

# THERMOCEM®

Le coulis de ciment écocompatibles à  
conductivité thermique exceptionnelle

HEIDELBERGCEMENT





## CONTENU

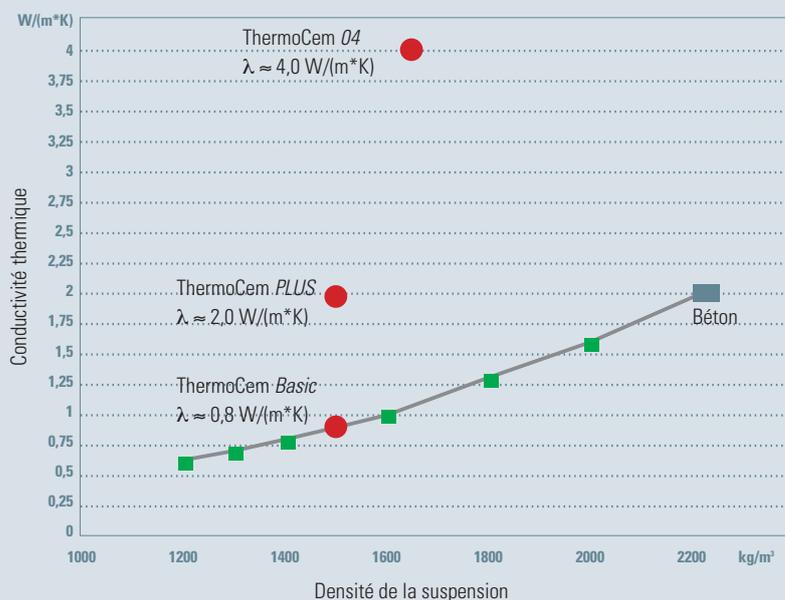
<b>1. Description du produit</b>	<b>3</b>
<b>2. Comment améliorer la conductivité thermique</b>	<b>3</b>
<b>3. Propriétés de la suspension</b>	<b>4</b>
3.1 Fluidité	4
3.2 Exsudation	5
<b>4. Consignes de mise en oeuvre</b>	<b>6</b>
4.1 Eau de gâchage	6
4.2 Assurance de la qualité sur chantier	7
<b>5.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



Pour des projets demandant une plus faible conductivité thermique du matériau de remplissage, nous proposons avec ThermoCem *Light* une alternative idéale avec  $\lambda \approx 1,0 \text{ W/mK}$ .

## 1. Description du produit ThermoCem® *PLUS*

- 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

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  $\lambda \approx 2,0 \text{ W/mK}$ . Leur dosage et la rhéologie du matériau sont dans ce cas précisément adaptés aux sondes géothermiques.

### 3. Propriétés de la suspension

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



#### 3.1 FLUIDITÉ

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'é couler d'un entonnoir (contenance de l'entonnoir env. 1,5 l) présentant une ouverture d'env. 5 mm.

##### Valeur indicative de fluidité

- 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.

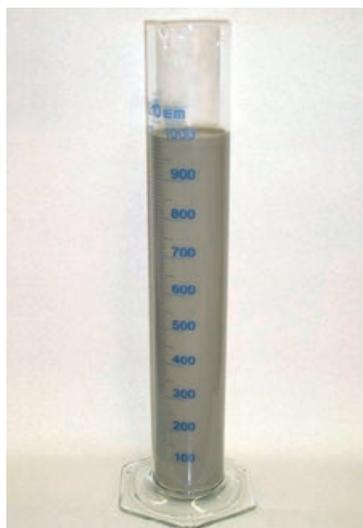


↑  
Effet thixotrope après repos.

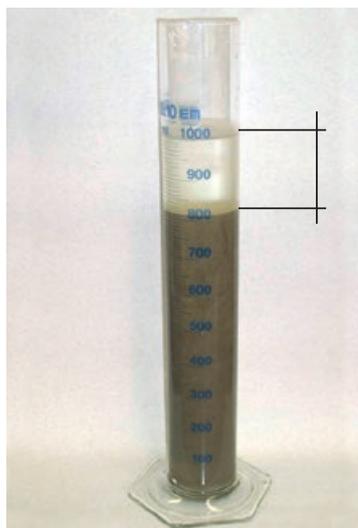


← Détermination de la fluidité après le mélange.

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



↑ 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.

### 3.1 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

## 4. Consignes de mise en oeuvre



### 4.1 EAU DE GÂCHAGE

**ThermoCem PLUS est un produit prêt à gâcher auquel il suffit d'ajouter de l'eau sur le chantier. Les propriétés 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:

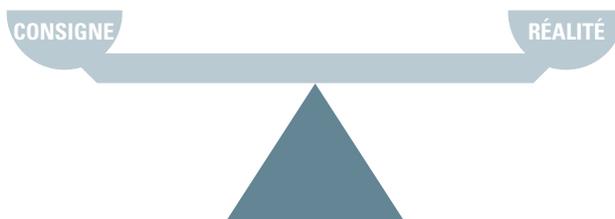
**Préparer 80 litres d'eau et y ajouter 4 sacs de ThermoCem → ce qui donne env. 124 litres de suspension.**

**Pour remplir 1.000 litres de cavité:** 810 kg ThermoCem et 650 litres d'eau sont nécessaires. Densité de la suspension env. 1.460 kg/m<sup>3</sup>. Le rapport eau/mat. solide (E/MS) permet également de déterminer le besoin en eau par sac de 25 kg :  $E = MS \times 0,80 = 25 \text{ kg, ThermoCem} \times 0,8 = 20 \text{ litres d'eau}$ . Le volume de coulis occupé par sac de 25 kg mélangé est alors d'env. 31 litres.

Nombre de sacs	Quantité de ThermoCem	Quantité d'eau à ajouter	Quantité de suspension
[pce]	[kg]	[l]	[l]
1	25	20	31
2	50	40	62
3	75	60	93
4	100	80	124
5	125	100	155
6	150	120	186

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

←  
Balance à boue



→  
Densimètre



←  
5 kg Balance ménagère

## 4.2 ASSURANCE DE LA QUALITÉ SUR LE 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:

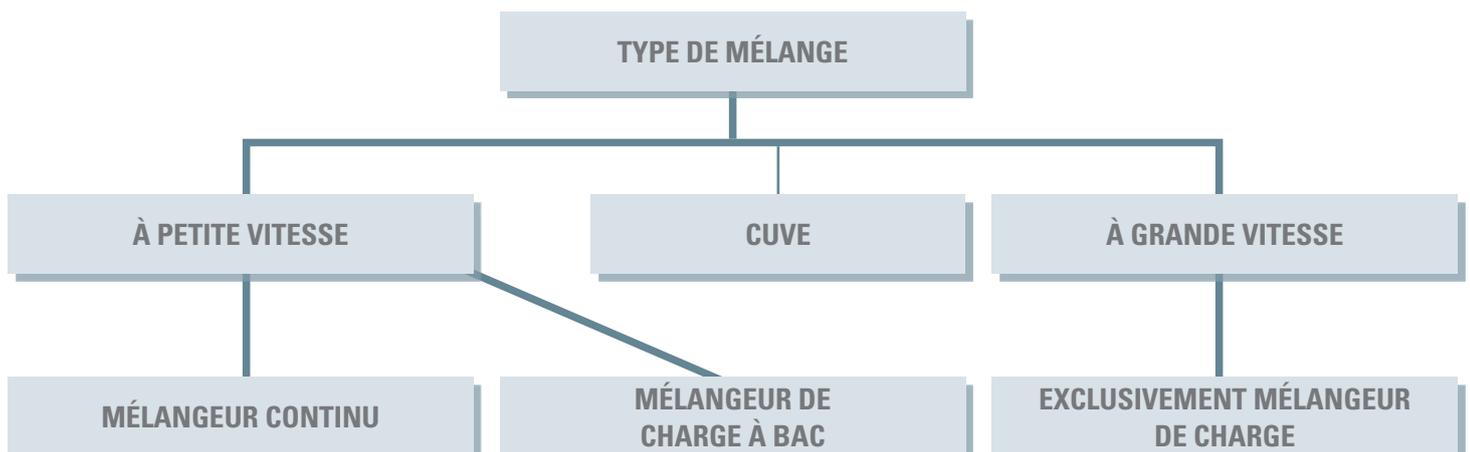
Propriétés techniques	Augmentation de la quantité d'eau	Réduction de la quantité d'eau
<b>Viscosité</b>	Diminution de la viscosité	Augmentation de la viscosité
<b>Exsudation</b>	Augmentation de l'exsudation	Diminution de l'exsudation
<b>Conductivité thermique</b>	Diminution de la conductivité thermique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

## 5. Aspect technique des machines de chantier



### 5.1 PROCÉDÉ DE MALAXAGE

La qualité de la suspension à mettre en oeuvre n'est pas uniquement déterminée par le choix de chacun 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:





**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.**

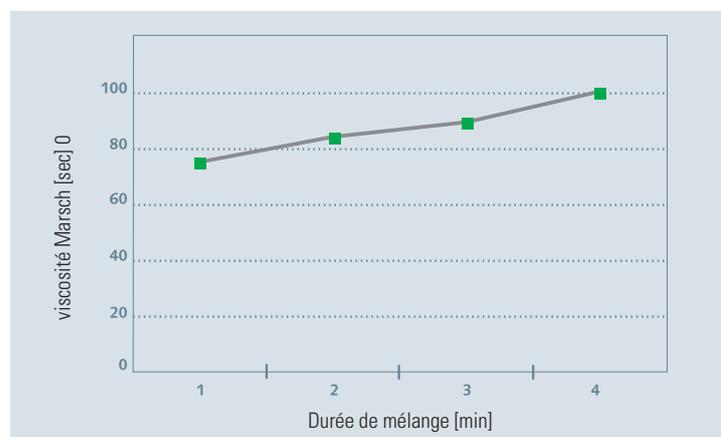
Les mélangeurs colloïdaux ou à haute turbulence brassent le mélange rapidement avec un effort de cisaillement élevé. Le coulis ThermoCem *PLUS* dispersé atteint ainsi une mise en suspension optimale.

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.

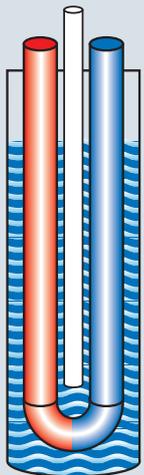
## 6. Remplissage du forage

### 6.1 COULAGE SOUS L'EAU

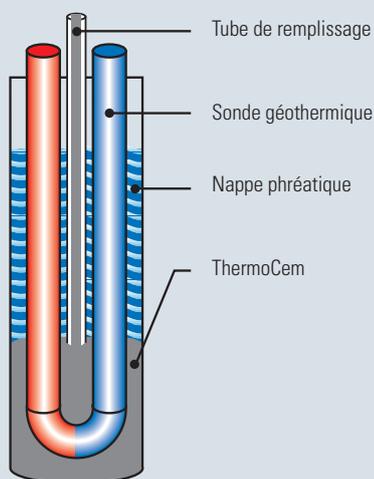
En général, le remplissage d'un forage géothermique doit être effectué sous eau. Cela signifie que le remplissage doit être réalisé par le fond du trou à l'aide d'un tuyau supplémentaire descendu jusqu'en pied de sonde ou à l'aide d'un packer d'injection.

**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.



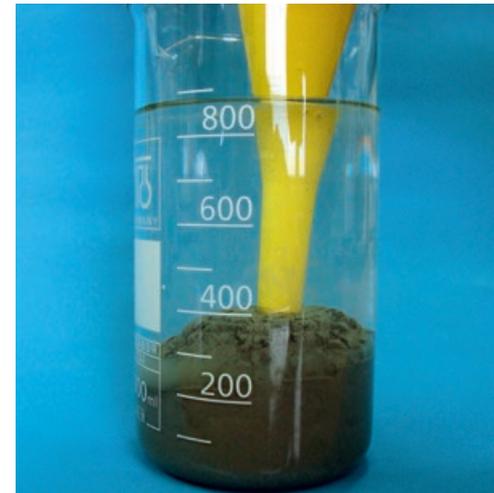
Avant le remplissage



Pendant le remplissage



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



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

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.



↑  
Refolement d'eau du trou de forage.



↑  
Écoulement transitoire d'un mélange eau/coulis ThermoCem.



↑  
Écoulement final de la suspension ThermoCem.

## 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.

## 7. Développement de la fermeté et de la chaleur d'hydratation

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

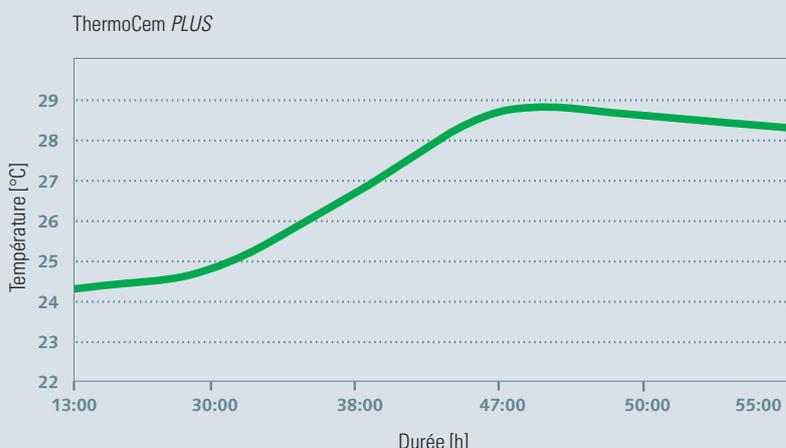
Source: Stark et al. 2001

### 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 process 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).

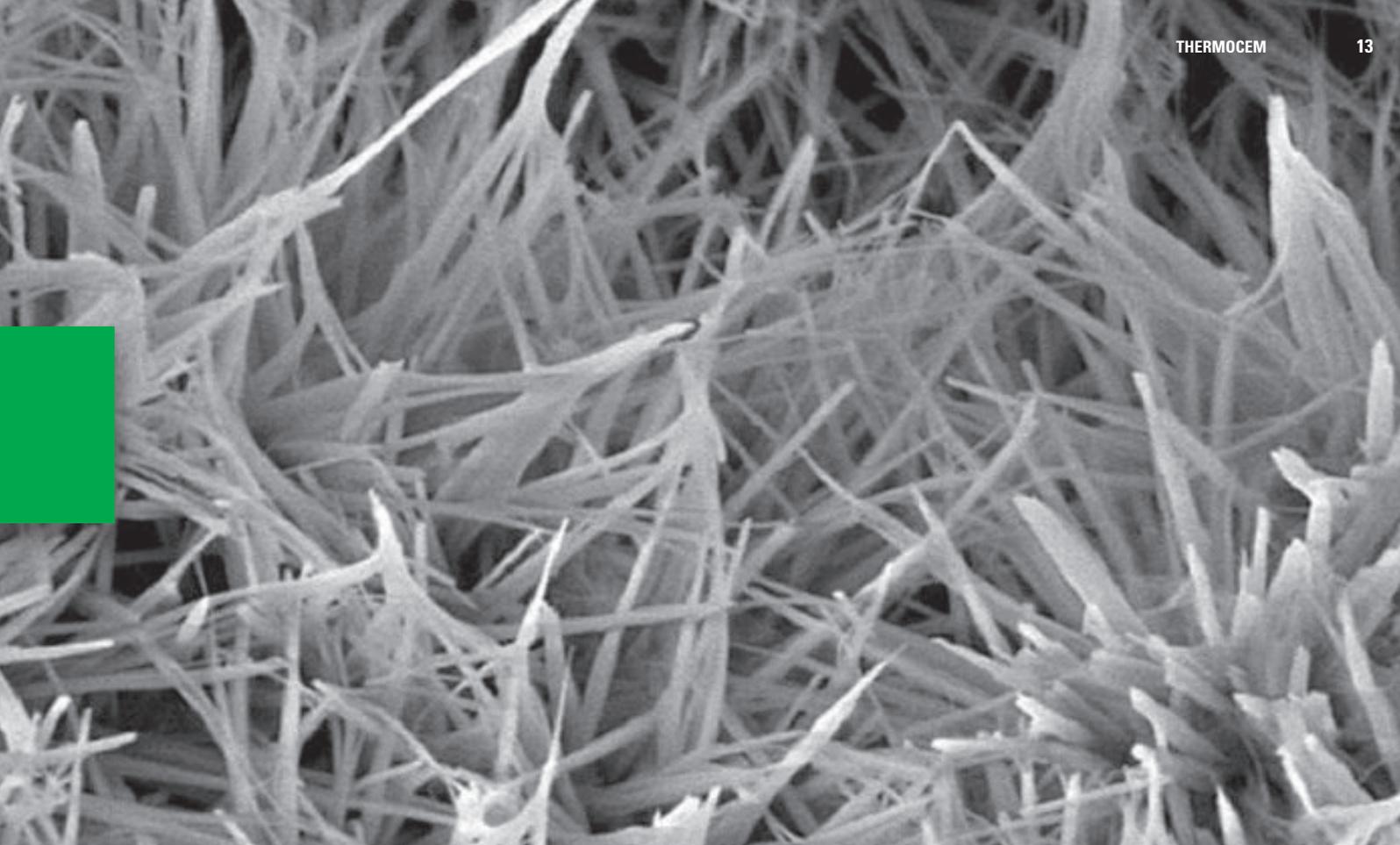
**PHASE DE SUSPENSION** (liquide) → **PHASE THIXOTROPE** (gélification) → **SOLIDIFICATION** (ferme) → **DURCISSEMENT** (dur)



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

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)

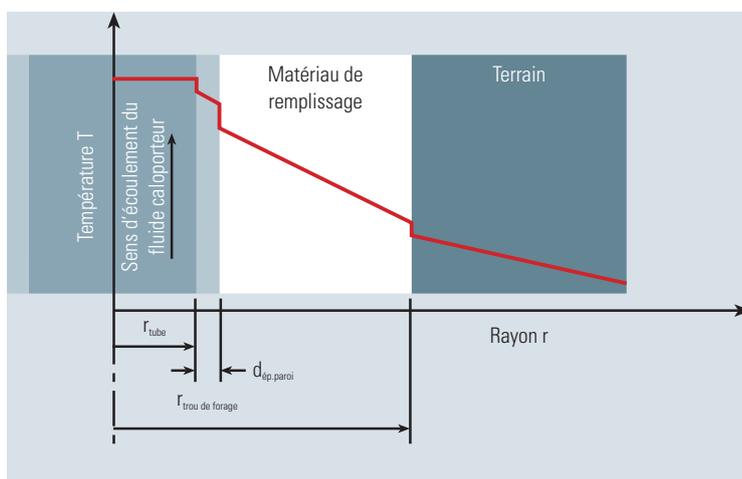
**Dans ce cas, la baisse de température sera respectivement de:**

- $50 \text{ W/m} \times 0,12 \text{ K/(W/m)} = 6 \text{ }^\circ\text{K}$
- $50 \text{ W/m} \times 0,07 \text{ K/(W/m)} = 3,5 \text{ }^\circ\text{K}$

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.



Sécurité de fonctionnement,  
Transmission de la chaleur,  
Optimisation



Source: M. Reuß, ZAE

## 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.

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

Substances contenues dans l'eau corrosives du béton. Valeurs limites des classes d'exposition selon la norme DIN EN 206.

Source : DIN



## 9. Résistance chimique aux eaux aquifères agressives

### 9.2 RÉSISTANCE AUX SULFATES ET AUX ACIDES DE CARBONE DISSOLVANT LE CALCAIRE

**Pour que ThermoCem *PLUS* et ThermoCem *Light* atteignent une forte résistance chimique à des eaux contenant des sulfates, seul un ciment présentant une forte résistance aux sulfates (cfr norme DIN 1164) est utilisé dans ces produits. D'autre part, ces matériaux de construction sont formulés pour résister beaucoup mieux aux acides agressifs (par ex. acides de carbone dissolvant le calcaire) que des matériaux plus classiques (par ex. Dämmert – das Original, coulis de ciment classique).**

La résistance chimique de ThermoCem *PLUS* et ThermoCem *Light* à l'agressivité des acides de carbone a été amplement testée lors de nombreuses séries d'essais dans nos laboratoires et principalement lors d'essais de stockage sous effluents agressifs. Ces matériaux ont alors été soumis à des courants d'eau contenant des acides de carbone ( $H_2CO_3$ , ...) pendant 90 jours et leur altération éventuelle appréciée par mesure de la consistance superficielle. Ce ramollissement

superficiel a été mesuré par relevé de la profondeur de pénétration de l'aiguille de Vicat selon la norme DIN EN 196-3.

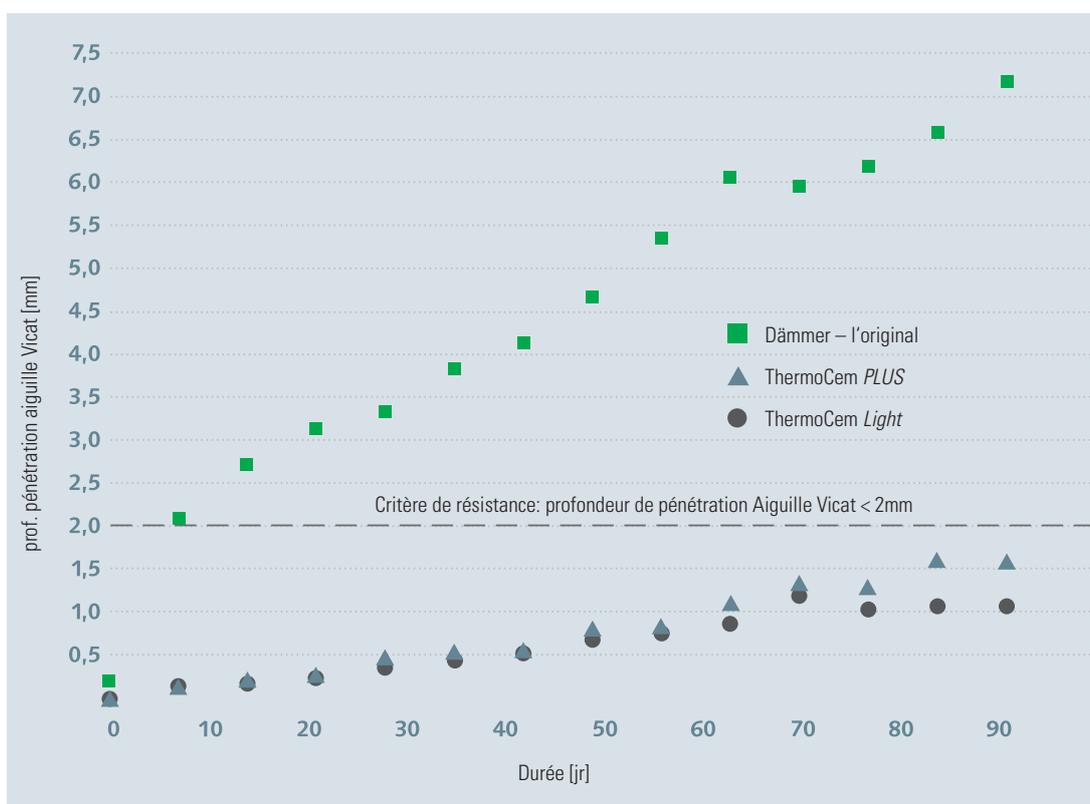
La concentration d'acides de carbone de l'eau de stockage était de 100 mg par litre correspondant ainsi à la classe d'exposition XA3 (forte agressivité chimique). Les courants permanents d'eau fraîche contenant des acides de carbone auxquels furent soumis les échantillons correspondaient à un scénario de corrosion extrême.

Comparé à une situation réelle sur le terrain, un ramollissement accéléré du matériau de construction est provoqué dans l'essai en stockage. Ceci permet, malgré la durée limitée de l'essai d'évaluer l'influence des substances corrosives à long terme.

Même sous ces conditions d'essais extrêmes, ThermoCem *PLUS* et ThermoCem *Light* n'ont présenté qu'un ramollissement superficiel de consistance inférieure à 2 mm.

Les deux matériaux de construction répondent au critère de résistance connu pour les parois d'étanchéité pour lequel la valeur limite de pénétration d'une aiguille est  $< 2\text{mm}$  après 90 jours de durée de stockage.

A contrario, le ramollissement superficiel d'un coulis standard (Dämmer – Das Original) dépasse de plus de trois fois ce critère limite 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

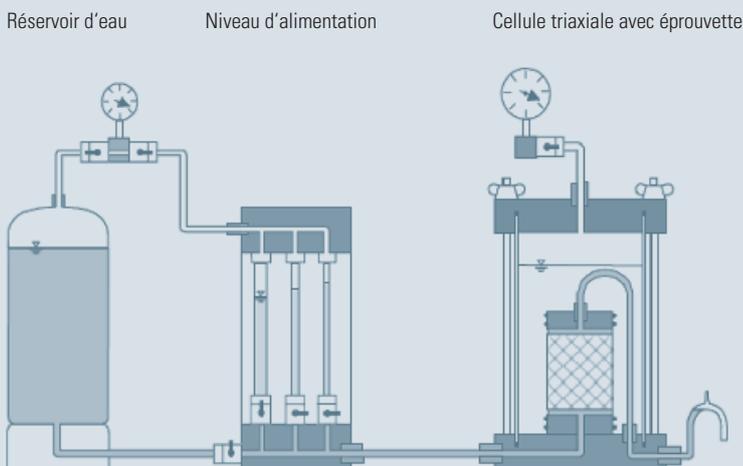
**Si les sondes géothermiques extraient plus de chaleur du terrain environnant qu'il ne peut en fournir (par ex. installation mal calculée ou modification des conditions d'utilisation), le terrain autour des sondes refroidit et peut même éventuellement geler. Si de telles conditions apparaissent de manière 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 scellement 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.

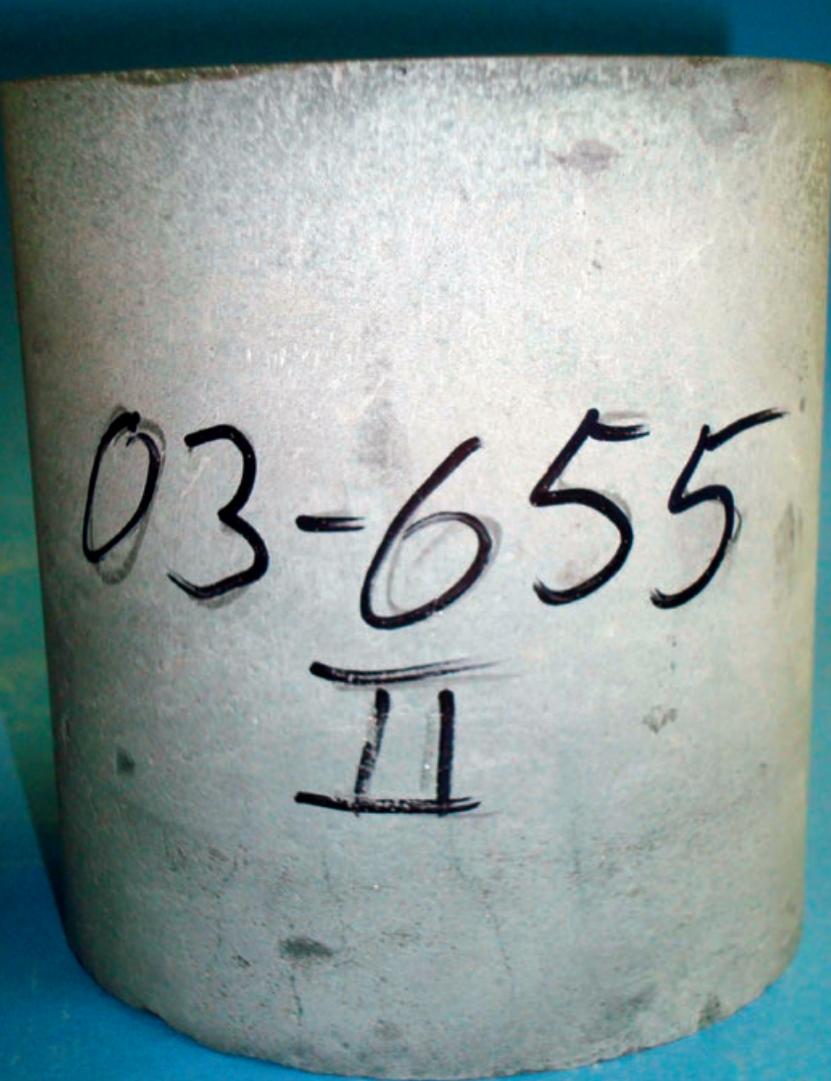
### CHACUN DES CYCLES SUIT UN PROTOCOLE DE TEMPÉRATURES CONFORME À LA NORME DE BÉTON AUTRICHIENNE B3303:

- 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)





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

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.



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.

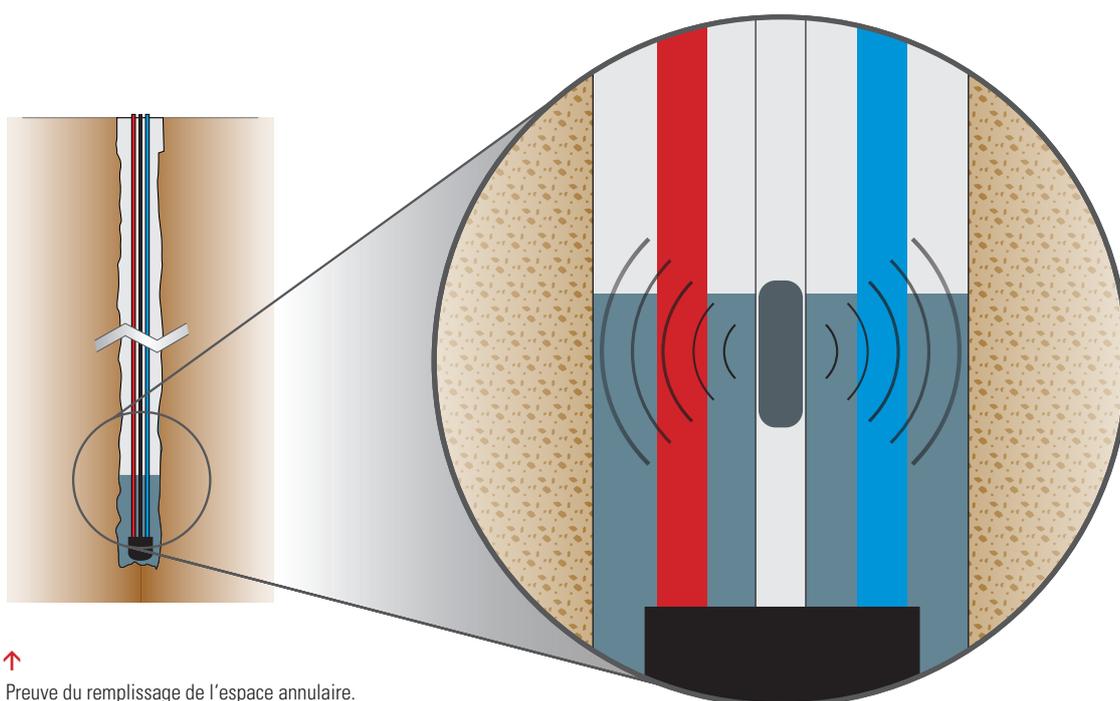


ThermoCem *Basic* après 10 cycles gel-dégel,  
bain d'eau permanent.

## 11. Preuves géophysiques du remplissage de l'espace annulaire



CONTRÔLE DE NIVEAU DE REMPLISSAGE AVEC THERMOCEM® PLUS MAGNÉTIQUE DOPÉ





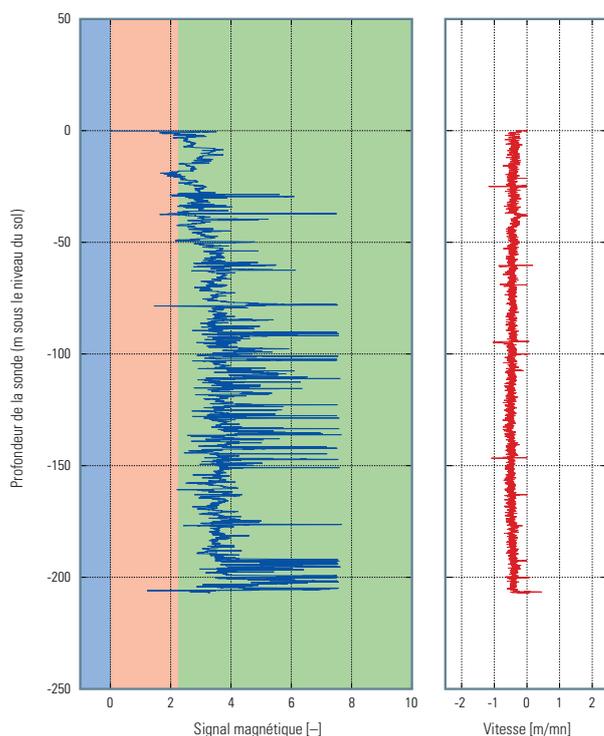
← Capteur, Codeur incrémental,  
Saisie de données.  
SENSYS GmbH

### 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.



↓ Sonde de mesure. SENSYS GmbH



← Présentation de la valeur mesurée exemplaire.





WWW.HEIDELBERGCEMENT.DE

**HEIDELBERGCEMENT**

**HeidelbergCement AG**

Zur Anneliese 7

59320 Ennigerloh

Téléphone +49 2524 29-51700

Téléfax +49 2524 29-51715

E-Mail [spezialtiefbau@](mailto:spezialtiefbau@heidelbergcement.com)

[heidelbergcement.com](http://heidelbergcement.com)

[www.heidelbergcement.de/spezialtiefbau](http://www.heidelbergcement.de/spezialtiefbau)



Nous voudrions souligner que l'obtention des propriétés mentionnées nécessite tant une production appropriée qu'une préparation et mise en oeuvre sur site conformes aux règles de l'art.