

# SILICON

*Votre partenaire pour tous vos besoins en  
ancrages réfractaires*



## **Tuyères en cimenteries:**

---

**Amélioration de la durée de vie des  
tuyères dans les cimenteries**

## ■ Contenu

- Introduction..... 2
- Corrosion des tuyères..... 3
- La bonne conception d'ancrage..... 3
- Identifier les bons matériaux..... 3
- Ancrages SpeedCell® VS ancrages en V..... 4
- Installation avec Soudage à l'Arc Rapide (RAW)..... 5
- Bénéfices commerciaux..... 7
- Conclusion..... 8

### **Brevets – Design protégé**

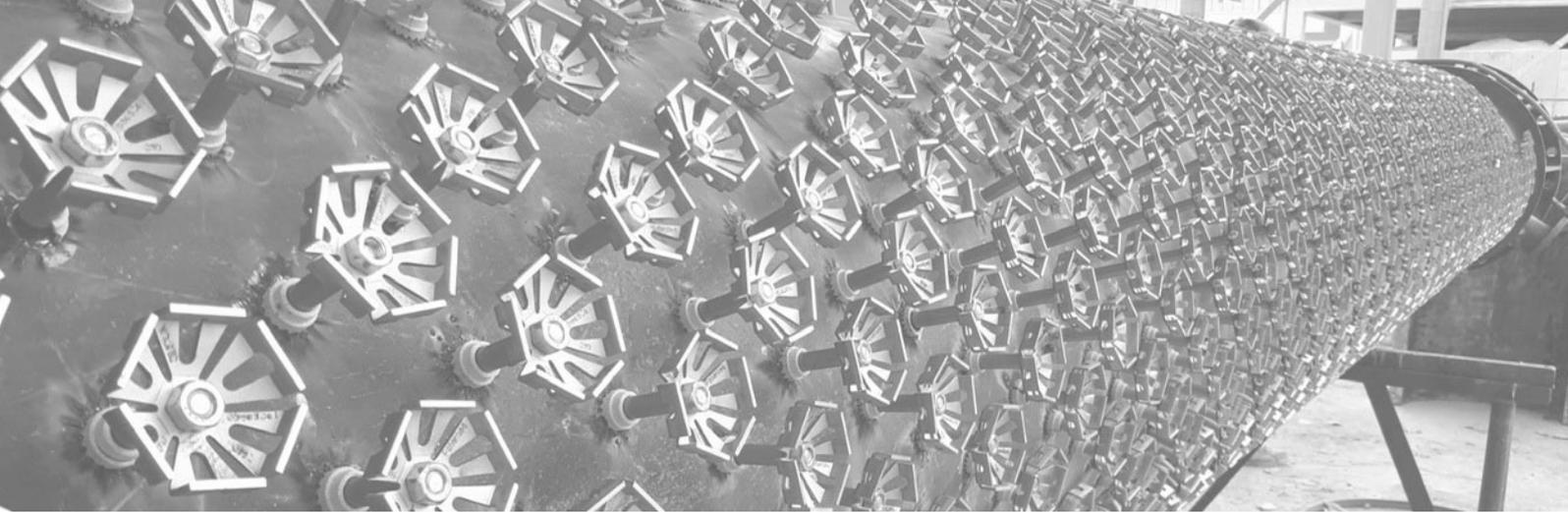
SpeedCell® 2G + SpeedCell® 3G

Pays-Bas : 1036914

Europe : 2425192

États-Unis d'Amérique : 9 127 890

Brésil : PI1016125-2



## ■ Introduction

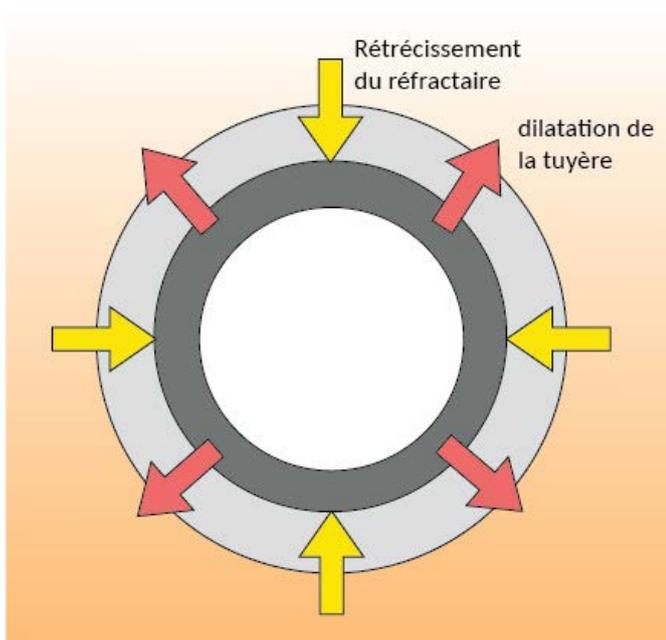
Dans la plupart des cimenteries, les tuyères qui chauffent les fours ont une durée de vie de 3 à 12 mois avant qu'elles ne soient tellement endommagées et dégradées qu'elles doivent être réparées ou remplacées. Dans cet article, je vais examiner les facteurs qui régissent la durée de vie de ces tuyères et je suggérerai qu'il existe une méthode que l'industrie pourrait utiliser afin de prolonger considérablement la durée de vie des tuyères.

Voyons d'abord les principales causes de dégradation des tuyères.

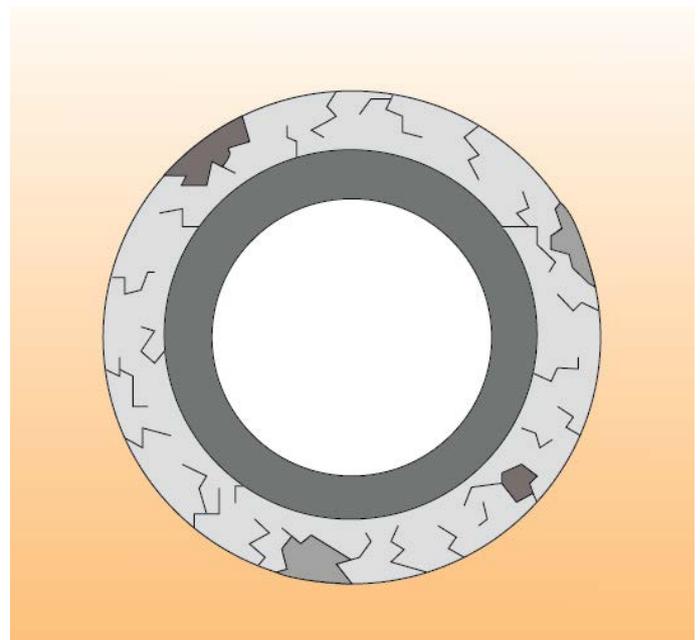
### Les problèmes

La tuyère est en acier et recouverte d'un matériau réfractaire à haute température. Immédiatement, la dynamique de ces deux matériaux pose problème. L'acier aura tendance à se dilater lorsqu'il est exposé à la chaleur, et le réfractaire aura tendance à rétrécir pendant le durcissement. Le résultat inévitable est que le réfractaire se resserrera autour de la tuyère, créant une pression qui augmentera l'incidence aux fissurations. En théorie, le début du processus de durcissement devrait minimiser cet effet, mais néanmoins le réfractaire sera soumis à une plus grande contrainte car il est soumis à une chaleur importante.

Les illustrations ci-dessous illustrent les tensions entre la tuyère et le réfractaire



*Au fur et à mesure que la chaleur augmente, le réfractaire se contracte et la tuyère se dilate.*



*Finalement, cette tension conduira à la fissuration du réfractaire, qui provoquera de la corrosion et endommagera la tuyère.*

## ■ Corrosion des tuyères

Nos recherches et notre expérience révèlent que le modèle de défaillance reste constant dans le temps. La partie chaude de la tuyère présente toujours le degré le plus élevé d'endommagement du réfractaire, avec l'incidence de fissuration devenant moins prononcée à mesure que nous nous éloignons de la tuyère elle-même. Dans de nombreux cas, les fissures deviennent si grandes que la chaleur est capable de pénétrer dans les fissures et d'attaquer les ancrages qui maintiennent le réfractaire en place, entraînant une défaillance exponentielle des ancrages et des matériaux réfractaires. Lorsque nous inspectons les tuyères durant les arrêts de maintenance, nous constatons fréquemment que de gros morceaux de béton réfractaire se sont tout simplement cassés, exposant la tuyère en acier à des températures aussi élevées que 1250 deg C. Lorsque nous enlevons tous les réfractaire endommagés, les ancrages sont généralement brûlés ou oxydés à un degré tel qu'ils doivent être remplacés.



Figure 1. Erosion totale du revêtement côté tuyère. Les ancrages ont disparu.

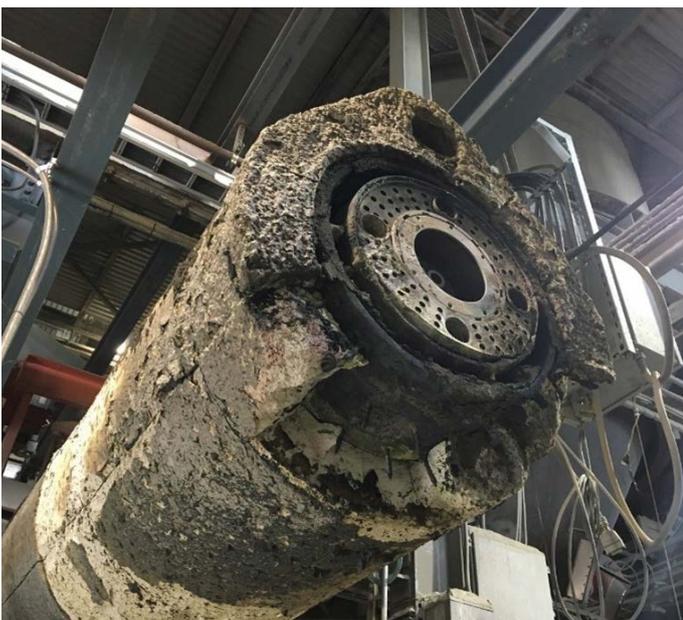


Figure 2. Les pires dommages se produisent au bas de la tuyère, exposant les ancrages en V.

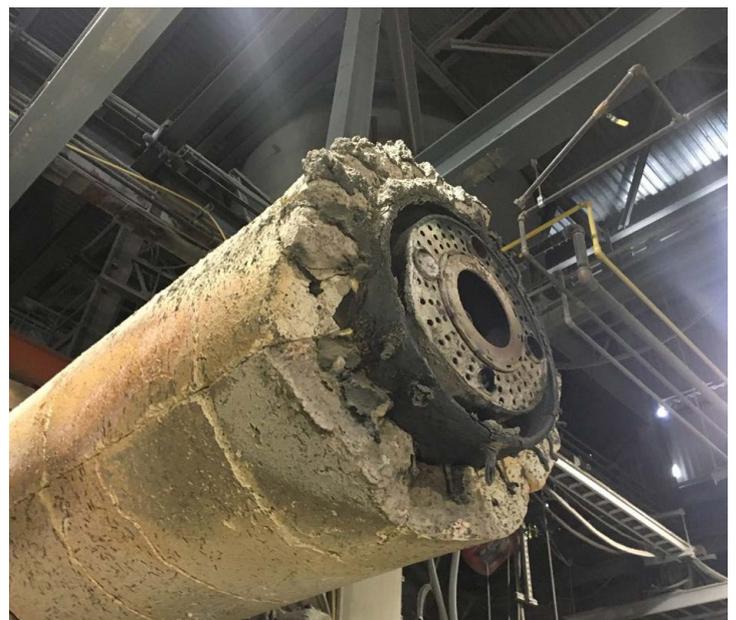


Figure 3. Dommages montrant l'incapacité des ancrages en V (ou en Y) à maintenir le réfractaire en place. Ce phénomène peut atteindre au moins 2 mètres ou même plus en arrière de l'extrémité de la tuyère.

## ■ La bonne conception de l'ancrage

Bien que loin d'être aussi gravement endommagés que l'extrémité de la tuyère, les deux tiers restants doivent aussi être remis à neuf. Nous avons étudié comment rectifier au mieux ces dommages, notamment en examinant le design des ancrages réfractaires par rapport au phénomène de fissuration. Une méthode d'ancrage conventionnelle est d'utiliser des ancrages en V (voir fig 4), soudés directement sur la coque ou rendus mobiles par soudage par points au travers d'une rondelle. Dans les deux cas, une forme en V est le choix le

plus courant pour maintenir le réfractaire, Mais cette méthode s'est souvent révélée incapable de résister dans la durée, et un remplacement précoce est fréquemment requis. Le cycle thermique n'est pas bénéfique pour le processus de fabrication du ciment car il tend à propager des fissures dans le réfractaire. Les ancrages en V sont rarement capables de maintenir le réfractaire ensemble sur l'extérieur des tuyères. Ils sont plus adaptés pour une utilisation sur des diamètres intérieurs ou des surfaces plates, en position horizontale ou verticale.



Fig 4. Installation d'ancrages en V sur une tuyère

## ■ Identifier les bons matériaux

Pour améliorer les performances, nous devons comprendre le gradient de température sur toute la longueur de la tuyère (voir fig 5). Cela nous permet d'identifier les alliages appropriés en fonction des conditions de chaleur exactes dans lesquelles ils sont censés fonctionner. Grâce à nos connaissances spécialisées en métallurgie et à notre expérience sur site, nous savons que l'AISI 330 est l'alliage le plus efficace à des températures extrêmement élevées uniquement en raison de sa température de fusion relativement élevée et sa résistance par rapport à d'autres alliages tels que l'Inconel 601, l'Incoloy 800, le 253MA, le 310 et le 304, qui sont tous largement utilisés dans l'industrie du ciment. « L'Incoloy DS a une composition très similaire au AISI 330, et ses propriétés le rendent approprié pour des opérations similaires à températures extrêmes.

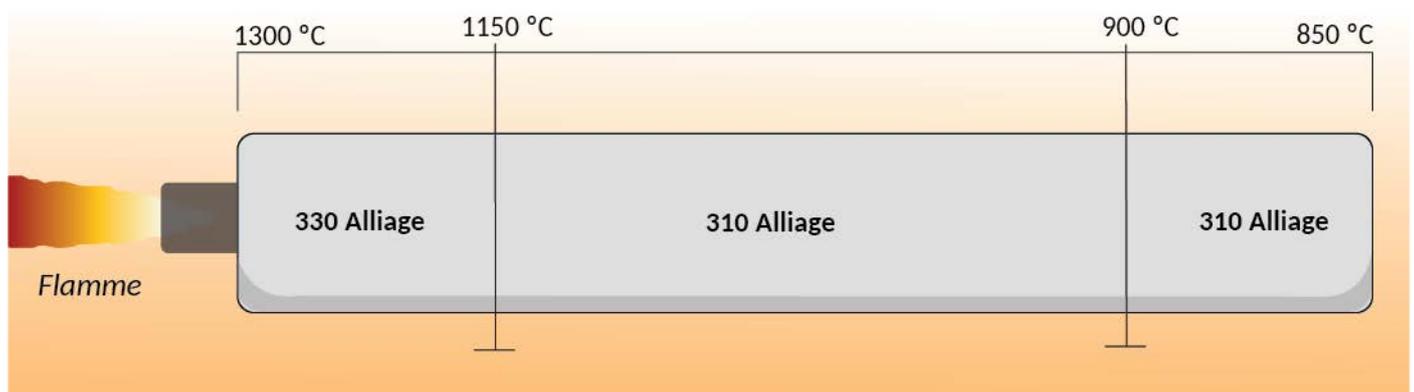


Figure 5. L'illustration ci-dessus décrit les alliages recommandés pour la tuyère en fonction de leurs hautes propriétés de température et de disponibilité.

Grâce à notre expérience dans l'industrie pétrochimique nous savons que les SpeedCells® peuvent être utilisés avec succès pour maintenir des revêtements réfractaires minces ayant montré des phénomènes de fissuration similaires. La forme et la position des SpeedCells® signifient que chaque ancrage crée un effet d'îlot, agissant directement sur la zone autour de lui. Des tests ont révélé que cette puissance de maintien était optimale lorsque 180-200 SpeedCells® sont installés par mètre carré. Ces constatations pratiques nous permettent de suivre cette approche pour les applications des tuyères. Ayant connaissance des propriétés des alliages et du gradient de chaleur sur toute la longueur de la tuyère nous pouvons estimer exactement jusqu'à quelle distance de la tuyère chaque type d'alliage peut être appliqué. Dans les tests, nous avons constaté que le premier 1,5 mètre

est exposé aux températures les plus élevées - jusqu'à 1300 deg C sur la face chaude du réfractaire descendant à environ 900 degrés C vers l'arrière de la tuyère. Puisqu'aucun alliage inoxydable ne peut résister aux niveaux de température à l'extrémité chaude, nous avons dû intégrer le système SpeedCells® sous la face chaude et les placer là où la température serait d'environ 1150-1200 deg C maximum. Cela s'est avéré être environ de 3/4 à 2/3 sous la face chaude. Comme mentionné ci-dessus, le meilleur alliage pour résister à une température aussi élevée est l'AISI 330, ayant la température de fusion la plus élevée parmi les alliages résistants. L'AISI 310S pourrait être utilisé pour les sections plus froides de la tuyère là où les températures ne dépassent pas les 1000 deg C.

## ■ Les Ancrages SpeedCell® vs Ancrages en V

Le SpeedCell® en forme de tulipe est spécialement conçu pour fonctionner comme un ancrage réfractaire haute performance. Positionné sur un goujon fileté, le SpeedCell® fixe le réfractaire fissuré à un degré tel que la chaleur ne peut pas trouver de chemin pour atteindre le revêtement en acier ou endommager le système d'ancrage. Grâce à sa forme, le SpeedCell® forme un véritable composite par conception. Contrairement à un ancrage en V standard, le SpeedCell® maintient le réfractaire. Le réfractaire se propage à travers la forme ouverte du SpeedCell®, il ne peut pas bouger et est maintenu en position de manière rigide. Il est même capable de résister aux fortes vibrations rencontrées dans la tuyère en fonctionnement. Ce phénomène de vibration est souvent négligé comme source de détérioration du réfractaire, mais c'est en fait une cause majeure de rupture des réfractaires lorsque de simples ancres en V sont utilisés.

La figure 6 montre comment le système SpeedCell® retient le revêtement réfractaire.

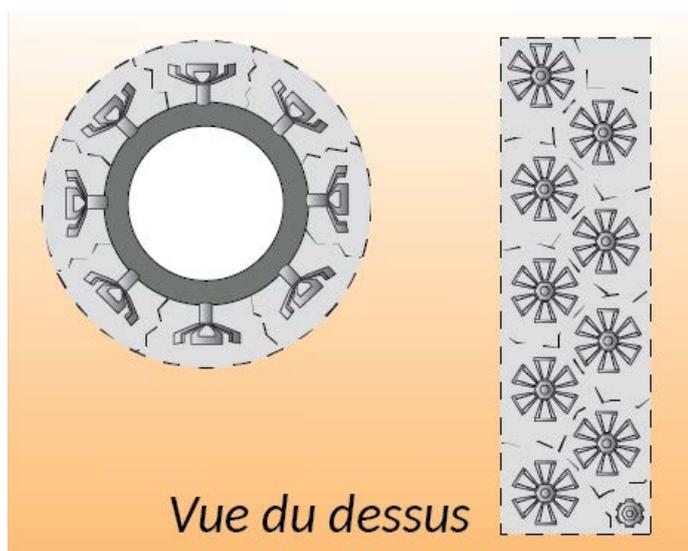


Figure 6. Même le réfractaire fissuré sera maintenu en position grâce à la conception des ancres SpeedCell®.



Figure 7. On peut voir que le système SpeedCell® a la capacité de maintenir le réfractaire uniformément pendant le fonctionnement, et d'absorber les vibrations.

## ■ L'installation

Le système SpeedCell® 2G est installé avec une technologie de soudage spécialisée appelée Rapid Arc Welding (RAW) (Fig. 8 et 9). Il s'agit d'une technologie de soudage rapide qui soude chaque goujon en une demi-seconde. La soudure est initiée à partir du centre du goujon et fait fondre la partie inférieure du goujon, ne laissant aucune fissure ou crevasse. Une fois le goujon soudé à la paroi en acier, le SpeedCell® est vissé fermement. Une fois que l'ensemble de la tuyère est entièrement soudé, le réfractaire peut être coulé dans un moule spécial comme le montre la figure 10.



Figure 8. Soudage à l'arc rapide - Fixation d'un goujon en moins de 0,5 secondes.

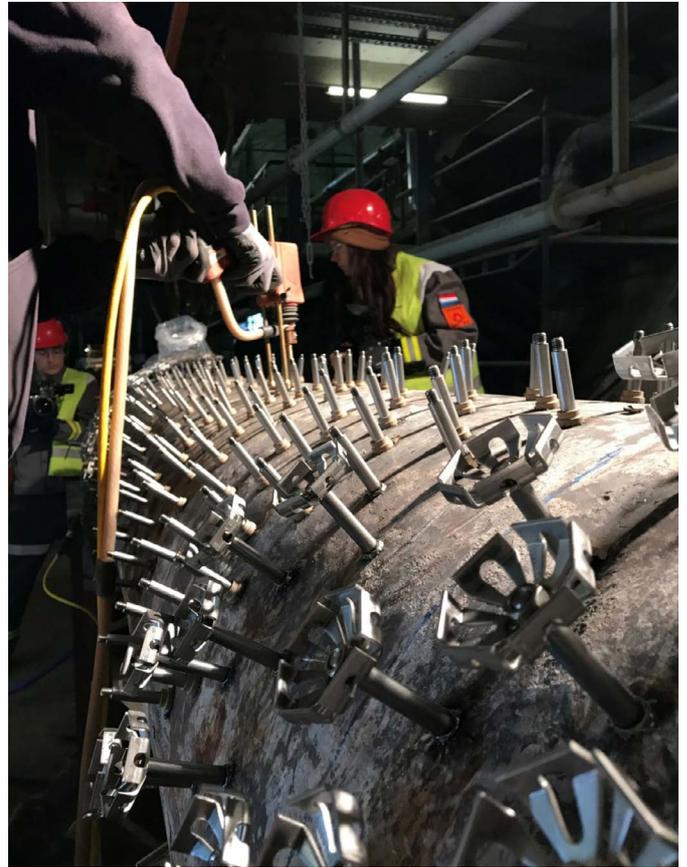


Figure 9. Généralement, de 180 à 200 SpeedCell® sont installés par M2.



L'image ci-dessus montre un goujon entièrement soudé où le goujon fusionne avec la coque en acier, montrant une homogénéité totale entre le goujon et la coque.

Une fois les SpeedCells® montés, la tuyère entière est placée dans un moule pour couler le réfractaire. Les joints de dilatation permettent d'éviter des tensions extrêmes dans le revêtement. Une attention supplémentaire doit également être accordée à la qualité du réfractaire et à la façon dont il est appliqué. La composition et la technique de durcissement elle-même contribuera également à une meilleure durée de vie de la tuyère. Bien que l'ancrage réfractaire ne contribue qu'en partie à l'optimisation de la durée de vie du revêtement, d'autres aspects du processus tels que le fonctionnement du brûleur, la direction de la flamme et les caractéristiques thermiques jouent tous un rôle majeur dans la détermination de la longévité du réfractaire.

Ce que les SpeedCells® réussissent réellement dans tous les cas, c'est à améliorer ces autres conditions prévalentes qui peuvent être difficiles à modifier en raison du design ou du conservatisme des procédures d'exploitation. Ils offrent à l'utilisateur final l'assurance que la tuyère résistera durant un cycle de fonctionnement complet.



Figure 10. Une tuyère entièrement soudée avec des Speed Cells® prête pour la coulée du réfractaire.

Cliquez [ici](#) ou sur [l'image](#) pour regarder une vidéo détaillée du processus et découvrez ce qui rend le système SpeedCell® si unique (Heidelberg Geseke Jobsite).

## ■ Les bénéfiques

Un exemple de chiffrage appliqué à ce système par rapport à l'application de simples ancrages en V révèle également des avantages intéressants, outre la durée de vie plus longue de l'équipement.

Exemple : tuyère de 6 mètres, diamètre 800 mm. Superficie totale 15,072 m<sup>2</sup>. Réfractaire de 100 mm

### Ancrages en V 64 par m<sup>2</sup>. En diamètre 8 mm - hauteur 75 mm - en alliage AISI 310.

Total 964 pièces @ Eur. 1,45/pc	= 1397,80
Électrodes de soudage 400 pcs @ Eur. 0,65	= 260,00
Soudage/Marquage heures travaillées 56 @ Eur. 75,00	= 4200,00
Total	= 5857,00

### SpeedCells® 180 par m<sup>2</sup>. Hauteur 75 mm

Total 2700 pièces @ Eur. 3,25/pièce	= 8775,00
Aucune électrode nécessaire	= 0,00
Soudage/Marquage heures travaillées 18 @ Eur. 75,00	= 1350,00
Total	= 10125,00

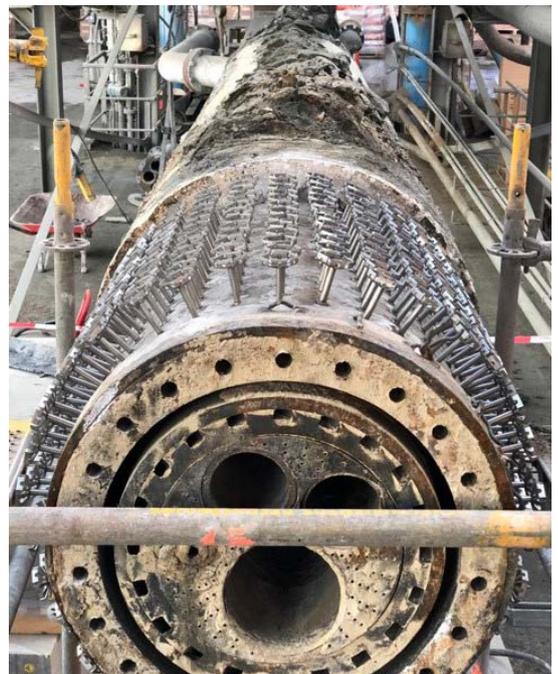
Cela semble montrer que les SpeedCells® pourraient être plus chers en remplacement d'ancrages endommagés, mais comme notre système double au moins la durée de vie de votre tuyère, il est facile de voir que, avec les économies réalisées sur les temps d'arrêt, un cycle de réparation supplémentaire et sans oublier un nouveau revêtement réfractaire, la solution SpeedCell® est un avantage certain pour n'importe quelle cimenterie. Très souvent, les réparations ne concernent que la section chaude

**En résumé, étant donné que les SpeedCells® durent au moins 2 fois plus longtemps, la vraie somme de cet exemple sera la suivante:**

2 x 5857	= 11714,00
Coûts de démolition et de préparation 20 heures de travail @ 75,00	= 1500,00
Total (EUR)	= <b>13214,00</b>

NB : Ceci n'inclut pas le coût de la perte de production pendant la durée de remplacement de la tuyère  
Estimation = **75000,00**

Il est souvent difficile de saisir les avantages d'une nouvelle technologie, surtout lorsqu'elle implique des changements importants par rapport aux méthodes conventionnelles éprouvées. Il est toujours plus facile de conserver une méthodologie existante. Mais à moins que les gens ne soient désireux d'essayer de nouvelles idées, aucun d'entre nous ne fera de progrès. Nous reconnaissons qu'il est vital pour les utilisateurs de bien comprendre les avantages techniques et économiques de nouvelles idées. Peu d'entreprises comprennent aussi bien que nous les technicités des ancrages réfractaires et les conditions dans lesquelles ils opèrent. Nous sommes des experts dans ce domaine niche, soutenus par plus de 40 ans d'expérience et une farouche détermination pour améliorer les performances de nos produits. L'important, à mes yeux, c'est d'aller de l'avant par petites étapes afin que nous maintenions la confiance à tout moment. Nous sommes fiers d'être un support technique de confiance pour nos clients et pour l'industrie dans son ensemble.



## Conclusion

- La performance du réfractaire peut être améliorée par le design de l'ancrage
- Il est possible d'obtenir un cycle de vie complet ou plus avec une seule réparation
- Le système SpeedCell® offrira un retour sur investissement positif
- Fiabilité et prévisibilité accrues des performances de la tuyère
- Applicable avec la plupart des matériaux réfractaires. Vous pouvez expérimenter avec des réfractaires à moindre coût
- Installation rapide
- Rapidement disponible

Notre système SpeedCell® sur les tuyères remplit tous ces critères. C'est un système éprouvé (5 ans de retour d'expérience) qui continue de surprendre et d'impressionner nos clients (comme Cemex ou Heidelberg) - et de leur permettre d'économiser des centaines de milliers de dollars/euros.

## Auteur



**Wouter Garot**  
PDG SILICON

### **SILICON Headquarters**

Monsterseweg 2  
2291 PB Wateringen  
The Netherlands  
T +31 (0) 174-225522  
info@silicon.nu

### **SILICON Rapid Arc Welding Contracting and Services**

25702 Aldine Westfield Road,  
Unit 701  
Spring, TX 77373, USA  
T +1(832) 762 50 66  
info@silicon-usa.com

### **SILICON Asia Co. Ltd.**

5-29-8 Higashiogu,  
Arakawa-Ku.  
Tokyo, Japan 116-0012  
T +81-70-8383-9253  
info@silicon-asia.com