical des injections ;
- Les objectifs post-injection à atteindre ;
- La description des autocontrôles mis en œuvre ;
- Les critères d'arrêt ;
- Le planning prévisionnel.
- La délimitation des zones de traitement ;
- Le calepinage des forages d'injection et coupe sous fondations/dallages des différents niveaux d'injection ;
- L'implantation des sondages d'autocontrôle.

► Phase 01-b - Repérage et traçage au sol des réseaux enterrés :

Préalablement aux travaux de forage et d'injection, une détection associée à un repérage (par tracé en surface) est exécutée avant le démarrage effectif des travaux de forage. Cette détection est réalisée à l'aide de moyens techniques adaptés et complémentaires (RD 8000, ITV, ...).

A noter qu'en fonction de l'implantation des réseaux enterrés, le calepinage de certains points d'injections peut être modifiée. Cette prestation est assurée par des partenaires externes.

Phase 02 - Exécution des travaux d'injection :

► Phase 02-a - Implantation des forages d'injection :

Après l'installation de chantier, le chef d'équipe se charge d'implanter les points de forage d'injection au sol à l'aide d'une bombe de peinture tout en veillant au marquage des réseaux repérés préalablement. L'implantation est réalisée suivant le plan d'implantation présenté dans la note technique ou sur la fiche chantier.

► Phase 02-b - Exécution des percements ou forages :

Les travaux de percements sont effectués manuellement à l'aide de perforateurs électroportatifs à roto-percussion de type HILTI TE-70 ou équivalent. Ils peuvent être réalisés en différents diamètres distincts (12 mm à 40 mm) au travers de l'ouvrage (fondation) puis dans le sol jusqu'à la profondeur de traitement prédéfinie.

Dans certains cas, le percement est réalisé uniquement sur les premiers mètres et la mise en place des canules est assurée par vibro-fonçage.

► Phase 02-c : Réalisation des sondages d'auto-contrôle pré-injections :

Cette phase peut être réalisée de manière simultanée avec la phase précédente ou même avant. Elle consiste en la réalisation d'essais géotechniques types essais pénétrométriques ou pressiométriques préalablement aux injections.

Ces essais sont descendus jusqu'à la profondeur maximale des injections ou au refus.

► Phase 02-d : Mise en place des canules d'injections :

Des tubes en aluminium de diamètre compris entre 6 et 12 mm sont insérés dans les forages, jusqu'à la profondeur requise. Chaque tube d'injection est protégé et signalé au moyen d'un bouchon pour prévenir tout incident.

► Phase 02-e : Injection :

La résine est injectée liquide et sous pression, tube après tube, au moyen d'un pistolet mélangeur qui combine les deux composants : composant A (polyol) et composant B (isocyanate) pour former la résine expansive (polyuréthane). Une fois dans le sol, grâce à la pression d'injection puis d'expansion (phase de polymérisation), la résine se diffuse puis acquiert ses propriétés mécaniques définitives (temps de séchage de l'ordre de quelques minutes).

► Phase 02-f : Réalisation des sondages d'auto-contrôle post-injection :

Ces essais géotechniques (essais pénétrométriques ou pressiométriques) sont réalisés à proximité des sondages pré-injection et permettent de vérifier si l'objectif de traitement visé est atteint. Ils sont descendus jusqu'à la profondeur maximale de traitement ou au refus.

En fonction des résultats obtenus, des injections complémentaires sont éventuellement réalisées afin d'atteindre les objectifs fixés.

► Phase 02-g : Finitions :

Ces travaux intègrent le recépage des têtes de tubes sous le niveau de la plateforme de travail suivi du rebouchage au mortier solide ou liquide.

Phase 03 - DOE/Réception/ Observation :

► Signature du PV (Procès-Verbal) de réception

► Établissement d'un CR (compte rendu) ou d'un DOE (Dossier des Ouvrages Exécutés) détaillant les résultats obtenus

► Démarrage de la période d'observation/de parfait achèvement d'une durée de 1 an (1 cycle saisonnier complet).

2.4.4. Contrôles

2.4.4.1. Contrôle laser pendant les injections

Pendant les injections, l'ouvrage est suivi par un monitoring laser. Lorsque le sol sature et/ou que sa résistance est devenue supérieure à la contrainte au sol de l'ouvrage, le laser permet d'observer une réaction en surface tel que la remontée de l'ouvrage (d'ordre millimétrique). Dans ce cas, afin d'éviter des réactions imprévues, pouvant endommager le bâti, les injections sont systématiquement stoppées.

Le matériel est composé d'un niveau laser positionné sur un trépied à proximité de la zone de traitement et en dehors de tout obstacle. Ce dispositif ne doit pas être déplacé pendant toute la phase d'injection. Des récepteurs avec affichage millimétrique sont fixés sur l'ouvrage à intervalles réguliers. Ces récepteurs interceptent le faisceau laser émis par le niveau et ont une



Figure n°12 : Matériel pour monitoring laser

2.4.4.2. Contrôle des sols injectés

Les procédures d'autocontrôles sont les suivantes.

2.4.4.2.1. Avant les injections

Des essais pénétrométriques dynamiques, pénétrométriques statiques ou pressiométriques normalisés doivent être réalisés dans la zone de traitement, sur la profondeur des sols concernés et là où les caractéristiques de résistance sont les plus faibles : 1 essai tous les 20 ml (ou tous les 100 m² dans le cas d'un dallage ou d'un radier) avec un minimum de deux essais. Les résultats ainsi collectés, permettent de valider le programme d'injection préétabli ou, si nécessaire, de l'adapter.

Dans le cas de fondations linéaires et ponctuelles, les essais de contrôle sont réalisés contre la fondation, au plus près de celle-ci.

Dans le cas des dallages et des radiers, les essais de contrôle sont réalisés au centre de la maille d'injection.

Ces essais réalisés préalablement aux injections sont également appelés « essais d'étalonnage ».

2.4.4.2.2. Après les injections

Une revalidation, sur la base des essais réalisés, des calculs de la contrainte et des tassements est nécessaire conformément aux directives de la norme NF P 94-261 pour les chantiers avec augmentation de capacité portante (application n°3, cf. 2.3.2).

Après injection, des essais similaires aux essais d'étalonnage (pénétrométriques dynamiques, pénétrométriques statiques ou pressiométriques normalisés) sont réalisés à proximité des essais initiaux afin de vérifier la récupération obtenue. Ils sont exécutés dans les mêmes conditions qu'avant injections.

Après dépouillement, une comparaison des essais pré et post injection est effectuée afin de valider la bonne mise en œuvre de la résine selon les objectifs fixés en phase de préparation de chantier (phase 01 -a définie ci-dessus).

En cas d'insuffisance des résultats, des compléments d'injection sont réalisés et de nouveaux essais doivent être réalisés pour vérification.

2.5. Maintien en service du produit ou procédé

Sur indication du fournisseur, le produit polymérisé et durcit restera tel quel indéfiniment et suffisamment longtemps pour assurer la durée de vie habituelle d'un bâtiment et même d'un tunnel ou d'une autre structure souterraine, généralement 100 ans, en l'absence d'effets thermiques, chimiques ou physiques inhabituels. Si le matériau est exposé à la lumière du soleil, le rayonnement UV n'a qu'un effet superficiel sur les couches extérieures du matériau exposé, tandis que le cœur reste intact. Toutefois, l'exposition aux rayons UV entraîne une dégradation à long terme qui agit sur la surface immédiate (assombrissement de la couleur, qui passe du jaune clair au brun foncé) et peut lentement dégrader le matériau à long terme (plusieurs années). Une simple couche de peinture peut empêcher cet effet. Il n'y a pas d'autres effets à attendre si le matériau reste exposé à l'air libre. Dans le sol, le matériau est naturellement protégé des rayons UV et les seuls agents susceptibles d'affecter son intégrité sont des acides forts ou d'autres composés chimiques peu susceptibles de se trouver dans l'environnement naturel du sol (voir Tableau n°3 : Résistance aux produits chimiques).

2.6. Traitement en fin de vie

En fin de vie les produits peuvent être récupérés puis traités en déchetterie habilitée. Les infrastructures recevant ces déchets sont localisables à l'adresse suivante : <http://www.dechets-chantier.ffbatiment.fr/>.

2.7. Assistance technique

Rappelons que la validation de la faisabilité du procédé relève exclusivement des compétences de la direction technique d'ACCES BTP composée d'ingénieurs géotechniciens et en génie civil expérimentés.

Dans le cadre d'une prise en charge d'un dossier par ACCES BTP, la première phase est toujours marquée par la programmation d'une visite sur site d'un de nos ingénieurs d'affaires. Cette visite, avec la présence du maître d'ouvrage et/ou de l'expert construction et/ou du maître d'œuvre, a pour objectif :

- ▶ De découvrir le contexte environnemental où se situe l'ouvrage ;
- ▶ De constater les désordres sur l'ouvrage le cas échéant ;
- ▶ Le cas échéant, de relever les facteurs susceptibles d'être à l'origine des désordres ;
- ▶ d'analyser les documents techniques mis à sa disposition (diagnostic géotechnique, diagnostic structure, rapport d'inspection télévisée des réseaux enterrés, plans de l'ouvrage...)
- ▶ De relever les premières impressions sur la faisabilité du procédé (elle est généralement soumise à la validation de la direction technique constituée d'ingénieurs géotechniciens et structure) ;
- ▶ De déterminer les zones à traiter (traitement partiel ou traitement total) et de relever les métrés ;
- ▶ De vérifier les accès nécessaires à l'intervention.

La procédure décrite ci-dessus est généralement courante aux dossiers de maisons individuelles. Toutefois, elle peut être adaptée à des marchés d'appels d'offre sous la direction exclusive de notre direction technique.

2.8. Principes de fabrication de la résine et de contrôle de cette fabrication

2.8.1. Prescriptions

La fabrication des composants de la résine doit faire l'objet d'un contrôle permanent portant notamment sur les caractéristiques des composants et la réaction du mélange. Il conviendra de prévoir systématiquement la réalisation d'un contrôle de validation, réalisé par le fabricant, de la réaction parfaite du mélange pour chaque lot du produit livré. Celui-ci doit garantir la conformité de la résine aux performances définies au §2.2.2.

Le matériel du camion atelier (générateur, appareillage spécifique pour le mélange des produits, système d'injection, ...) doit faire l'objet de la mise en place d'un autocontrôle systématique du titulaire.

L'étalonnage des appareils de mesure doit être vérifié au moins une fois par mois. Une vérification complète du camion atelier (matériel électrique, pompes, systèmes de compression d'air, ...) doit être réalisée au moins une fois par an.

2.8.2. Fabrication (matière première) et contrôles qualité

Afin d'assurer la constance des performances de la résine ACCA^{®3}, la chaîne de production respecte une politique de gestion de la qualité rigoureuse. Cette dernière est mise en œuvre sur l'ensemble de la chaîne de production partant de l'approvisionnement en matières premières jusqu'à la livraison du produit fini. Concernant la vérification des matières premières, le processus se fait en six étapes présentées ci-dessous :

Etape	Actions menées	Personnes
Etape n°1 : Réception de la marchandise	<p>La marchandise est livrée par le transporteur. Avant le déchargement, l'employé de production effectue une inspection visuelle pour détecter d'éventuels dommages.</p> <p>Si la marchandise est endommagée, passer au processus de traitement des réclamations.</p> <p>Si la marchandise est en bon état, poursuivre avec ce processus - la marchandise est déchargée.</p> <p>La marchandise est déchargée et pesée. En cas de divergence de quantité, le processus de traitement des réclamations est activé.</p>	PM
Etape n°2 : Echantillonnage et échantillon de réserve	<p>L'employé de production prélève un échantillon et un échantillon de réserve.</p> <p>Les deux échantillons sont étiquetés avec le nom du produit, le numéro de lot du fournisseur et la date de livraison.</p> <p>Les échantillons sont remis au laboratoire pour examen.</p>	PM
Etape n°3 : Certificat	<p>Pour chaque lot livré, un certificat est envoyé par le fournisseur, indiquant les spécifications et les valeurs mesurées du contrôle de sortie du fournisseur.</p> <p>Le chef de département doit s'assurer que ces certificats peuvent être consultés par les techniciens de laboratoire pour chaque lot livré.</p>	AL / AA / PM AL
Etape n°4 : Contrôle de la matière première	<p>Dans le processus de développement les propriétés à tester et les limites des matières premières sont définies.</p> <p>Le tableau "Tableaux QS des matières premières" contient les tests, les instructions de test correspondantes et les limites à respecter.</p> <p>Chaque lot est enregistré par le technicien de laboratoire dans ce tableau, avec la date de livraison, le numéro de lot, la date d'examen et les valeurs mesurées.</p>	LM
Etape n°5 : Approbation	<p>Si toutes les valeurs mesurées se situent dans les spécifications, le technicien de laboratoire peut approuver le lot.</p> <p>Si une ou plusieurs valeurs se trouvent en dehors des spécifications, cela doit être enregistré dans le tableau et signalé à la direction du laboratoire et à la direction de la production.</p> <p>Le directeur de production décide du processus ultérieur du lot :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Il accorde une approbation spéciale pour ce lot, cela doit être enregistré par écrit dans le tableau. Poursuivre avec l'étape 6. 2. Il déclenche une réclamation, puis poursuivre avec le processus de traitement des réclamations. 	LM LM PL
Etape n°6 : Stockage	<p>Si un lot est approuvé ou bénéficie d'une approbation spéciale, le matériau quitte la réception et est stocké (stockage en rayonnage).</p> <p>L'échantillon de réserve est marqué et reste en stock dans la production.</p> <p>Durée de stockage : 1 an.</p>	PM
<p>NOTA : AL=Chef de département ; LL=Responsable du laboratoire ; PM=Employé de production ; LM=Technicien de laboratoire ; LA=Employé de l'entrepôt.</p>		

Tableau n°4 : Processus de vérification des matières premières en usine

2.8.3. Contrôle sur chantiers de la résine

Avant chaque phase d'injection, un contrôle de la résine est effectué par le chef d'équipe. Ce test consiste à remplir un contenant vide et transparent par injections pendant environ 6 secondes. La résine peut alors s'expanser librement.

Le chef d'équipe s'assure que les paramètres suivants sont validés :

- ▶ Couleur du mélange : celle-ci doit être homogène et jaune clair ;
- ▶ Amplitude d'expansion : le mélange doit gonfler de façon homogène et entre 3 à 10 fois le volume initial en fonction de la résine utilisée ;
- ▶ Temps de moussage : l'expansion doit être immédiate et continue jusqu'au volume défini ci-dessus et être comprise entre 30 secondes et 1 min ;

- ▶ Temps de solidification : dans les 10 min suivant ce test, le produit doit présenter une forte solidité sur toute la surface ;
- ▶ Homogénéité et propreté de la croûte : La surface doit être homogène.

Les résultats des autocontrôles réalisés doivent être enregistrés dans des registres et des fiches d'autocontrôle prévus à cet effet.

2.9. Mention des justificatifs

2.9.1. Résultats expérimentaux

Les essais mécaniques et de durabilité réalisés en partenariat avec le laboratoire Navier de l'université Gustave Eiffel sont référencés ci-dessous :

- ▶ [1] : RES ACCES 03_2024_1 : MOUSSES DE POLYURETHANE EXPANSIVE-DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES DE COMPRESSION ;
- ▶ [2] : RES ACCES 03_2024_2 : MOUSSES DE POLYURETHANE EXPANSIVE-DETERMINATION DE LA RESISTANCE A LA FLEXION 3 POINTS ;
- ▶ [3] : RES ACCES 03_2024_3 : MOUSSES DE POLYURETHANE EXPANSIVE-DETERMINATION DE LA RESISTANCE A LA TRACTION ;
- ▶ [4] : RES ACCES 03_2024_5 : MOUSSES DE POLYURETHANE EXPANSIVE-PRESSION DE GONFLEMENT ;
- ▶ [5] : RES ACCES 03_2024_6 : MOUSSES DE POLYURETHANE EXPANSIVE-PERMEABILITE A UN FLUX DE GAZ ;
- ▶ [6] : RES ACCES 03_2024_7 : MOUSSES DE POLYURETHANE EXPANSIVE-DETERMINATION DE LA STABILITE DIMENSIONNELLE ;
- ▶ [7] : RES ACCES 03_2024_8 : MOUSSES DE POLYURETHANE EXPANSIVE-DETERMINATION DU COMPORTEMENT A LONG TERME SOUS CHARGE CONSTANTE ;
- ▶ [8] : RES ACCES 03_2024_9 : MOUSSES DE POLYURETHANE EXPANSIVE-DETERMINATION DU COMPORTEMENT A LONG TERME SOUS CHARGE DYNAMIQUE.

2.9.2. Références chantiers

Depuis le début de ses activités, ACCES BTP a réalisé près de 1000 chantiers avec son procédé ACCA®SF à travers tout le territoire national métropolitain. Les chantiers réalisés sont très diversifiés sur des ouvrages très variés (maisons individuelles, bâtiments collectifs, monuments historiques, bâtiments industriels, voiries...etc.).

Date	Code postal	Ville	Mode de fondations	Type de construction	Type d'intervention	Métre	Profondeur de traitement
Aout 2023	30610	Sauve	Semelles filantes	Bâtiment collectif R+2	Augmentation capacité portante	50 ml	-2.50 m/TN
			Massifs			11 u	-3.00 m/TN
Janvier 2024	10140	Mesnil-Saint-Père	Semelles filantes	Eglise (monument historique édifié entre le 12 ^e et 16 ^e siècle)	Renforcement	157 ml	-3,0 m/TN
			Massifs			8 Massifs	-4,0 m/TN
Mai 2024	75005	Paris	Semelles filantes	Local en RDC et cour intérieure	Renforcement	12 ml	-5.00 m/TN
			Dallage			35 m ²	-5.00 m/TN

Tableau n°6 : Quelques références chantier d'ACCES BTP

2.10. Annexe du Dossier Technique – Schémas de mise en œuvre

La mise en œuvre du procédé peut se résumer en six étapes en plus de la phase d'installation :

Figure n°13-0 : Schémas de mise en œuvre du procédé ACCA®SF

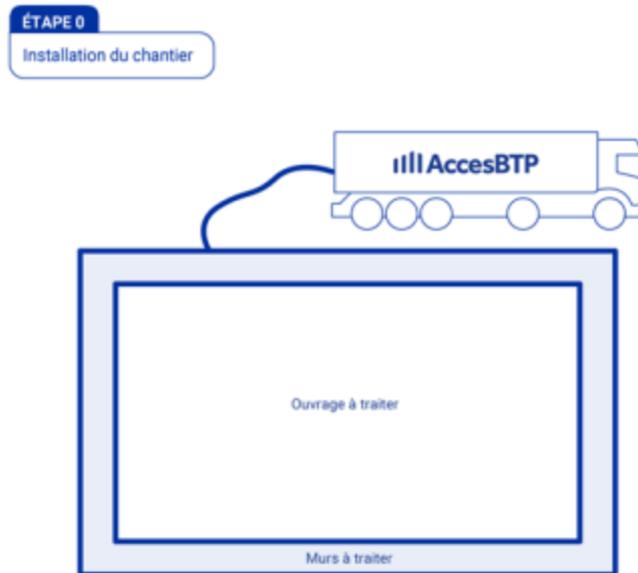


Figure n°13-1 : Schémas de mise en œuvre du procédé ACCA®SF

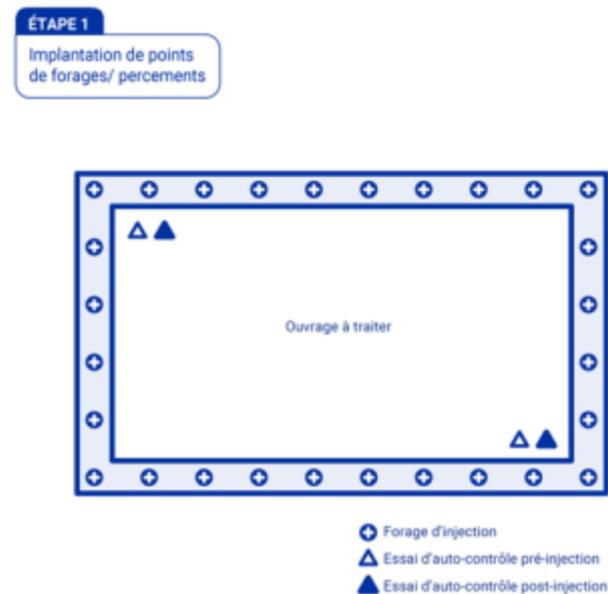


Figure n°13-2 : Schémas de mise en œuvre du procédé ACCA®SF

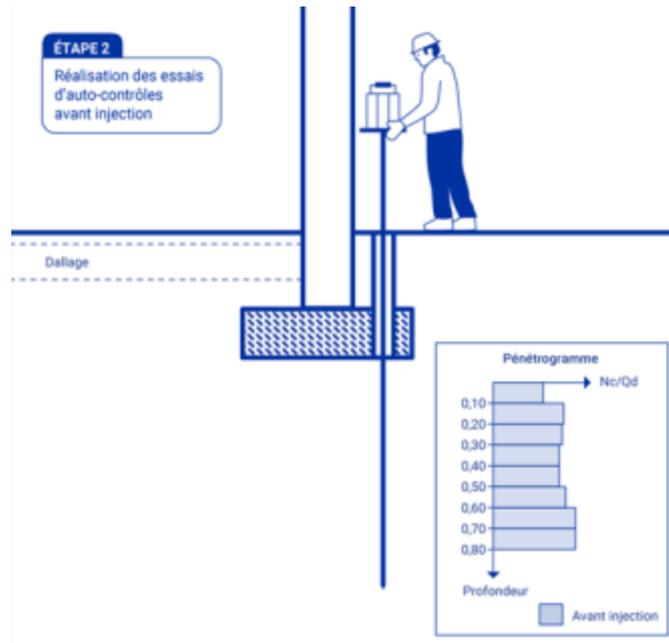


Figure n°13-3 : Schémas de mise en œuvre du procédé ACCA®SF

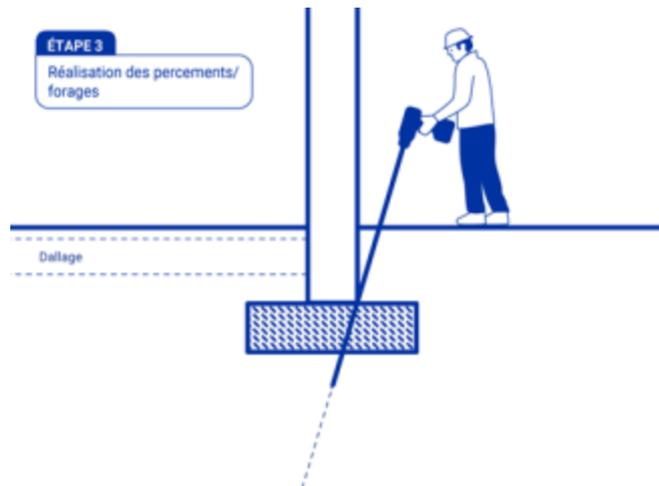


Figure n°13-4 : Schémas de mise en œuvre du procédé ACCA®SF

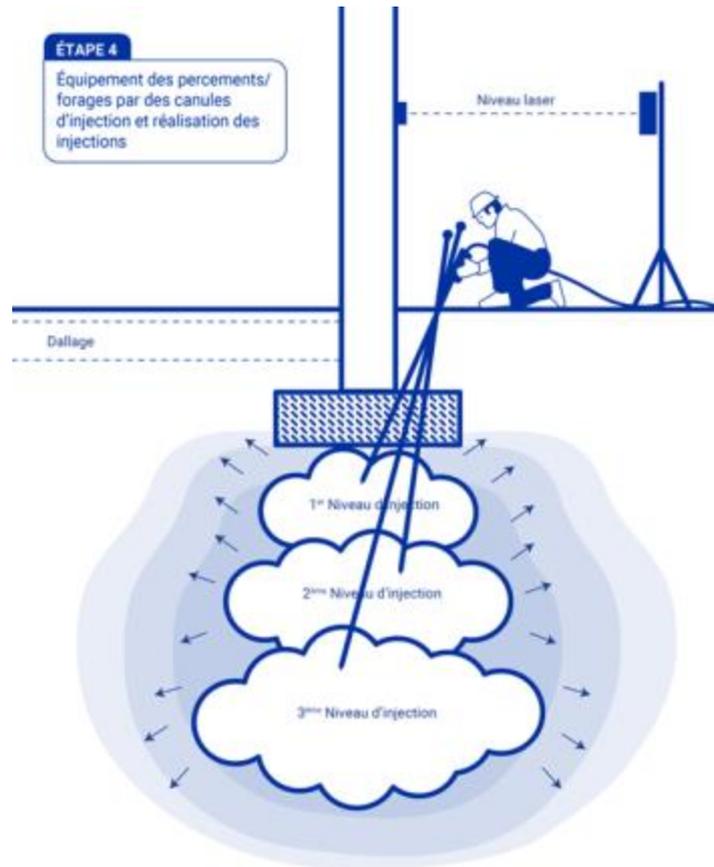


Figure n°13-5 : Schémas de mise en œuvre du procédé ACCA®SF

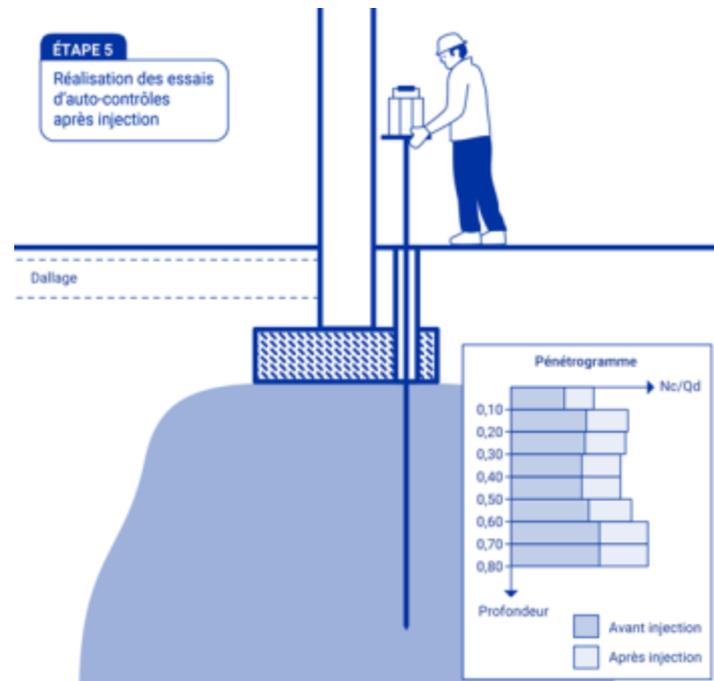


Figure n°13-6 : Schémas de mise en œuvre du procédé ACCA®SF

ÉTAPE 6

- Finitions :
- Repepage des têtes de canules d'injection
 - Rebouchage au mortier

