

ThermoCem®

**Le coulis de ciment
écocompatible à conductivité
thermique exceptionnelle**

heidelbergmaterials.de

Contenu

1.	Description du produit	03
2.	Comment améliorer la conductivité thermique	04
3.	Propriétés de la suspension	06
3.1	Viscosité Marsh	06
3.2	Exsudation	07
4.	Consignes de mise en oeuvre	08
4.1	Eau de gâchage	08
4.2	Assurance de la qualité sur chantier	09
4.3	Modification du rapport eau/matière solide	09
5.	Aspect technique des machines de chantier	10
5.1	Procédé de malaxage	11
6.	Remplissage du forage	12
6.1	Coulage sous l'eau	12
6.2	Fin du remplissage	13
7.	Développement de la résistance à la compression et de la chaleur d'hydratation	14
7.1	Processus de prise	14
7.2	Progression de la prise primaire et finale	15
8.	Résistance du trou de forage	16
9.	Résistance chimique aux eaux aquifères agressives	17
9.1	Évaluation du degré d'agressivité	17
9.2	Résistance aux sulfates et aux acides de carbone dissolvant le calcaire	18
10.	Résistance gel-dégel	20
11.	Susceptibilité magnétique	22





1. Description du produit ThermoCem® PLUS

Optimal pour presque toutes les exigences

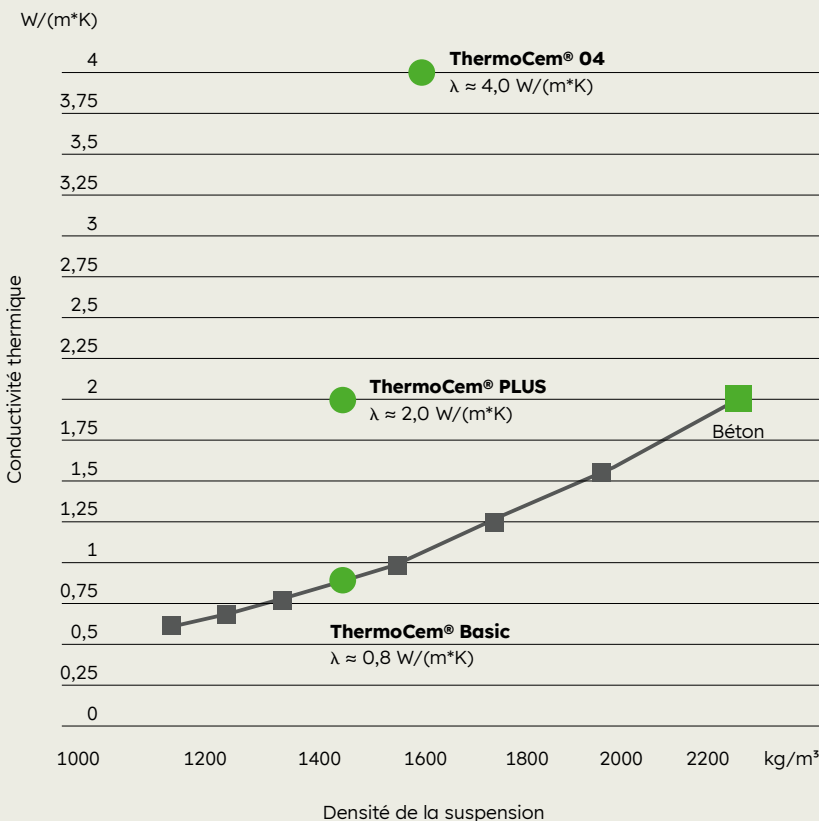
- ThermoCem® PLUS est un coulis sec, entièrement en poudre
- ThermoCem® PLUS ne contient pas de sable siliceux et n'est pas abrasif pour les mélangeurs et pompes
- ThermoCem® PLUS est un produit fini et prêt à l'emploi après ajout de la quantité d'eau prescrite
- ThermoCem® PLUS comprend entre autres des minéraux argileux aptes à gonfler
- ThermoCem® PLUS contient un liant spécial à haute résistance aux eaux agressives (par ex. sulfates, acides dissolvant le calcaire)
- ThermoCem® PLUS est soumis à une surveillance de sa production, ce qui assure une haute qualité constante
- ThermoCem® PLUS est composé de matières premières naturelles sélectionnées et convient donc aux zones de protection des réserves d'eau potable

2. Comment améliorer la conductivité thermique

Atteindre à coup sûr la bonne conductivité thermique

Il y a plusieurs possibilités pour augmenter la conductivité thermique d'un matériau de construction. Une base serait, par exemple, l'ajout de sable siliceux et d'adjuvants. Dans ce cas, pour parvenir à atteindre une conductivité thermique de 2,0, il serait nécessaire d'augmenter sensiblement la densité du coulis. Il en est tout autrement avec notre ThermoCem PLUS. Nous choisissons des substances additives particulièrement adaptées afin d'atteindre avec certitude une conductivité thermique de $(\lambda) \approx 2,0 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$. Leur dosage et la rhéologie du matériau sont dans ce cas précisément adaptés aux sondes géothermiques.

La conductivité thermique de la famille de produits ThermoCem®





3. Propriétés de la suspension

Bonne ouvrabilité, remplissage sans formation de cavités, bonne adhérence aux sondes et terrain alentour

3.1 Viscosité Marsh

Elle permet d'évaluer la viscosité et les propriétés de mises en oeuvre d'une suspension. L'unité de mesure est le temps que met un litre de suspension à s'écouler d'un entonnoir (contenance de l'entonnoir env. 1,5 l) présentant une ouverture d'env. 5 mm.

Valeur indicative de viscosité Marsh

- eau: 28 secondes
- 40 à 100 secondes permettent en général une bonne mise en oeuvre

ThermoCem est un coulis thixotrope en raison des composants argileux qu'il contient. Cela signifie que les minéraux argileux ont absorbé les particules aqueuses de la suspension comme une éponge. Si la suspension n'est plus soumise à mouvement ou pompage, elle va commencer à « gélifier » après quelques minutes ; elle retrouve de la fluidité après un second malaxage. Cette caractéristique est notamment mise à profit pour un coulage sous eau ou pour projeter des mortiers à la verticale.



Début de l'effet thixotrope.



Effet thixotrope après repos.

Détermination de la viscosité Marsh après le mélange.



Respect des formulations, Stabilisation par minéraux argileux, Adaptation du mélangeur au coulis

3.2 Exsudation

La mesure de l'exsudation permet de mesurer la stabilité d'une suspension c-à-d que les phases solides et aqueuses ne se séparent pas ou peu. Plus la quantité d'eau qui remonte en surface est importante, moins la suspension est stable. La valeur seuil pour obtenir une bonne consistance de mise en oeuvre doit être au maximum de 1 à 2 %. Un excès d'eau se traduit par une exsudation plus importante jusqu'à entraîner une séparation des phases liquide et solide.

Causes possibles d'une forte sédimentation

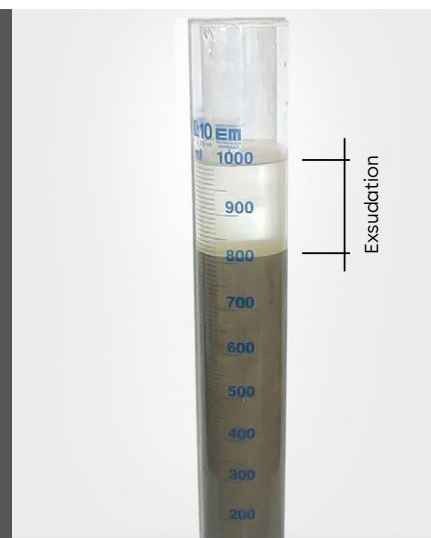
- Proportion mal ajustée des divers composants
- Rapport eau/matière solide trop élevé
- Intensité de malaxage insuffisante
- Durée de mélange insuffisante

Conséquences possibles d'une forte exsudation

- Remplissage insuffisant dans le forage
- Lacunes dans la colonne de remplissage et mauvaise position dans le forage
- Accroissement de la ségrégation des granulats
- Ségrégation ultime et séparation des phases



Mesure de l'exsudation de ThermoCem PLUS en ratio eau/mat.solide de 0,8.



Mesure de l'exsudation d'une suspension de ciment en ratio eau/mat.solide de 0,8.

4. Consignes de mise en oeuvre

Le mélange parfait pour un remplissage homogène de l'espace annulaire

4.1 Eau de gâchage

techniques que nous indiquons pour ThermoCem PLUS ne peuvent être obtenues que si la quantité d'eau indiquée est correctement mélangée au matériau sec.

Le facteur le plus important lors du mélange est ce qui est appelé le rapport eau/matière solide E/MS. C'est le rapport entre le poids d'eau et le poids de matériau solide sec. Ce ratio est dépendant de notre formulation. Si ThermoCem est brassé dans un mélangeur à bac, la quantité de remplissage par charge est à surveiller, elle doit être env. de 85 % du volume à brasser afin de prévenir tout débordement.

Exemple : Volume utile mélangeur 150 l x 0,85 = 127,5 l

La quantité de matériau est toujours indiquée en sac entier car ceci permet d'évaluer plus simplement la quantité d'eau à ajouter en évitant une pesée des matériaux. Cela donne donc pour cet exemple :

Préparer 80 litres d'eau et y ajouter 4 sacs de ThermoCem -> ce qui donne env. 120 litres de suspension.

Tableau de mélange ThermoCem® PLUS pour E/MS de 0,8

Nombre de sacs	Quantité de ThermoCem® PLUS	Quantité d'eau à ajouter	Quantité de suspension
[pce]	[kg]	[l]	[l]
1	25	20	30
2	50	40	60
3	75	60	90
4	100	80	120
5	125	100	150
6	150	120	180



Pour remplir 1.000 litres de cavité :

839 kg ThermoCem PLUS et 671 litres d'eau sont nécessaires. Densité de la suspension env. 1.510 kg/m³.

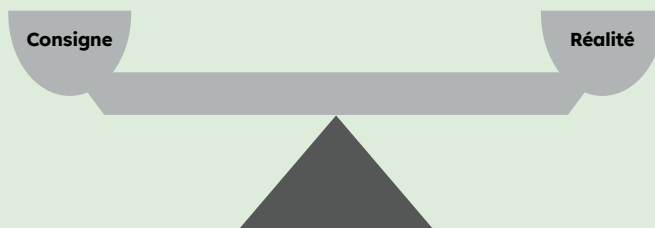
Le rapport eau/mat. solide (E/MS) permet également de déterminer le besoin en eau par sac de 25 kg :

E = MS x 0,80 = 25 kg,

ThermoCem PLUS x 0,8 = 20 litres d'eau. Le volume de coulis occupé par sac de 25 kg ThermoCem PLUS mélangé est alors d'env. 30 litres.



© Steffen Fuchs

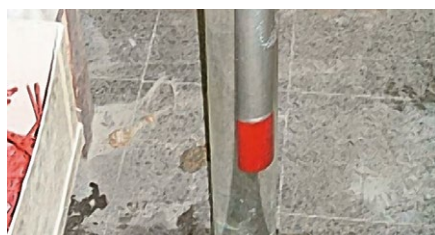


4.2 Assurance de la qualité sur chantier

La mesure de la densité de la suspension sert à contrôler l'exactitude du ratio E/MS. Des contrôles réguliers pendant le remplissage du trou de forage sont indispensables pour garantir la qualité de la mise en oeuvre. L'étude « Recherches pour la détermination des critères de qualité dans la construction de puits » (2003) a démontré qu'il est

en plus judicieux de comparer la densité de la suspension dans le mélangeur et celle qui déborde du trou de forage. Si leurs valeurs sont identiques, on peut considérer que la cavité est remplie de manière homogène sans variation de densité sur toute la profondeur du trou de forage.

Les outils de mesure en chantiers pour mesurer la densité :



le densimètre



la balance à boue baroïd



la balance ménagère (5 kg) et un verre gradué

4.3 Modification du rapport eau/matière solide

Mais que se passe-t-il lorsque le rapport eau/matière solide est modifié? Le tableau ci-après donne un aperçu des modifications des propriétés techniques en cas de non respect de la quantité d'eau prescrite :

Propriétés techniques	Augmentation de la quantité d'eau	Réduction de la quantité d'eau
Viscosité	Diminution de la viscosité	Augmentation de la viscosité
Exsudation	Augmentation de l'exsudation	Diminution de l'exsudation
Conductivité thermique	Diminution de la conductivité thermique	Augmentation de la conductivité thermique
Compacité	Diminution de la compacité	Augmentation de la compacité
Résistance au gel-dégel	Faible résistance au gel-dégel	Résistance améliorée au gel-dégel
Perméabilité	Augmentation de la perméabilité	Diminution de la perméabilité
Consommation de matériau	Diminution de la consommation	Augmentation de la consommation

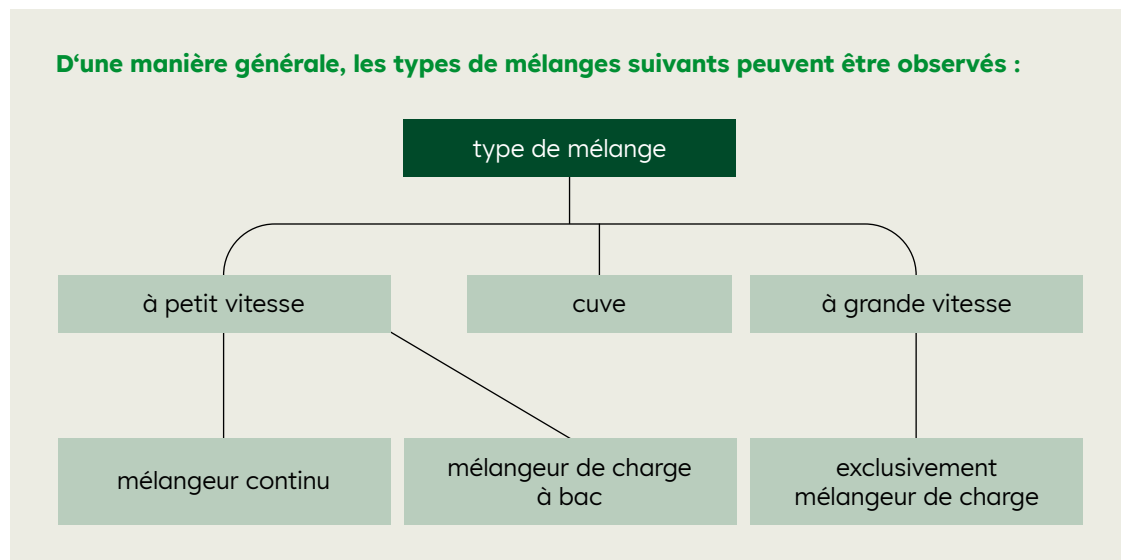


5. Aspect technique des machines de chantier

Mélange optimal pour des suspensions ThermoCem® stables et performantes

La qualité de la suspension à mettre en oeuvre n'est pas uniquement déterminée par le choix de cha-cun des composants. Les propriétés requises ne peuvent être obtenues, voire améliorées, qu'avec des mélangeurs adaptés.

D'une manière générale, les types de mélanges suivants peuvent être observés :





5.1 Procédé de malaxage

Les mélangeurs à petite vitesse sont principalement conçus pour les matériaux à granulométrie continue dont la consistance permet aussi le pompage. Les mélangeurs en continu sont généralement utilisés sur les chantiers de géothermie. En fonction du mélange réalisé, la qualité de la suspension ThermoCem peut être suffisante. Il est toutefois recommandé de faire un essai de convenance lors de l'achat d'une nouvelle machine.

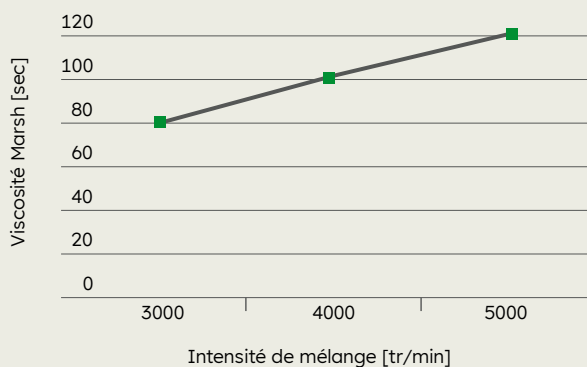
Les mélangeurs colloïdaux ou à haute turbulence brassent le mélange rapidement avec un effort de cisaillement élevé. Le coulis ThermoCem® PLUS dispersé atteint ainsi une mise en suspension optimale.

D'autre part, les mélangeurs colloïdaux présentent l'avantage de toujours être des mélangeurs de charge. Cela veut dire que l'utilisateur est toujours en mesure de respecter le rapport E/MS, mélanges après mélanges.

De plus, la suspension peut être appréciée de-visu. Si, pour des raisons géologiques (fissures, porosité) la viscosité de la suspension doit être augmentée, ceci est non seulement possible par modification du rapport E/MS mais également au moyen de la durée du brassage dans le mélangeur colloïdal.

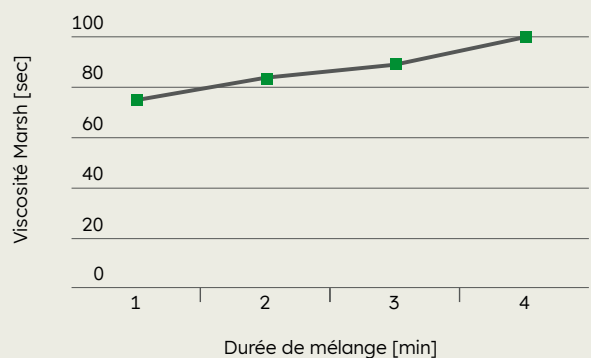
Viscosité ThermoCem® PLUS suivant l'intensité de préparation

(durée de préparation : 2 min.)



Viscosité ThermoCem® PLUS suivant la durée de préparation

(intensité de préparation : 1250 tr/min)



Pour mélanger, il ne faut pas oublier la simple cuve. Suivant la taille de la cuve et la pompe à vis sans fin de brassage, on peut obtenir de très bons résultats. L'avantage réside dans la durée de la préparation.

Le temps de préparation dans la cuve aura pour effet que le ThermoCem PLUS sera bien brassé. La viscosité et la densité de la suspension ainsi obtenue permettent un remplissage de forage géothermique de bonne qualité avec ThermoCem PLUS. Une quantité suffisante (par ex. 1000 litres) associée à un débit de pompage très élevé sera favorable au refoulement des boues de forages éventuellement présentes.

6. Remplissage du forage

Injection complète et résistante au volume dans le trou de forage avec ThermoCem®

6.1 Coulage sous l'eau

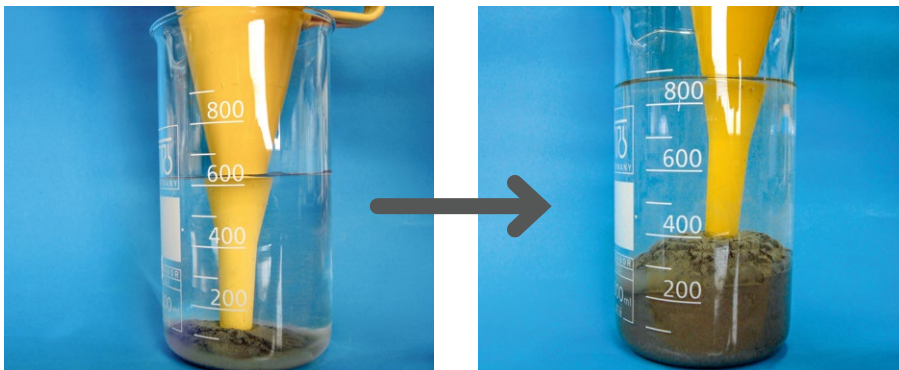
En général, le remplissage d'un forage géothermique doit être effectué sous eau. Cela signifie que le remplissage doit être réalisé par le fond du trou à l'aide d'un tuyau supplémentaire descendu jusqu'en pied de sonde ou à l'aide d'un packer d'injection.

Le remplissage selon cette méthode d'application est la condition préalable :

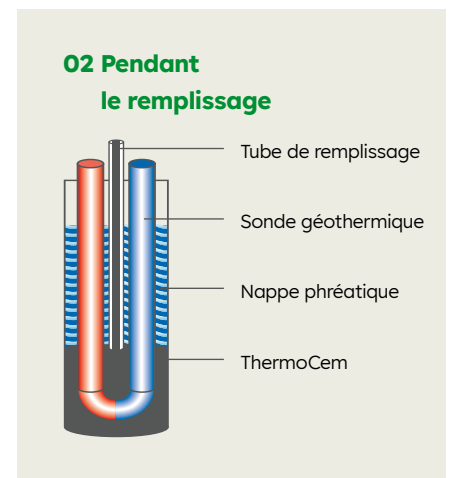
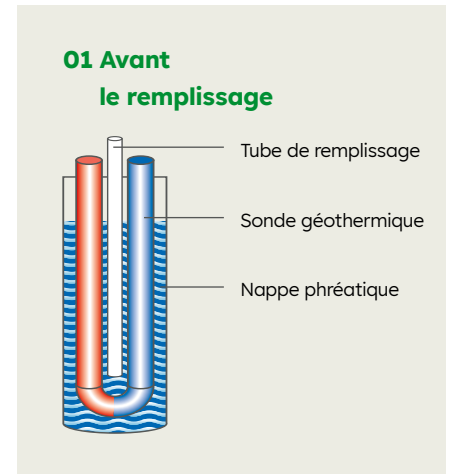
- de maintien de la suspension jusqu'à son durcissement,
- au refoulement contrôlé des boues de forage éventuellement présentes,
- à la prévention de ségrégation de suspension,
- au remplissage de la cavité.

En cas de non-respect de cette procédure, le matériau présente une ségrégation. En effet, la suspension se disperse dans l'eau ou la boue qui se trouve dans le trou de forage en séparant les grains par tailles et densités. La proportion d'eau augmente dans la suspension et peut même aller jusqu'à empêcher partiellement le durcissement.

Exemples d'applications :



Exemple de coulage par le fond sous eau ; suspension homogène.



Exemple de coulage par le dessus et de lessivage à travers l'eau = ségrégation.



6.2 Fin du remplissage

L'homogénéité du remplissage doit être régulièrement contrôlée par mesure de la densité de la suspension.



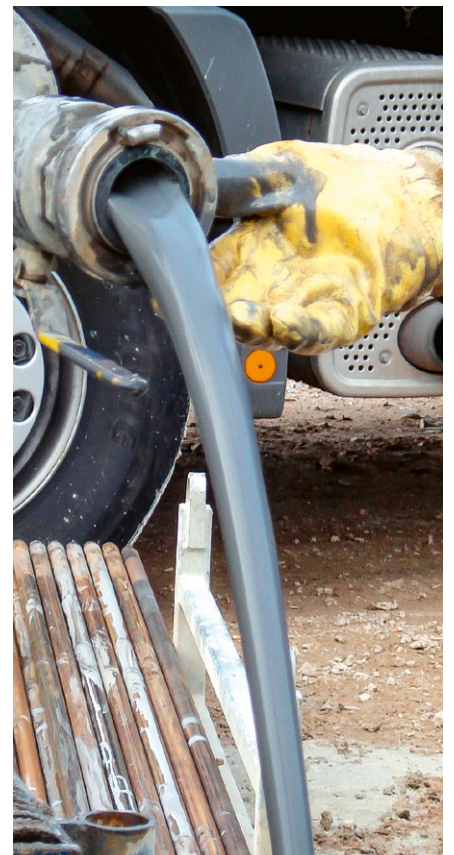
L'étude « Recherches pour la détermination des critères de qualité dans la construction de puits » (2003) a démontré que dans le cas des forages hydrauliques, il est particulièrement judicieux de comparer la densité de la suspension dans le mélangeur avec celle qui déborde du trou de forage. Si les mesures sont similaires, on peut considérer que les boues de forage ont été entièrement refoulées.



Refoulement d'eau du trou de forage.



Écoulement transitoire d'un mélange eau/coulis ThermoCem.



Écoulement final de la suspension ThermoCem.

7. Développement de la résistance à la compression et de la chaleur d'hydratation

Résistance à l'érosion, Test de réponse géothermique, Pose correcte des sondes

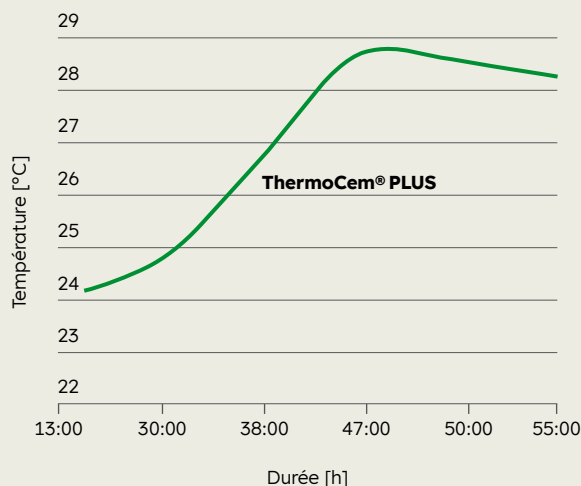
7.1 Processus de prise

Après avoir mélangé ThermoCem avec de l'eau, vous obtenez une suspension adaptée à sa mise en oeuvre. Grâce aux minéraux argileux que contient ThermoCem, une gélification (thixotropie) se produit lorsque la suspension est au repos. Ce n'est qu'après un certain temps que le processus de durcissement proprement dit démarre. Des cristaux se forment alors à la surface des particules de liant.

Lorsque ces cristaux remplissent tous les espaces entre les particules, la suspension se solidifie puis durcit. Cette hydratation est une réaction exothermique, c.-à-d. que de la chaleur est émise lors du processus de durcissement (chaleur d'hydratation).

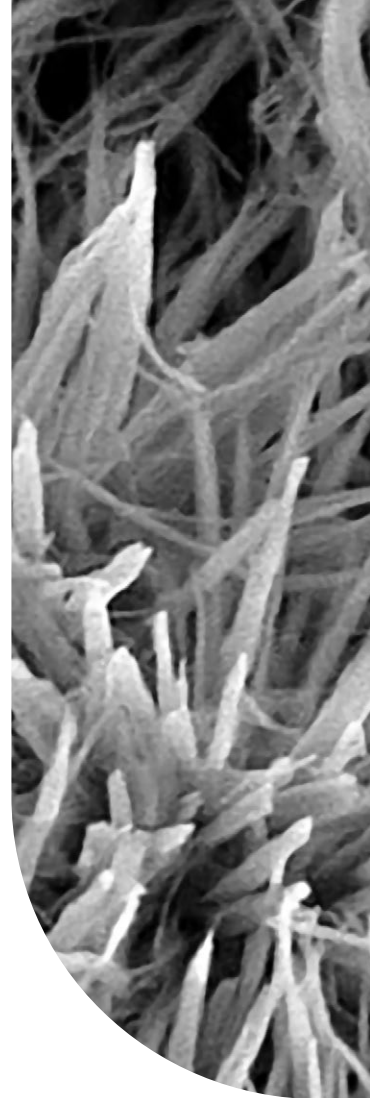
Phase de suspension (liquide) → **Phase Tixotrope** (gélification) → **Solidification** (ferme) → **Durcissement** (dur)

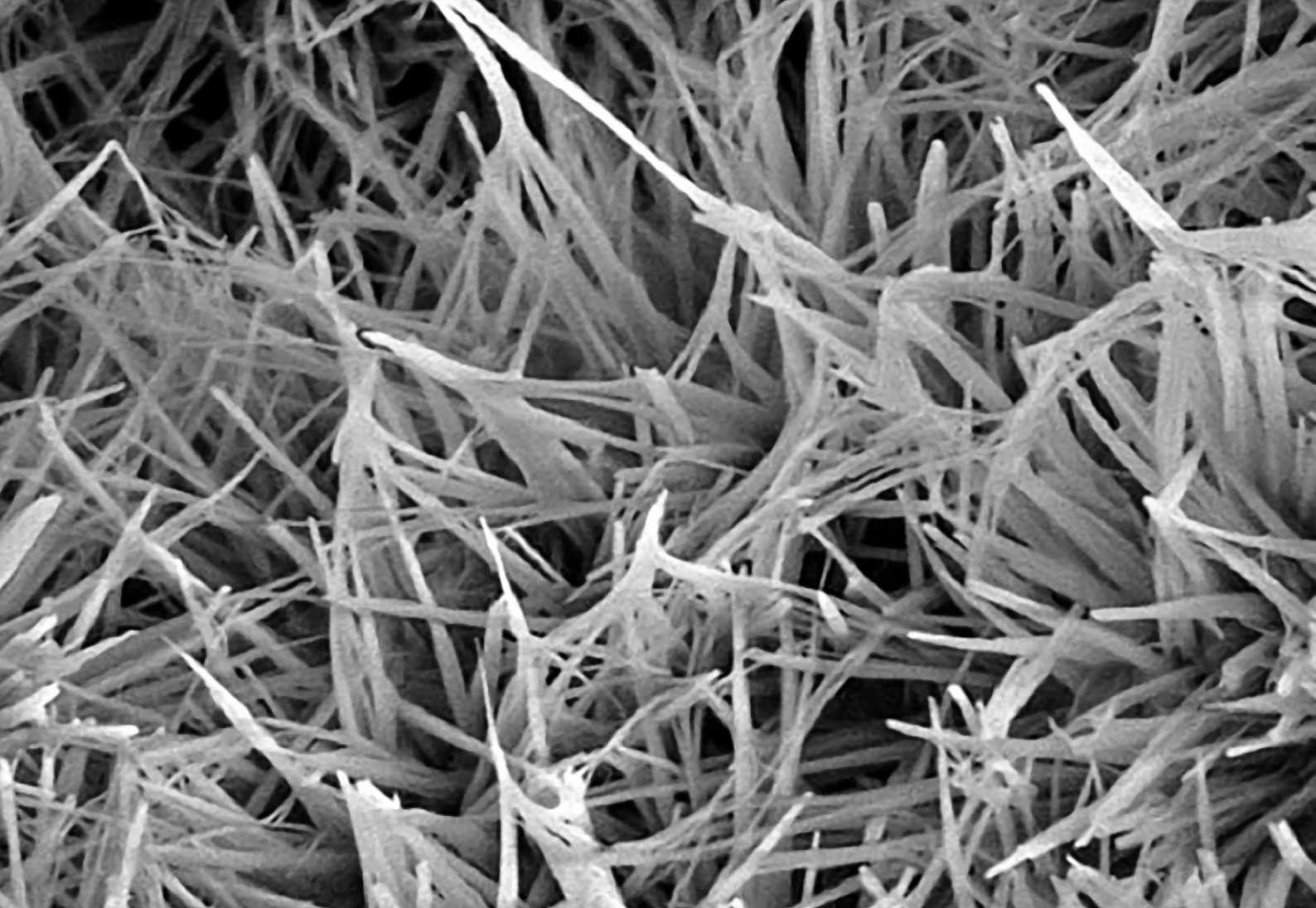
Développement des températures dans une sonde ThermoCem® sous conditions adiabatiques.



L'évaluation de la température qui règne lors de la prise du ThermoCem se fait sous conditions adiabatiques. Cette mesure part du cas de figure le plus pessimiste.

En laboratoire, une augmentation de température maximum de 5 °C est constatée pour une température de départ de 24 °C. Une telle augmentation de température ne doit normalement pas se développer dans le trou de forage, car les conditions environnementales sont différentes; c.-à-d. que la température de départ est en règle générale plus basse (eau de mélange de 10 à 20 °C) et que la chaleur générée peut s'échapper dans le terrain alentour plus froid.

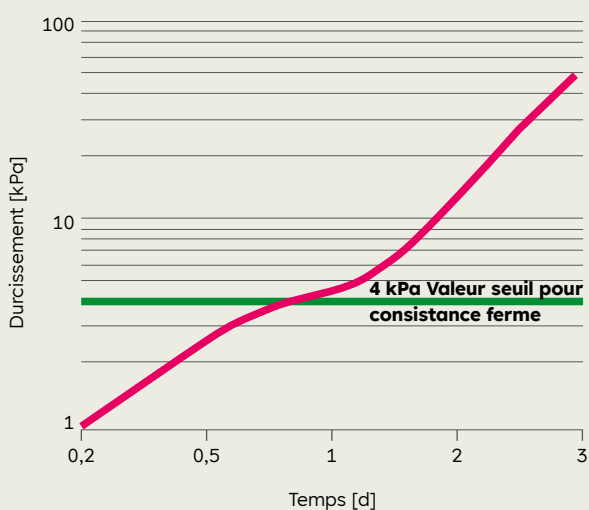




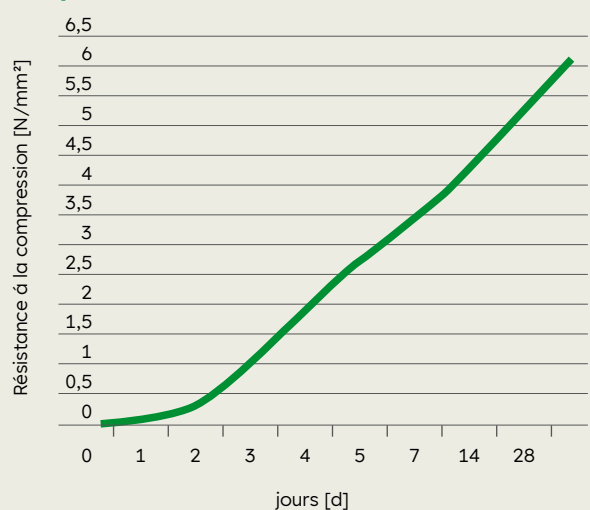
7.2 Progression de la prise primaire et finale

Le développement de la prise du ThermoCem dépend en grande partie des températures environnantes. D'une manière générale, la prise sera d'autant plus lente que la température environnante sera basse.

Progression de la prise primaire de ThermoCem® PLUS à une température environnante de 10 °C (mesure au scissomètre).



Progression de la résistance en compression ThermoCem® PLUS à une température environnante de 20 °C.



8. Résistance du trou de forage

Sécurité de fonctionnement, Transmission de la chaleur, Optimisation

La transmission de la chaleur du terrain au fluide caloporteur des sondes géothermiques et inversement dépend de la géométrie du trou de forage, de la pose des tubes de sonde dans le trou de forage ainsi que des propriétés des matériaux utilisés. Pour transférer de la chaleur, un gradient thermique suffisant est nécessaire. La conductivité thermique est déterminante pour assurer un bon fonctionnement des sondes. Le gradient thermique doit être d'autant moins grand que la conductivité est élevée.

Par conséquent, la résistance thermique effective dépend des paramètres suivants :

- conductivité thermique du matériau de remplissage
- matériau de la sonde
- distance qui sépare les sondes
- géométrie du trou de forage

Cette résistance thermique est désignée R_t , résistance du trou de forage. D'un point de vue purement analytique, elle correspond à un point, quel que soit sa profondeur. Avec un test de réponse thermique, il est possible de déterminer la résistance thermique effective R_t sur toute la longueur du forage. La résistance thermique effective

détermine le gradient thermique nécessaire pour assurer la transmission d'un certain flux thermique.

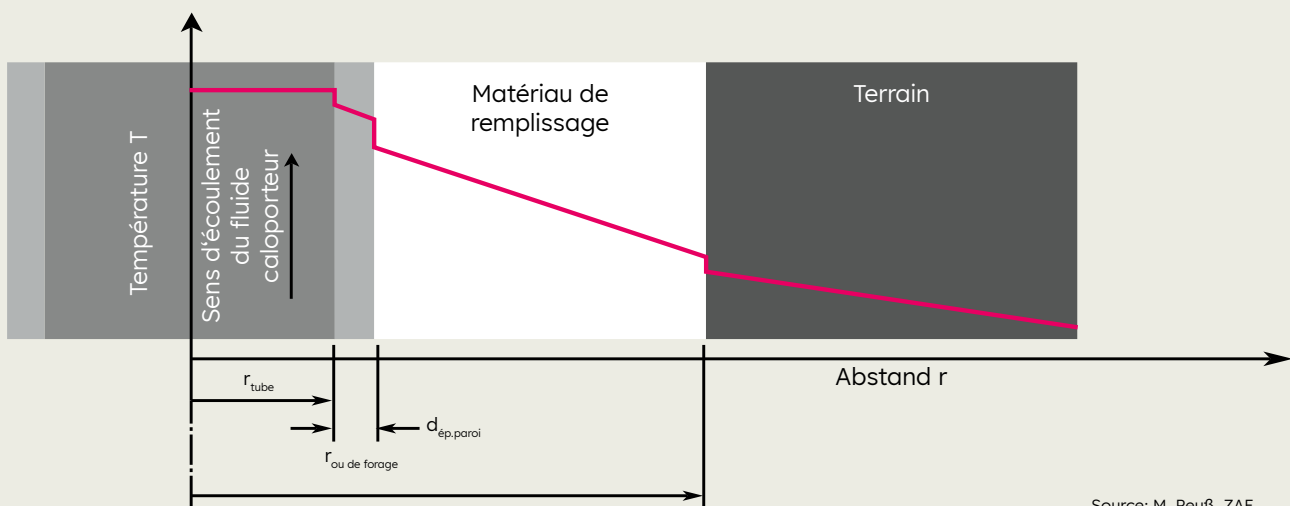
Exemple :

- Puissance d'extraction : 50 W/m
- Résistance thermique effective R_t^* (conductivité thermique d'un coulis $\lambda \approx 0,8 \text{ W/(mK)}$) = 0,12 K/(W/m)
- Résistance thermique effective R_t^* (conductivité thermique ThermoCem® PLUS $\lambda \approx 2,0 \text{ W/(mK)}$) = 0,07 K/(W/m)
- $50 \text{ W/m} \times 0,12 \text{ K/(W/m)} = 6 \text{ }^\circ\text{K}$
- $50 \text{ W/m} \times 0,07 \text{ K/(W/m)} = 3,5 \text{ }^\circ\text{K}$

Dans les exemples ci-dessus, pour un forage rempli avec ThermoCem, la baisse de température entre la sonde et le terrain est réduite d'environ 2,5 °K par rapport à un remplissage en matériau standard. Suivant le but recherché, chauffer ou rafraîchir, l'amélioration de la résistance thermique effective peut fortement contribuer à une amélioration de la puissance d'une installation géothermique.



Calcul de la résistance du forage



9. Résistance chimique aux eaux aquifères agressives

Pérennité, Résistance, Eaux aquifères agressives

9.1 Évaluation du degré d'agressivité

Une nette séparation des différents niveaux aquifères et une bonne stabilité des colonnes calo-porteuses ne peuvent être obtenues à long terme que si le matériau de remplissage utilisé présente une résistance chimique suffisamment élevée vis-à-vis des eaux du terrain. Dans le cas de matériaux de remplissage liés au coulis, le degré d'agressivité chimique peut être évalué au moyen de la norme DIN EN 206.

Cette norme précise les substances contenues dans l'eau susceptibles d'agresser le béton ainsi que les niveaux de pH. Pour chaque substance, les concentrations sont définies, lesquelles correspondent aux classes d'exposition XA1 (faible agressivité), XA2 (moyenne agressivité) ou XA3 (forte agressivité). L'évaluation est menée en prenant en

compte une à une chaque substance nocive et en considérant la plus haute classe d'exposition. En cas d'agression chimique, ceci doit être pris en considération dans le choix du matériau de remplissage.

Nous attirons l'attention sur le fait qu'il faut contrôler l'éventuelle agressivité des eaux aquifères sur le coulis durci par une analyse des eaux spécifique à chaque projet. Pour évaluer le potentiel d'agressivité des eaux aquifères, il faut au minimum déterminer dans le cadre de cette analyse le taux de pH, la conductivité électrique ainsi que la concentration de sulfates, de magnésium, d'ammonium et acides carboniques dissolvant le calcaire classés comme agressifs envers le béton selon la norme DIN EN 206.

Substances contenues dans l'eau corrosives du béton.

Valeurs limites des classes d'exposition selon la norme DIN EN 206. Source : DIN

Classe d'exposition	XA1	XA2	XA3
Substances contenues dans l'eau	faible agressivité	moyenne agressivité	forte agressivité
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	200-600	> 600-3000	> 3000-6000
NH ₄ ⁺ [mg/l]	15-30	> 30-60	> 60-100
Mg ²⁺ [mg/l]	300-1000	> 1000-3000	> 3000 jusqu'à saturation
Valeur pH	6,5-5,5	< 5,5-4,5	< 4,5 et ≥ 4,0
CO ₂ (aq) [mg/l]	15-40	> 40-100	> 100 jusqu'à saturation



9.2 Résistance aux sulfates et aux acides de carbone dissolvant le calcaire

Afin d'obtenir une résistance chimique élevée de ThermoCem PLUS aux eaux sulfatées, ce produit utilise exclusivement un ciment à haute résistance aux sulfates selon la norme DIN 1164. De plus, la formule de ce matériau de construction est conçue de telle sorte qu'il présente une résistance chimique nettement plus élevée aux attaques acides (par ex. acide carbonique dissolvant la chaux) par rapport à un matériau de remplissage standard (par ex. Dämmer - L'original).

La résistance chimique de ThermoCem PLUS à une attaque par l'acide carbonique a été étudiée dans nos laboratoires dans le cadre de séries d'essais très complètes. L'essentiel de ces études a consisté en des essais de stockage au cours desquels les corps de matériaux de construction stockés ont été baignés d'eau gazeuse pendant 90 jours et le ramollissement de la surface des corps d'essai a été documenté. La mesure du ramollissement de la surface a été effectuée grâce à la profondeur de pénétration de l'aiguille Vicat selon la norme DIN EN 196-3.

La concentration en acide carbonique de l'eau de stockage était de 100 mg par litre, ce qui correspond à la classe d'exposition XA3 (forte attaque chimique). L'écoulement permanent d'eau fraîche gazeuse autour des éprouvettes simule le scénario du « pire cas ».

Par rapport à la situation d'une construction réelle, l'essai de stockage provoque donc un ramollissement accéléré du matériau de construction et crée ainsi un effet d'accélération du temps. Cela permet, malgré la durée limitée de l'essai, de procéder à une estimation de l'influence des polluants sur une période plus longue.

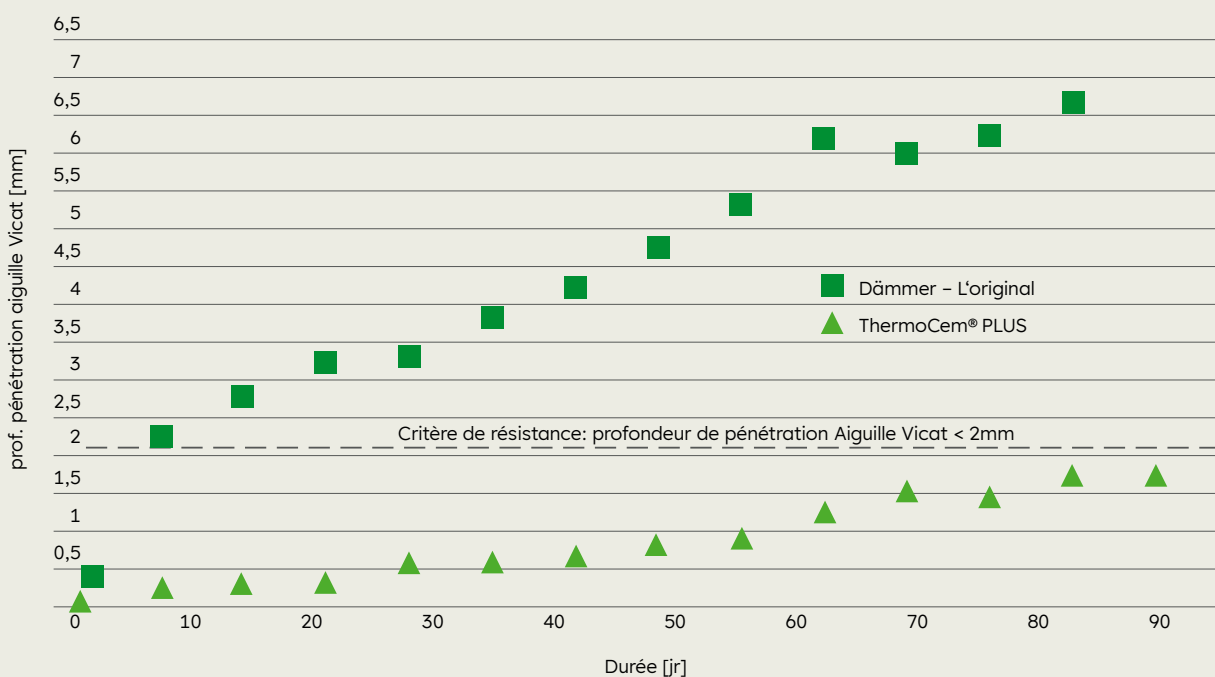
Même dans ces conditions d'essai extrêmes, ThermoCem PLUS ne présente qu'un faible ramollissement de la surface.

ThermoCem PLUS répond au critère de résistance connu dans le domaine des parois étanches, à savoir une profondeur de pénétration de l'aiguille < 2 mm après 90 jours de stockage.

En revanche, le ramollissement de la surface d'un matériau de remplissage standard (Dämmter - L'original) dépasse de plus de trois fois ce critère de résistance.

Résistance chimique à des acides de carbone dissolvant le calcaire

Développement du ramollissement de surface en fonction de la durée. Concentration en acides carboniques de l'eau de stockage 100 mg/l (Classe d'exposition XA3, forte agressivité chimique).



10. Résistance gel-dégel de ThermoCem® PLUS et ThermoCem® Basic

Remplissage sûr sans endommager la structure ni compromettre l'effet d'étanchéité

Si les sondes géothermiques extraient plus de chaleur du terrain environnant qu'il ne peut en fournir (par ex. installation mal calculée ou modification des conditions d'utilisation), le terrain autour des sondes refroidit et peut même éventuellement geler. Si de telles conditions apparaissent de manière répétitive en raison d'une forte extraction temporaire pour satisfaire des pics de demande, le matériau de remplissage qui entoure la sonde sera soumis à des cycles de gel-dégel. Si le matériau de remplissage utilisé ne présente pas une bonne résistance gel-dégel, il se produit alors des fissures et des dommages apparaissent dans la structure.

Il n'existait jusqu'à présent aucune directive permettant d'évaluer la résistance au gel-dégel de coulis de scelle-

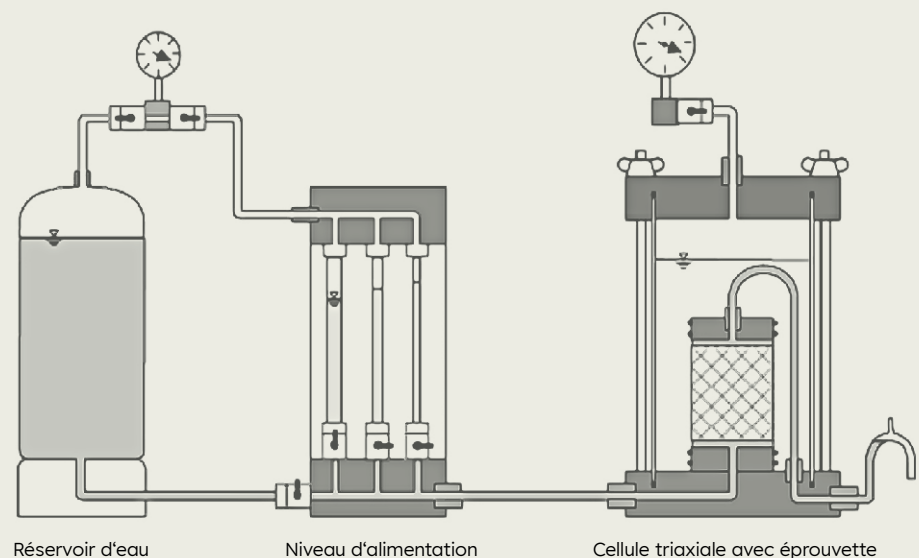
ment des sondes géothermiques. C'est la raison pour laquelle nous avons mis au point un essai gel-dégel adapté au domaine du béton et plus spécifiquement aux sondes géothermiques.

Au cours de cet essai, des cylindres de coulis durci de 28 jours (100 mm de hauteur, 100 mm de diamètre) sont soumis à 10 cycles de gel-dégel.

Chacun des cycles suit un protocole de températures conforme à la norme de béton autrichienne B3303 :

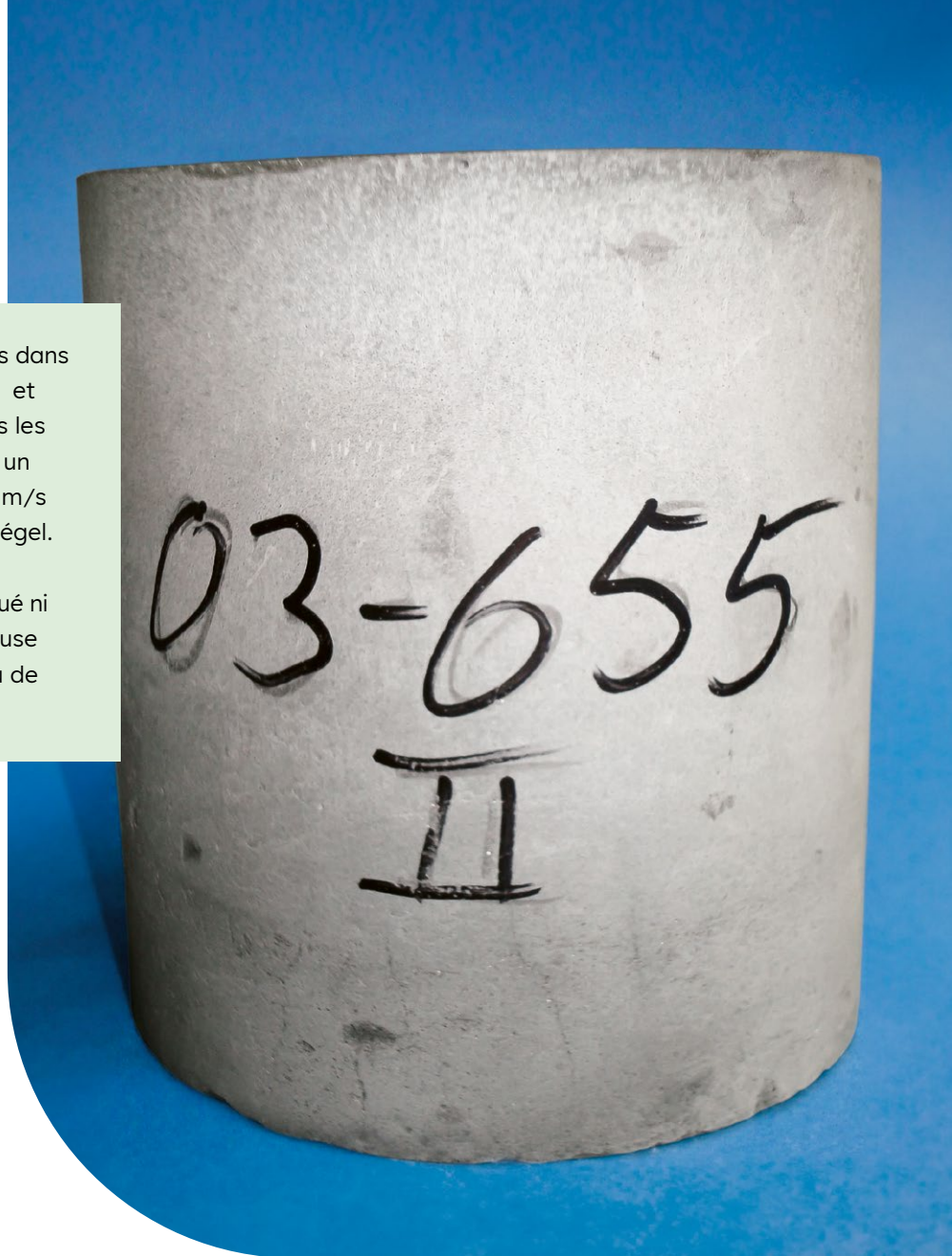
- refroidissement pendant 8 heures de + 10 °C à -10 °C,
- 4 heures à température constante de -10 °C,
- 8 heures de réchauffement de -10 °C à + 10 °C,
- 4 heures de température constante de + 10 °C

Cellule triaxiale selon la norme DIN 18130 (de Horst 1997)



Lors de ces séries d'essais effectuées dans notre laboratoire, ThermoCem PLUS et ThermoCem Basic ont présenté sous les conditions d'essais strictes décrites un coefficient de perméabilité $< 1.10^{-10}$ m/s tant avant qu'après le test au gel-dégel.

Les cycles de gel-dégel n'ont provoqué ni dommages de structure ni mis en cause la fonction d'étanchéité du matériau de scellement.



ThermoCem PLUS après 10 cycles gel-dégel, bain d'eau permanent.



ThermoCem Basic après 10 cycles gel-dégel, bain d'eau permanent.

Les éprouvettes sont stockées en ambiance humide. La base des échantillons est baignée en permanence dans l'eau afin de simuler la pénétration d'eaux souterraines dans la zone soumise aux cycles de gel-dégel autour des sondes géothermiques.

Le critère étudié est le coefficient de perméabilité (K) de la sonde concernée. Celui-ci est déterminé avant et après l'essai de gel-dégel dans une cellule triaxiale selon la norme DIN 18 130 avec un gradient hydraulique de $i = 30$.

Un matériau de remplissage ne peut remplir sa fonction d'étanchéité durablement que s'il présente avant et après l'essai une faible perméabilité.

11. Preuves géophysiques du remplissage de l'espace annulaire

Remplissage complet de l'espace annulaire pour la construction de sondes géothermiques

Contrôle de Niveau de remplissage avec ThermoCem® PLUS magnétique dopé

Les directives en matière de qualité développées pour la construction de sondes géothermiques exigent la preuve complète du remplissage de l'espace annulaire.

Une possibilité est de le prouver à l'aide de méthodes géophysiques. On peut clairement identifier les matériaux de remplissage magnétiquement dopés en utilisant des sondes magnétomètres. La miniaturisation de cette technologie de mesure permet, avec des magnétomètres à faible encombrement, de parcourir en profondeur les tuyaux de la plupart des sondes géothermiques.

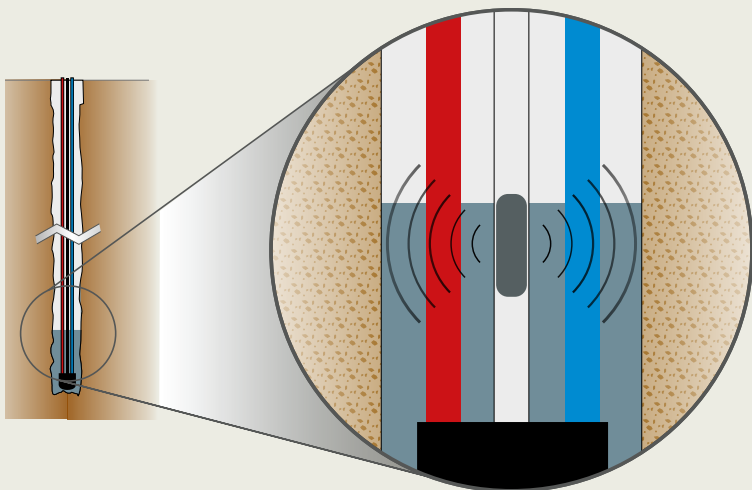
ThermoCem PLUS « dopé » est un matériau de remplissage magnétiquement dopé.

Il est ainsi possible avec la technique de mesure décrite de prouver clairement la présence ou l'absence de matériaux de remplissage dans l'espace annulaire par le biais de la mesure de la susceptibilité magnétique.

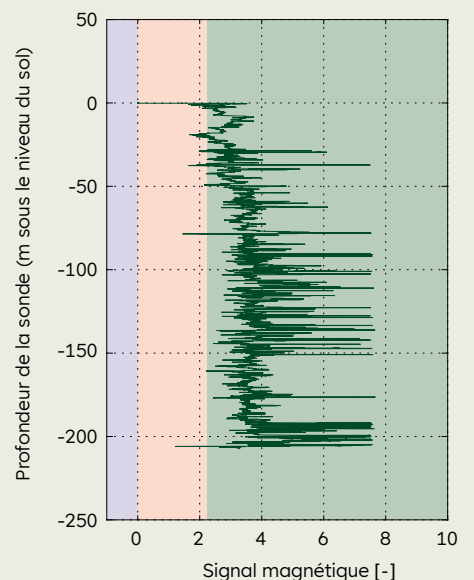
L'utilisation du ThermoCem PLUS « dopé » permet non seulement de mesurer l'accroissement de la colonne de suspension lors du remplissage de l'espace annulaire, mais également de répéter les mesures à un moment ultérieur.

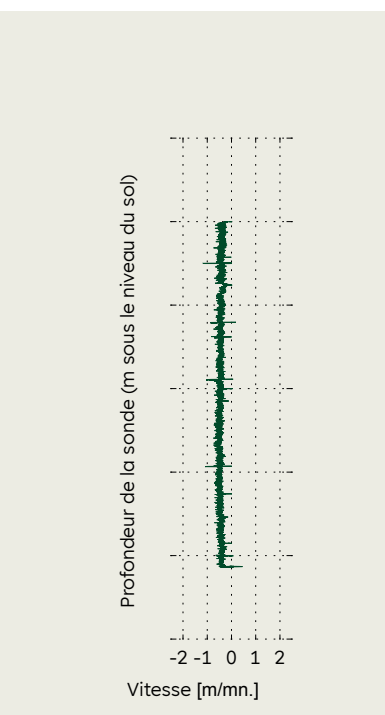


Preuve du remplissage de l'espace annulaire



Présentation de la valeur mesurée exemplaire





Capteur, Codeur incrémental, Saisie de données.
SENSYS GmbH



Sonde de mesure. SENSYS GmbH



Nous attirons votre attention sur le fait que l'obtention des propriétés mentionnées pré-suppose une fabrication et une mise en œuvre appropriées du matériau de construction ainsi qu'une préparation adéquate sur le chantier, à effectuer selon l'état de la technique.