

# Buzzi Unicem

# SOLIDUR<sup>®</sup>

Prémélange prêt à l'usage  
pour mélanges plastiques  
autodurcissants

Produits spéciaux

## Buzzi Unicem Solidur®

### Pré-mélange prêt à l'usage pour mélanges plastiques autodurcissants

**Solidur®** est un produit pré-mélangé, prêt à l'usage, formé de liants minéraux de ciment et de composants argileux et en bentonite et d'additifs spéciaux. Sa formule utilise uniquement de la bentonite de qualité élevée sans additifs chimiques.

**Solidur®** est exclusivement constitué de composants minéraux et confectionné dans la cimenterie avec une technologie de production spéciale.

**Solidur®** est vendu en poudre et, sur le chantier, le confectionnement du mélange plastique se fait en le mélangeant rapidement avec de l'eau sans aucun additif à l'aide de mélangeurs à haute turbulence munis de doseurs automatiques. On obtient en quelques minutes un mélange stable autodurcissant prêt à l'usage. La suspension reste usinable pendant un temps suffisant, qui varie selon l'application, et elle peut être pompée même à plus d'un kilomètre de distance. Une fois durcie la boue plastique acquiert les caractéristiques d'imperméabilité et de résistance requises par l'ouvrage. Avec **Solidur®** les bénéfices au niveau de la gestion économique du chantier sont considérables, car:

- Les cuves de maturation pour la bentonite prévues par le système traditionnel sont inutiles, ce qui garantit une économie d'espace et de temps.

### Qualités requises des mélanges plastiques autodurcissants Solidur®

Les matériaux utilisés pour confectionner un mélange plastique minéral pour diaphragmes imperméables doivent généralement avoir une pré-qualification d'aptitude. A la demande, on accomplit pour certains chantiers une étude préliminaire en procédant à des prélèvements d'échantillons de sol, d'eau de nappe ou de percolé du site sur lequel on doit intervenir et à des analyses de laboratoire, en vue d'établir le mélange de composants le mieux adapté au site et conforme aux caractéristiques techniques du projet.

L'usage de **Solidur®** offre d'autres avantages tels qu'un équipement de chantier simple et économique et l'homogénéité élevée du pré-mélange. Les contrôles de qualité sont simples et rapides: le produit est mélangé uniquement avec de l'eau du robinet et il est immédiatement utilisable. Pour que le diaphragme imperméable soit stable, la suspension doit avoir une densité et une viscosité préétablies. Pour tous les procédés de construction il faut accomplir un essai de stabilité en tenant compte des respectives conditions réglementaires

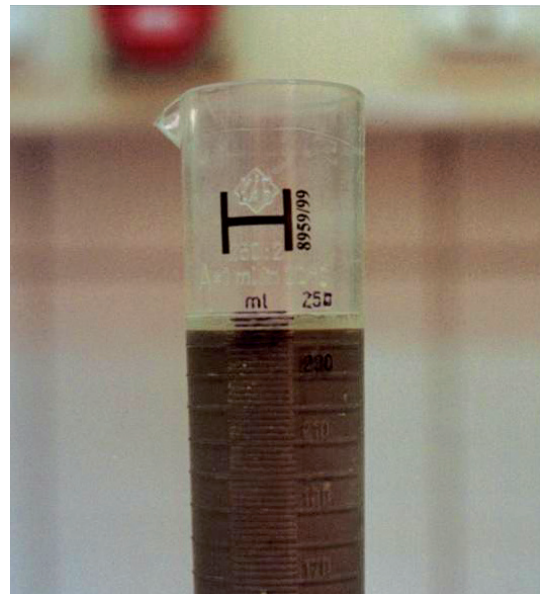
ainsi que des conditions du sol et de la charge; il faut tenir compte des caractéristiques de la suspension, telles que la densité, la viscosité, la stabilité, le temps d'usinabilité et la compatibilité environnementale. Certaines méthodes d'essai simples caractérisent une suspension pour diaphragmes imperméables: la définition de la viscosité avec le cône de Marsh, de la densité de la suspension avec la balance Barroid (ou balance électronique + cylindre gradué) et de la décantation avec le cylindre gradué. Lorsque la boue pour diaphragmes imperméables durcit, selon le procédé de production, un diaphragme imperméable se forme, qui doit présenter une résistance minimum à la compression et être imperméable à l'eau. Les autres qualités requises sont la déformabilité et la résistance aux érosions, ainsi que la durée à long terme et la compatibilité environnementale. Dans certaines applications particulières il faut aussi une certaine résistance aux eaux d'infiltration, par ex. en cas de ceinturages d'égouts comme protection passive contre les inondations ou les nappes phréatiques voisines.



- Réduit la main-d'œuvre
- Simplifie l'installation sur le chantier et réduit l'occupation de l'espace
- Réduit les essais de contrôle grâce à la constance des caractéristiques du produit.

**Solidur®** dispose d'une vaste gamme de recettes qui ont fait leurs preuves et sont certifiées, tant au niveau hydraulique de la perméabilité qu'à celui chimique et physique de la résistance aux agressions chimiques et aux érosions.

Les familles du produit se divisent en **Solidur® 274**, **Solidur® 274 Speciale** et **Solidur® 273**, qui se distinguent en fonction de la densité du mélange plastique et des performances caractéristiques du matériau durci et en **Solidur® 270** spécialement conçu pour les ouvrages d'ingénierie hydraulique. **Solidur® Erdbeton** utilisé pour préparer les bétons plastiques.



Essais sur le chantier:

- Essai d'usabilité avec le cône Marsh
- Contrôle de la densité avec la balance Barroid
- Essai de décantation avec cylindre

## Normes de référence concernant les essais de contrôle et la caractérisation du mélange plastique autodurcissant

Essai	sur chantier boue plastique fluide	en laboratoire boue plastique fluide
Confectionnement de la suspension	DIN 4127	-
Densité	UNI 11152 Partie 6 DIN V 4126-100	-
Cône Marsh	UNI 11152 Partie 13 DIN V 4126-100	-
Décantation	UNI 11152 Partie 11 DIN V 4126-100	-
Perméabilité	-	DIN EN ISO 17892-11
Force de coupe	-	BS 1377 Partie 7
Rétraction / Expansion	-	UNI 8996
Résistance à la Compression	-	UNI 11152 Partie 21 UNI EN196-1 prisme 40x40x160mm DIN EN ISO 17892-7 prisme /cylindre
Début prise	UNI 11152 Partie 19	-
Durée pratique d'utilisation de la suspension	UNI 11152 Appendice A	-



Coulée de Solidur®

### Normes de référence concernant l'exécution des diaphragmes:

- UNI EN 1538 • Lignes directrices de la Province de Milan • DIN V 4126-100 • DIN 4127 • ÖNORM B 4452

## Usages courants

### Diaphragme plastique avec extraction de terre

- Diaphragmes creusés avec une benne mordante
- Diaphragmes creusés avec une rétro-excavatrice
- Diaphragmes creusés avec une hydrofraise
- Diaphragmes composés de poteaux de division
- Diaphragmes combinés de mélange et lés en HDPE
- Diaphragme mince creusé par vibro-insertion de coffrages en acier

### Diaphragme plastique sans extraction de terre

- Diaphragme mince réalisé avec la technologie Vibro Jet
- Diaphragme mince combiné Vibro Jet avec lé en HDPE
- Diaphragme mince réalisé par coulée lamellaire unidirectionnelle

### Barrières verticales et horizontales

- Barrières imperméables verticales réalisées avec la technologie Jet Grouting
- Imperméabilisations horizontales avec bouchon de fond par injections à haute ou basse pression

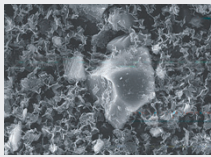
### Remplissages et isolations de vides souterrains

- Injections et remplissages de cavité et de vides citadins souterrains avec un produit éventuellement creusable par la suite comme une argile compacte
- Colmatage de l'interstice entre le tunnel et l'électroduct ou la conduite (gaz, etc..)

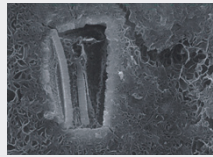
## Avantages

- Solidur® est un mélange prêt à l'usage, dont la qualité est garantie par le producteur
- Utilisation directe du produit, sans maturation en cuves de stockage. Solidur® est mélangé uniquement avec de l'eau et quelques minutes suffisent pour obtenir un mélange stable autodurcissant prêt à l'usage
- Simplicité de l'installation de chantier, avec investissement réduit et occupation d'espaces réduits garantissant de grandes productions
- Réduction de la main-d'œuvre
- Perméabilité élevée, dépassant celle pouvant être obtenue avec des mélanges communs à égalité d'épaisseur
- Qualité des matériaux et donc de l'ouvrage fin
- Résistance élevée aux érosions
- Résistance élevée à l'agression chimique
- Stabilité dans le temps
- Respect des prescriptions des cahiers de charges les plus sévères.
- Caractéristiques constantes du produit avec réduction des essais de contrôle sur le chantier
- Mélange formulé ad hoc, en fonction des caractéristiques du site et des prescriptions techniques du projet
- Assistance technique qualifiée

## Solidur® au microscope



après  
1 jour



après  
28 jours

Exemples de recettes		Solidur® 270 pour l'ingénierie hydraulique	Solidur® 274	Solidur® 274 speciale	Solidur® 273
Dosages	kg / m <sup>3</sup>	250	250	480	800
Eau	kg / m <sup>3</sup>	910	910	820	700
Densité de la suspension	g / cm <sup>3</sup>	1,16	1,16	1,30	1,50
Temps Marsh	s / dm <sup>3</sup>	34	34	43	< 70
Décantation	vol. - %	< 2	< 2	< 2	< 2
Perméabilité	après 28 jours	m / sec	< 1E - 8	< 1E - 10	< 5E - 10
	après 90 jours	m / sec	< 5E - 9	< 1E - 10	< 1E - 10
Résistance	après 28 jours	N / mm <sup>2</sup>	ca. 0,6	ca. 1,2	ca. 1,0

## Technique de construction

### Diaphragme plastique imperméable avec creusement BIPHASE

Le procédé de construction en deux phases permet de réaliser aussi des diaphragmes plastiques. Les opérations de creusement sont analogues à celles du diaphragme structural mais ici la boue de bentonite est remplacée par un mélange plastique autdurcissant avec une coulée de bas en haut, en recueillant la première dans des cuves spéciales après épuration des parties fines, qui dev ont être correctement éliminées dans des décharges spéciales. Il est facile d'imaginer la majoration de coût et de temps d'exécution de cette procédure. Pour confectionner le mélange plastique autdurcissant on peut utiliser le **Solidur®**, même si la procédure avec creusement en une phase est plus avantageuse et plus simple techniquement.

### Diaphragme plastique imperméable, avec creusement MONOPHASE

Dans ce cas, un mélange plastique autdurcissant fait office de fluide de perforation et, une fois m , de cloison à basse perméabilité.

Il permet de réaliser des ouvrages souterrains en une seule phase, en accomplissant à la fois les opérations de creusement et de coulée. Ce procédé est le plus répandu et de loin le plus simple et économique (procédé de construction en une phase); il est adopté, par exemple, pour construire les déchetteries ou pour les mettre en

sécurité à l'aide de diaphragmes de ceinturage, pour imperméabiliser des ouvrages de défense hydraulique, pour assainir des sites contaminés, etc.. Pour ces procédés on utilise du **Solidur® 270**, du **Solidur® 274**, il **Solidur® 274 Speciale** ou du **Solidur® 273**.

Dans les diaphragmes imperméables ont introduit par fois des lés en HDPE (High Density PolyEtilene) afin de mieux supporter la pression hydraulique ou pour contraster la poussée active horizontale du sol; on peut ajouter des passerelles ou des profilés en acier ancrés.

### Réalisation de diaphragmes avec creusement en une phase





Mise en sécurité de sites industriels

Diaphragme de 60 cm.  
On peut réaliser des diaphragmes jusqu'à 1,20 m de largeur

## Solidur® pour l'ingénierie environnementale [déchetteries et sites contaminés]

Pour construire et assainir des déchetteries on réalise des diaphragmes imperméables verticaux analogues à ceux utilisés pour les consolidations de fondations. Généralement une couche horizontale spéciale d'argile (naturelle préexistence ou artificielle) imperméabilise le fond de la déchetterie. Le diaphragme plastique imperméable vertical de ceinturage du site doit empêcher d'une part que l'eau de la nappe phréatique ne pénètre dans la déchetterie et de l'autre que le percolé ne s'écoule à l'extérieur.

Les techniques d'isolation de déchetteries et de sites à assainir peuvent être classées dans les catégories suivantes:

### Systèmes passifs de ceinturage du pourtour:

- diaphragme emmorsé dans le substrat sous-jacent imperméable
- diaphragme suspendu dans l'aquifère

### Systèmes passifs d'isolation du fond:

- Imperméabilisations avec bouchon de fond par injections sous haute et basse pression.

Les barrières généralement utilisés en Italie et en Europe sont constituées de mélanges autodurcissants.

Plusieurs paramètres ont une incidence sur les performances de ces systèmes:

- le type et le dosage de chaque matériau utilisé
- les procédures de mélange
- les techniques d'application

Il faut donc un nombre élevé d'essais préliminaires pour qualifier les matériaux et la technique d'usinage des diaphragmes.

Comme le prouvent les nombreuses références, l'utilisation de **Solidur®** s'est avérée la solution technique et économique idéale, celle qui garantit le respect des prescriptions des cahiers de charges mêmes les plus sévères.

## Bétons plastiques à base de **Solidur®** Erdbeton

**Solidur® Erdbeton** (de l'allemand ERDE = terre-sol) permet de réaliser des bétons plastiques imperméables en mélangeant au produit, dans la centrale de bétonnage, des agrégats de granulométrie adéquate (si possible 0-8 mm). Un béton plastique est utilisé lorsque l'on doit obtenir des densités très élevées, de l'ordre de 1.800 ÷ 2.000 kg/m<sup>3</sup>, impossibles à atteindre avec les mélanges plastiques auto-durcissants ordinaires, sans compromettre les caractéristiques de perméabilité très faible ( $k < 5E-11$  m/s) et en maintenant une déformation moyenne  $\geq 1\%$ .

L'utilisation des bétons plastiques à base de **Solidur® Erdbeton** est indiquée surtout pour former des diaphragmes très profonds, réalisés en deux phases, lorsque, pour la pose du béton de bas en haut avec un tuyau de coulée, le produit doit avoir une densité élevée pour remplacer la boue bentonitique du creusement du diaphragme, sans que les deux matériaux ne se mélangent.

**Solidur® Erdbeton** peut aussi s'utiliser en présence de sols sableux ou peu consistants avec des nappes en mouvement,

a fin d'éviter le ruissellement de la couche imperméable qui vient d'être réalisée et de mieux soutenir le creusement.

**Solidur® Erdbeton** permet d'obtenir des bétons plastiques à très faible perméabilité (en utilisant les agrégats disponibles sur place) ayant une résistance élevée aux agressions chimiques, en évitant les phénomènes de ségrégation dans le béton (consistance S5) malgré le pourcentage élevé de bentonite présent dans la formule, nécessaire pour obtenir une faible perméabilité.



Construction d'une barrière imperméable à l'aide de pieux sécants/CSP (cased secant piles). Pose de béton plastique à base de **Solidur® Erdbeton**

## **Solidur®** pour l'ingénierie hydraulique

Pour les ouvrages de défense hydraulique on construit des berges de confinement qui, selon la terre utilisée pour les former, ont parfois besoin de barrières imperméables.

La fonction de ces diaphragmes verticaux consiste essentiellement à empêcher la traversée du courant d'eau, mais aussi à contraster les phénomènes de siphonnement (résurgences) en évitant que l'eau ne passe sous la berge, une situation qui avec le temps risque de mettre en danger la stabilité de l'ouvrage à cause de l'action érosive prolongée. **Solidur®** est aussi utilisé dans les ouvrages d'ingénierie hydraulique pour imperméabiliser les creusements en présence d'eau et dans les diaphragmes profonds de barrages ayant des charges hydrauliques importantes. Ces diaphragmes hydrauliques peuvent être réalisés avec la technique des diaphragmes minces sans extraction de terre avec une épaisseur de 10 à 25 cm, en utilisant **Solidur® 273** ou avec des diaphragmes avec creusement de 30 à 120 cm d'épaisseur en utilisant **Solidur® 270**, **Solidur® 274** ou **Solidur® 274 Spéciale**.

## **Solidur®** pour fondations spéciales

Les mélanges plastiques autdurcissants **Solidur®** sont désormais utilisés depuis des années en Allemagne et en Europe du nord pour réaliser des diaphragmes combinés boue autdurcissante + acier (par ex. profilés Larssen Hoesch, HEB). La boue plastique fait tout d'abord office de fluide de perforation et de stabilisation des puits du creusement. Par la suite, avant que le mélange plastique du diaphragme définitif ne fasse prise, on introduit les profilés en acier. Après la prise, le système acquiert les qualités mécaniques et hydrauliques requises par l'ouvrage fini



Passerelle introduite dans le diaphragme avec **Solidur®** encore à l'état liquide

## Rubrique de cahier des charges

### Mélange plastique pour diaphragme plastique imperméable

Le mélange plastique autodurcissant à base de quebréaliserale diaphragme sera constitué par un pré-mélange de type **Solidur**<sup>®</sup> formé de diants minéraux tels que ciment spéciaux, composants argileux, laitier de haut-fourneau et adjuvants spéciaux, ayant une composition vérifiée au préalable et maintenue constante pendant l'usinage. Le mélange devra offrir des performances garanties. Il devra être conforme aux prescriptions fonctionnelles du projet, conformément que devra prouver une documentation qui devra être présentée au moment de l'appel d'offres. Cette documentation devra comprendre les résultats des essais de perméabilité en cellule triaxiale (d'après DIN EN ISO 17892-11) et les performances du mélange et les résultats des essais de compression jusqu'à la rupture. L'adjudicataire devra au préalable vérifier les caractéristiques du mélange à utiliser, en accomplissant des essais de rendement volumétrique, de densité, de viscosité, de résistance à la compression simple et de perméabilité.

Les échantillons réalisés pour les essais préliminaires devront être confectionnés avec de l'eau du robinet de source, tandis que pour le vieillissement des échantillons et les essais de perméabilité on devra utiliser de l'eau ayant les mêmes caractéristiques que l'eau de l'anneau phréatique qui lèchera les parois du diaphragme, dans ce but, dans ces cas des sites contaminés, on disposera de piézomètres accomplis pendant la caractérisation pour le prélèvement d'échantillons d'eau. Les échantillons devront être portés à maturation complètement plongés dans de l'eau de l'anneau phréatique, à une température constante de 20°C. Ces soumissions aux essais décrits plus haut 28 jours après confectionnement.

Après avoir établi une composition conforme aux prescriptions pour réaliser le diaphragme, qui devra être approuvé par la direction des travaux, le mélange sera fourni en poudre sur un semi-remorque citerne, avec un document attestant la provenance, la certification et les essais de qualité du produit transporté, rédigé par l'établissement du Fournisseur.

Le mélange sera confectionné en mélangeant le produit obtenu avec de l'eau dans des mélangeurs à haut débit et turbulence munis de doseurs automatiques, il devra être prêt à l'usage en quelques minutes.

Dans le cas de diaphragmes avec le HDPE le mélange doit garantir une usinabilité appropriée, c'est-à-dire permettre d'introduire le lé. Pour évaluer le temps d'usinabilité et la réaction de prise des mélanges plastiques autodurcissants minéraux on peut accomplir des essais avec agitation. Dans l'essai avec agitation le mélange plastique autodurcissant est mélangé pendant 5 minutes puis il repose pendant 15 autres minutes. La vitesse de l'agitateur doit être de  $500 \pm 200$  rpm. Les essais avec agitation doivent être accomplis sur une durée semblable à celle prévue pour l'introduction du lé en HDPE sur le chantier. Pour établir la durée pratique d'utilisation du mélange on prend comme propriété indicatrice la viscosité Marsh, en reportant sur un graphique la courbe d'incrément de la viscosité en fonction du temps.

Le mélange plastique autodurcissant prélevé dans l'installation de confectionnement devra présenter les caractéristiques suivantes:

- Viscosité Marsh ..... secondes
- Décantation après 2 heures < 2%
- Densité ..... g/cm<sup>3</sup>

La suspension solidifiée devra présenter les caractéristiques suivantes:

- Résistance à la compression simple après 28 jours ..... N/mm<sup>2</sup>
- Perméabilité en cellule triaxiale après 28 jours  $\leq$  ..... m/s

En cours d'ouvrage on devra prélever sur l'installation de confectionnement 3 échantillons de mélange tous les 300 m<sup>3</sup> dans des récipients cylindriques spéciaux, qui seront envoyés dans un laboratoire équipé et, après 28 jours de maturation, à compter de la date de confectionnement, il faudra accomplir des essais de densité, de rendement volumétrique, de résistance à la compression simple et de perméabilité. Les échantillons devront être portés à maturation complètement plongés dans de l'eau à une température de 20°C.

Les échantillons des essais de perméabilité doivent être cylindriques, avec un diamètre de 100 mm et une hauteur de 100 mm. Pour les essais de résistance à la compression simple on peut utiliser des échantillons en forme de prisme de 40x40x160 mm ou de cylindre avec un diamètre de 50 à 100 mm et une hauteur égale à deux fois le diamètre. Tous les échantillons cylindriques doivent être réalisés à partir d'échantillons plus hauts.

**Nota:** Les prescriptions ci-dessus, qui sont le fruit de notre expérience, ne sont données qu'à titre indicatif. Nous déclinons toute responsabilité quant aux défauts ou préjudices causés par l'usage impropre du produit et si les conditions d'utilisation ne correspondent pas à nos indications, Le Service Après-vente est à votre entière disposition pour vous donner des conseils sur l'usage correct du produit et l'exécution des essais techniques.

#### Buzzi Unicem S.r.l.

via Luigi Buzzi, 6  
15033 Casale Monferrato [AL]  
Italia  
tel +39 0142 416219  
fax +39 0142 416320  
direzionecommerciale@buzziunicem.it  
www.buzziunicem.it