

# ENTRETIEN ET MAINTENANCE DES CÂBLES MINIERS DE SURFACE

Éviter les temps d'arrêt et prolonger  
la longévité des câbles



# MINIMISER LES TEMPS D'ARRÊT, MAXIMISER LA PERFORMANCE

C'est le qualificatif « colossal » qui vient à l'esprit pour caractériser le mieux les opérations contemporaines d'exploitation minière à ciel ouvert, tant en termes d'envergure que de taille de l'équipement. Il est donc primordial d'assurer une alimentation continue en électricité pour ces engins miniers imposants afin de permettre au secteur d'évoluer dans l'environnement économique hautement compétitif actuel.

Les câbles miniers Anaconda® sont conçus pour réduire les temps d'arrêt liés aux systèmes de câbles, qui peuvent avoir un impact important sur la rentabilité des mines. Dans des opérations de grande envergure, chaque minute d'arrêt est coûteuse, et il est impossible de rattraper le temps perdu.

Ce guide contient des informations et des recommandations importantes qui vous permettront de réduire au minimum les temps d'arrêt liés aux câbles dans les exploitations minières à ciel ouvert. Ces recommandations sont présentées sous la forme de procédures simples et faciles à diffuser auprès de vos équipes opérationnelles.



## LES COÛTS ÉLEVÉS DES TEMPS D'ARRÊT LIÉS AUX CÂBLES

La fiabilité et la performance des câbles de traînage modernes jouent un rôle essentiel dans la réduction des coûts de l'exploitation minière du charbon. Les coûts d'une interruption imprévue de la production due à des défaillances de câbles sont beaucoup plus élevés qu'on pourrait le croire. La perte de tonnage, les charges d'intérêt, la dépréciation, les frais généraux et les coûts de main-d'œuvre liés aux temps d'arrêt dépassent souvent l'investissement initial dans les câbles. Les opérations minières d'aujourd'hui ont avantage à se doter de programmes de manutention et d'entretien des câbles efficaces afin de réduire les temps d'arrêt.

**La fiabilité des performances des câbles de traînage est essentielle pour une exploitation minière rentable.**



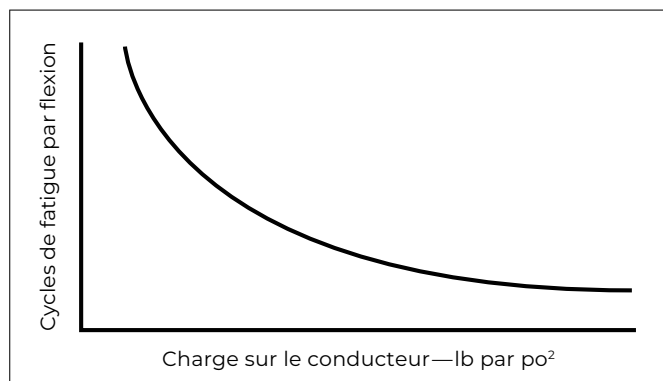
# CONCEPTION DE CÂBLES MINIERS DE SURFACE

L'exploitation à ciel ouvert à l'aide de grandes excavatrices électriques remonte au début des années 1920. Au fil des ans, le calibre des conducteurs a considérablement augmenté en parallèle avec les capacités des excavatrices. Des avancées considérables ont également été réalisées dans le domaine des matériaux d'isolation et de gainage, ainsi que dans les techniques de toronnage et de blindage. Prysmian a joué un rôle de premier plan dans ces avancées, notamment avec les câbles miniers Anaconda®, de conception sophistiquée, robuste et flexible.



## TORONNAGE DES CONDUCTEURS

Les conducteurs des câbles miniers sont torsadés pour plus de flexibilité et de résistance à la flexion.



### Qu'est-ce que la résistance à la flexion?

La résistance à la fatigue par flexion désigne le nombre de fois qu'un câble peut être plié dans un sens ou dans l'autre avant que les brins ne faiblissent.

La fatigue due à la flexion est inévitable dans tout câble portable. Pour prolonger la résistance à la flexion du câble, il faut donc répartir la charge de traction entre les différents conducteurs de la manière la plus uniforme possible. Les rayons de courbure minimaux et les charges de traction maximales recommandés par les fabricants sont calculés dans cette optique; le non-respect de ces recommandations augmentera considérablement les taux de défaillance.

#### Rayon de courbure minimal recommandé par la Insulated Cable Engineers Association (ICEA)

Câble portable à blindage tressé	8x
Câbles portables non blindés	6x
Câbles plats non blindés	6x

## ISOLANT

Le caoutchouc éthylène-propylène (EPR) est l'isolant standard pour les câbles miniers. L'isolant EPR offre d'excellentes propriétés mécaniques sur une échelle de température variant de -50°C à +90°C. D'autres caractéristiques de l'EPR sont sa grande résistance à la traction, sa résistance à la déchirure, à l'abrasion et à la compression, ainsi que sa flexibilité et sa facilité de réparation, ce qui en fait un matériau tout à fait adapté aux environnements miniers les plus exigeants.

**L'augmentation du rayon de courbure élimine pratiquement les dommages aux brins**



## SYSTÈME DE MISE À LA TERRE

Les conducteurs de mise à la terre et les fils blindés doivent être en contact permanent pour assurer une impédance efficace par rapport à la terre car, ensemble, ces éléments composent tout le système de mise à la terre. Dans ces conditions, la variation de l'impédance du système de mise à la terre est faible en cas de fatigue de flexion extrême de l'un des composants. En fait, le système de mise à la terre continuera à fonctionner longtemps après que la défaillance d'un conducteur de phase rende le câble inopérant.

Les systèmes de mise à la terre ont pour fonction à la fois d'acheminer le courant de défaut et de limiter à un maximum de 100 volts la chute de tension qui en résulte dans le circuit de mise à la terre à l'extérieur de la résistance de mise à la terre. Cela signifie que le courant de défaut qui circule dans les conducteurs de mise à la terre et les fils blindés, tous connectés en parallèle, multiplié par l'impédance résultante ne peut pas dépasser 100.

Les paramètres de dimensionnement des conducteurs de mise à la terre sont donc fixés en fonction des limites imposées au courant de défaut maximal par une résistance de mise à la terre.

Un système de mise à la terre doit être considéré comme étant à sécurité intégrée, mais la législation fédérale exige un contrôle continu de la mise à la terre afin de garantir la stabilité des connexions et la fiabilité des terminaisons.

Les câbles de trainage comportent des conducteurs de contrôle de terre qui facilitent la surveillance de la mise à la terre. Il est possible d'éliminer pratiquement toute fatigue par flexion prématurée au moyen d'une épaisse couche d'isolant en polypropylène qui empêche la formation de plis. Si le conducteur de contrôle de terre est plus petit que le conducteur de phase, la meilleure façon d'améliorer sa résistance à la flexion est d'augmenter l'épaisseur de la couche d'isolation. L'objectif est d'obtenir une résistance maximale au pliage.



# COMPOSANTS DES CÂBLES MINIERS DE SURFACE

## BLINDAGE

Principales fonctions du blindage:

1. assurer une distribution symétrique de la contrainte radiale dans l'isolant et éliminer les contraintes longitudinales sur la surface de l'isolant;
2. fournir une capacité de mise à la terre précise pour le conducteur isolé, pour empêcher une surtension uniforme et minimiser la réflexion de l'onde de tension dans le parcours du câble;
3. réduire les risques d'électrocution et les dangers pour les personnes et les propriétés.

Le blindage est particulièrement important pour la continuité de la mise à la terre. Celle-ci peut être assurée par des conducteurs de mise à la terre placés dans le câble et en contact avec le blindage sur toute la longueur du câble, ce qui procure un nombre infini de chemins parallèles.

Il existe deux types de blindage souple utilisés dans l'exploitation minière à ciel ouvert: la tresse en cuivre et la tresse en cuivre/textile. Des tests ont montré que le blindage par tresse cuivre/textile présente des propriétés mécaniques supérieures à celles d'une tresse entièrement en cuivre, car les fils individuels se croisent à travers un maillage et non pas à travers d'autres fils. (Fig 2)

Les problèmes liés aux blindages surviennent lorsque des plis dans le ruban semi-conducteur provoquent des points de stress, ce qui entraîne une rupture diélectrique avec le temps. La meilleure protection consiste à respecter les rayons de courbure minimaux recommandés par la Insulated Cable Engineers Association (ICEA).

## GAINE

Le polyéthylène chloré (CPE) est le matériau de référence pour une gaine à la fois résistante et flexible. En plus de sa résistance supérieure à la traction et à l'abrasion, il offre une plage thermique allant de 90°C à -50°C. Le CPE est naturellement résistant à l'ozone, ce qui le rend idéal pour les applications haute tension. Cependant, même les gaines robustes peuvent se déchirer lorsque des câbles trop longs sont fixés sur une attache et traînés avec une chenille.

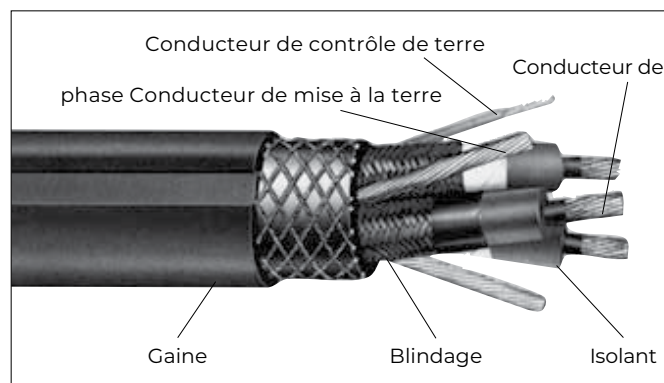


Fig 1

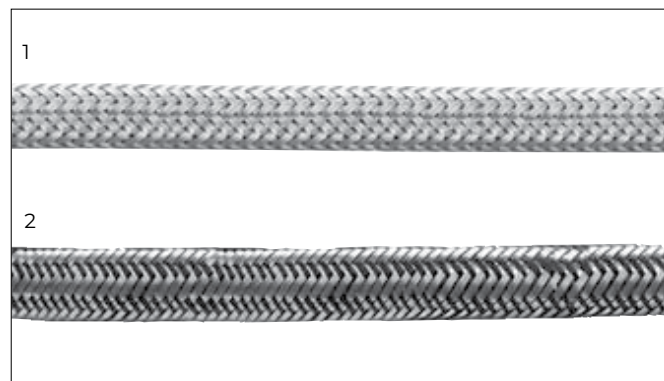


Fig 2



## RAPPEL

**Un blindage non mis à la terre est dangereux et doit être manipulé comme un conducteur sous tension.** Le blindage doit être mis à la terre au moins à une extrémité et de préférence à deux endroits ou plus. Il est recommandé de mettre les blindages à la terre à toutes les terminaisons et épissures de câbles. Il convient d'installer des cônes de contrainte à toutes les terminaisons de blindage à haute tension.



# RAISON DES DÉFAILLANCES DES Câbles MINIERs DE SURFACE

La défaillance d'un câble est généralement liée à l'une ou plusieurs des causes suivantes:



1

TENSION  
EXCESSIVE



2

DOMMAGE  
MÉCANIQUE



3

SURCHAGE  
DE COURANT



4

TECHNIQUES  
D'ÉPISSURE ET  
DE TERMINAISON  
INAPPROPRIÉES





# 1

## TENSION EXCESSIVE

De nombreuses défaillances de câbles sont le résultat direct d'une tension excessive. La tension sur les conducteurs soumet les brins individuels à la compression et au cisaillement, endommageant ces fils minces qui se cassent plus facilement lorsqu'ils sont pliés ou fléchis.

La tension entraîne également un étirement de l'isolant du conducteur, ce qui le rend vulnérable aux coupures par compression et plus facilement endommageable lorsqu'il est comprimé contre le conducteur toronné lors d'un écrasement. En outre, l'isolant a tendance à glisser sur le conducteur aux abords d'une épissure.

### Signes de contraintes excessives

Le câble rétréci et présente la forme d'un sablier

La gaine recule à partir d'une épissure temporaire

Le conducteur de mise à la terre est tiré en deux

Le câble est plié ou la gaine est déchirée à l'endroit où est fixé l'attelage de traction.

### Comment éviter les dommages

Maintenir une tension adéquate sur la bobine de câble traînant

Tirer le câble en plusieurs boucles (plutôt qu'en une seule grande longueur) lors du déplacement



## 2

### DOMMAGE MÉCANIQUE

Les coupures, la compression (écrasement), les perforations et l'abrasion sont parmi les causes les plus fréquentes de défaillance des câbles de traînage. Dans les cas extrêmes, la défaillance causée par un dommage mécanique est instantanée et peut être détectée sur-le-champ. Toutefois, les composants d'un câble sont généralement simplement « blessés » par des dommages mécaniques et deviennent des défaillances latentes, ce qui rend plus difficile de repérer la cause exacte du problème et de prendre les mesures correctives qui s'imposent.

#### Signes de dommage mécanique

Courtes sections de câble écrasées ou aplaties à un diamètre plus grand

Abrasion excessive, câble rainuré ou présentant une usure irrégulière

Rainures, coupures et perforations

Câble plié ou gaine déchirée à l'endroit où est fixé l'attelage de traction.

#### Comment éviter les dommages

Déplacer les câbles à l'écart pendant le dynamitage

Positionner les câbles aux endroits où il y a le moins de risques d'éboulements du terril ou de la haute paroi

Prévoir un éclairage nocturne adéquat pour les véhicules et les zones à circulation intense

Enterrer les câbles ou prévoir des passages voûtés aux croisements de câbles

Remplacer les poulies ou les guides cassés



### 3

## SURCHAGE DE COURANT

La température des conducteurs, de l'isolant et de la gaine augmente lorsque les câbles sont soumis à une charge électrique. Dans ces conditions, la résistance à la chute de tension augmente, ce qui réduit la tension fournie à la machine et fait augmenter le courant, augmentant encore davantage l'échauffement du câble.

Les matériaux de l'isolation et de la gaine d'un câble de traînage présentent une résistance maximale aux dommages physiques à la température nominale du conducteur de 90°C ou inférieure. La résistance de ces composants diminue à mesure que la température augmente. Ainsi, l'isolant et la gaine perdent une grande partie de leur résistance aux coupures, à l'écrasement, à la déchirure et à l'abrasion en cas d'exposition prolongée à des températures élevées.

La section du câble qui demeure sur la bobine est la plus susceptible d'être endommagée par une surcharge électrique. La présence de couches sur la bobine entrave la ventilation et la dissipation de la chaleur. Sous l'effet d'une exposition continue à des températures élevées, la gaine se détériore, devient dure et cassante et se fissure ou se craquelle lors de nouveaux enroulements.

Lorsque des câbles sont enroulés sur une bobine en une ou plusieurs couches, les courants admissibles doivent être réduits comme suit:

Nombre de couches	Multiplier le courant admissible par
1	0.85
2	0.65
3	0.45
4	0.35

#### Signes de surcharge de courant

Gaine cloquée

Fils conducteurs en cuivre étamé virant au bleu-noir

#### Comment éviter les dommages

Choisir un câble ayant un courant nominal adéquat

Consulter le fabricant de câbles ou celui des machines d'exploitation minière pour obtenir des recommandations

Éviter de recouvrir inutilement de terre les grandes longueurs de câble





## 4

### TECHNIQUES D'ÉPISSURE ET DE TERMINAISON INAPPROPRIÉES

Les matériaux et les techniques d'épissure se sont considérablement améliorés au fil des ans. Une épissure inadéquate résulte généralement des facteurs suivants:

1. Un conducteur de mise à la terre ou de contrôle de terre plus court que les conducteurs d'alimentation
2. Un résidu semi-conducteur resté sur la surface de l'isolant
3. Des lacunes, des cavités ou des zones molles dans l'application du ruban isolant
4. Terminaisons incorrectes du système de blindage, laissant des saillies orientées vers l'intérieur
5. Dommages causés à l'isolant du fabricant en raison d'un retrait incorrect du système de blindage
6. Détente excessive dans un ou plusieurs conducteurs individuels
7. Épissure à faible résistance à la traction qui se casse facilement en deux
8. Endommagement des fils individuels lors de l'application du connecteur
9. Épissure trop volumineuse qui ne passe pas dans les guides de câble ou sur les poulies
10. Mauvaise application du revêtement extérieur, qui laisse l'eau pénétrer à l'intérieur du câble

Le choix d'un câble de courant nominal adéquat, l'absence de tension excessive et de dommages mécaniques, ainsi que l'utilisation de techniques d'épissure appropriées permettent de réduire de plus de 50 % les temps d'arrêt liés aux câbles.

#### Signes d'une épissure ou d'une terminaison temporaire

Les conducteurs nus sont exposés dans une épissure temporaire.

Le conducteur de mise à la terre ou de contrôle de terre n'est pas connecté

Le câble présente des plis

#### Comment éviter les dommages

Poser les rubans isolants sur l'isolant d'origine du conducteur

Remplacer les épissures temporaires par des épissures permanentes dès que possible

Connecter les conducteurs de petite taille environ 1/4" de plus que les conducteurs d'alimentation

Répartir les conducteurs dans toutes les épissures et les terminaisons afin d'assurer une tension uniforme sur tous les conducteurs

## UN PROGRAMME D'ENTRETIEN EFFICACE

L'entretien des câbles ne repose sur aucune formule magique convenant à toutes les conditions, mais les mesures suivantes peuvent s'appliquer à de nombreuses opérations :



1

Choisissez une configuration de câble compatible avec la tension, la sécurité et la performance attendue.



2

Formez le personnel à reconnaître les limites des câbles portables.



3

Tenez un registre des causes de défaillance des câbles.



4

Prenez des mesures correctives en fonction des registres et des connaissances.

# UN ENTRETIEN ET UNE MAINTENANCE EFFICACES RÉDUISENT CONSIDÉRABLEMENT LES TEMPS D'ARRÊT

Le meilleur moyen de minimiser l'apparition de ces situations préjudiciables est de mettre en place un programme efficace d'entretien des câbles.

Un entretien efficace commence par le choix de la construction du câble le plus adapté à l'application; les considérations de coût à elles seules ne remplacent pas une conception rigoureuse.

Lors du choix du type et de la dimension du câble, il convient de tenir compte des aspects suivants :

- Sécurité
- Courant permanent admissible
- Chute de tension
- Température ambiante
- Résistance mécanique
- Conditions inhabituelles pouvant nécessiter une construction de câble spéciale

La seconde étape d'un bon programme d'entretien est l'analyse des performances. Il est primordial de tenir un registre précis comprenant la date d'installation, un relevé des retraits pour réparation et la cause de chaque défaillance. Un registre précis des défaillances permettra de déterminer les secteurs où la maintenance est la plus urgente. Il permettra également de mesurer l'efficacité de toute mesure corrective.



Les défaillances des câbles décrites dans la section précédente découlent généralement d'une ou de plusieurs des situations suivantes:

### Chutes de roches et empiètements

Les chutes de pierres et les empiètements causent plus de la moitié des défaillances de câbles, ces derniers subissant des dommages par impact ou par écrasement. Les câbles de traînage présentent généralement une excellente résistance aux dommages mécaniques, mais leur capacité à résister aux chocs et à l'écrasement est limitée par:

- la concentration de l'impact sur une petite section du câble
- la position du conducteur au point d'impact
- les caractéristiques physiques de la gaine et de l'isolant

Les blindages flexibles et les conducteurs de mise à la terre sont composés de fils de petit diamètre qui peuvent se déformer ou se rompre sous l'effet d'un choc ou d'un écrasement.

Les dommages causés par les chutes de roches et les écrasements sont autant de causes potentielles de défaillance. Les coupures dans les gaines permettent à l'eau de pénétrer dans le câble. Les fils de cuivre endommagés accélèrent les ruptures par fatigue, tandis que l'isolation avec rupture par compression subira une détérioration électrique au fil du temps.

### Traînage

Il est possible d'éviter la déchirure de la gaine et d'autres dommages causés au câble par le traînage. Au lieu de former une seule boucle sur un attelage à chenilles, il convient de tirer le câble en plusieurs boucles, ce qui permet de raccourcir la longueur de chaque traction.

### Épissures incorrectes

Aucune épissure n'est aussi bonne qu'un câble neuf, mais des matériaux de qualité associés à des techniques éprouvées peuvent améliorer considérablement la durée de vie d'un câble épissé. Si une épissure de type permanent, bien réalisée et dotée d'un revêtement vulcanisé présente toutes les caractéristiques nécessaires, il est plus difficile d'obtenir une résistance à la fatigue.

Plus la tension nominale augmente, plus la marge de sécurité diminue. Il est essentiel que chaque élément de l'installation soit conçu avec précision et surveillé par des personnes compétentes. Il en va de même pour les dispositifs d'épissure préfabriqués.

### CARACTÉRISTIQUES D'UNE BONNE ÉPISSURE



Résistance à la traction élevée



Isolation adéquate



Conducteurs équilibrés



Résistance élevée à la fatigue



Faible diamètre extérieur



Couche résistante à l'humidité



Faible résistance électrique

# SOMMAIRE

Ces pratiques exemplaires ont fait leurs preuves pour prolonger la durée de vie des câbles et réduire de jusqu'à 50 % les temps d'arrêt:

- 1 | Éviter les torsions ou les plis du câble pendant l'installation
- 2 | Éviter les tensions excessives
- 3 | Utiliser le câble de la plus grande dimension possible pour l'application; la résistance à la traction et le courant permanent admissible supplémentaires résultant de la dimension supérieure procureront une plus grande rentabilité à long terme
- 4 | Réduire au minimum les piétinements
- 5 | Inverser périodiquement les extrémités du câble
- 6 | Remplacer les poulies, les guides et les galets endommagés

7

S'assurer que les guides de câble sont suffisamment larges pour laisser passer facilement les épissures

10

Empêcher l'eau de pénétrer à l'intérieur du câble

8

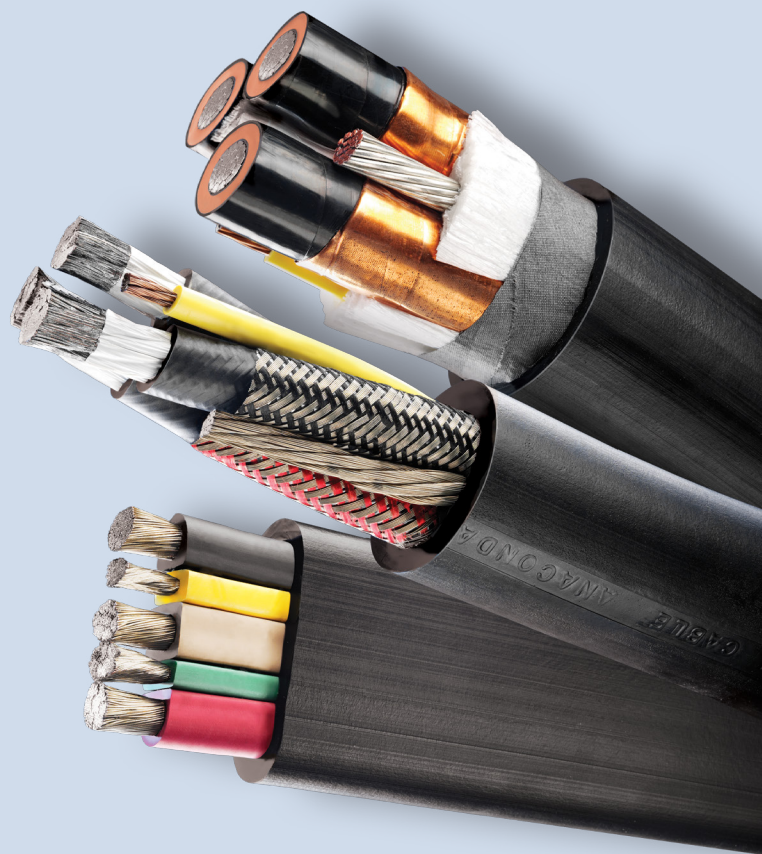
Réparer les câbles coupés ou écrasés, même s'il n'y a pas eu de rupture

11

Tenir un registre des défaillances et de leurs causes

9

Prévoir un câble de rechange pour permettre l'enlèvement du câble endommagé afin de procéder à des réparations permanentes





# COMMENT PRYSMIAN VOUS AIDE À RÉDUIRE LES TEMPS D'ARRÊT

Prysmian se fait un plaisir de travailler en étroite collaboration avec vous afin de réduire les temps d'arrêt liés aux câbles dans vos activités minières. Notre expertise couvre la conception de câbles robustes, de même que l'assistance sur le terrain et les essais de câbles.



## CÂBLES ANACONDA®

Prysmian est depuis longtemps le principal fournisseur de câbles portables adaptés aux environnements miniers les plus rigoureux, et nos innovations continuent de se démarquer aujourd'hui. Notre gamme diversifiée de câbles haute qualité Anaconda® est conçue pour offrir des performances supérieures dans les applications les plus exigeantes. Depuis plus de 50 ans, les conducteurs, les isolants et les gaines de conception spécialisée qui dépassent les normes industrielles font des câbles Anaconda® le choix par excellence pour les équipements d'exploitation minière.



## ASSISTANCE SUR LE TERRAIN

L'expertise de nos équipes est mise à votre disposition pour vous fournir une assistance technique sur le site minier. Nous pouvons même former votre personnel à l'entretien et à la maintenance des câbles.

## LABORATOIRE D'ESSAIS DE CÂBLES MINIERS



Notre laboratoire d'essai dispose de tout l'équipement nécessaire pour simuler les conditions réelles d'une mine en une fraction du temps qu'il faudrait dans des conditions normales sur le terrain. Cet accès rapide et fiable à l'information sur la durée de vie des câbles de traînage vous aidera à déterminer les câbles adaptés à vos besoins, tout en nous permettant d'améliorer nos propres innovations en matière de câblage en fonction des réalités de l'industrie minière.

Source de dommages au câble	Essais de simulation
Tension excessive et fatigue du fil	Enrouleur de tension Machines de flexion Machine de pliage par torsion
Dommages mécaniques	Machine de coupe par compression Machine d'abrasion Impact à chute libre (concasseur) Enfonceur de pieux (impact répétitif)
Stabilité électrique	Essai de surcharge de courant Vieillesse cyclique EMA Essai de résistance à la fatigue en courant alternatif Essai d'étanchéité en courant continu
Résistance à la flamme et à la chaleur	Essai à la flamme Étuve à air chaud Surcharges électriques
Épissures et terminaisons	Essais mécaniques et électriques
Environnement	Résistance aux produits chimiques et à l'huile Vieillesse en étuve à l'air chaud Exposition aux intempéries



*L'information contenue dans ce document est destinée à une utilisation par des personnes techniquement qualifiées. Toute personne qui s'appuie sur ce document le fait à sa propre discrétion et à ses propres risques, et assume tous les risques et toutes les responsabilités en rapport avec cette utilisation, et Prysmian rejette toute responsabilité à cet égard, que la réclamation soit fondée sur un contrat, un préjudice ou toute autre théorie juridique. Prysmian ne fait aucune déclaration et ne donne aucune garantie, expresse ou implicite, quant à l'exactitude, l'exhaustivité ou la fiabilité du présent document.*



Prysmian North America  
4 Tesseneer Drive  
Highland Heights KY 40176  
[na.prysmian.com](http://na.prysmian.com)

Suivez-nous

