

## Analyse Polywater des Équations de la Tension du Tirage dans les Coudes Horizontales

### Résumé

Des équations de calcul de la tension du câble dans les installations en conduit ont été développées dans les années 1950. Elles incluent des équations pour les coudes qui demandent un multiplicateur de la tension entrante. Dans la préparation des tirages qui traitent des grandes et larges courbes typiques des conduites placées en tranchées ou par forage dirigé, des versions simplifiées des équations ne peuvent pas être utilisées. Le poids du câble est significatif dans les courbes à grand rayon et ne peut pas être ignoré. L'emploi de l'équation horizontale entière prédit des tensions plus précises, puisque ce type de déplacement minime agit plus comme une ligne droite.

La tension sur le câble tiré peut être anticipée en utilisant plusieurs équations pour les courbes horizontales. Équation 1 est ce qu'on appelle la forme "complète." L'Équation 2 est une approximation dérivée de l'Équation 1.

$$\text{Équation 1 (complète): } T_{\text{sort.}} = T_{\text{ent.}} \cosh(w\mu\theta) + \left( \sinh(w\mu\theta) \sqrt{T_{\text{ent.}}^2 + (WR)^2} \right)$$

$$\text{Équation 2 (simplifiée): } T_{\text{sort.}} = T_{\text{ent.}} e^{w\mu\theta}$$

Où :

$T_{\text{sort.}}$  = tension sortant de la courbe

$T_{\text{ent.}}$  = tension entrant dans la courbe

$w$  = facteur de correction de poids

$\mu$  = coefficient de friction

$\theta$  = angle de la courbe (en radians)

$W$  = poids du câble (par unité de longueur)

$R$  = rayon de la courbe

Il est important de noter que l'analyse ci-dessous ne spécifie pas les unités de forces.

L'analyse est applicable pour n'importe quelle unité (typiquement lbf, kgf ou N), tant que le

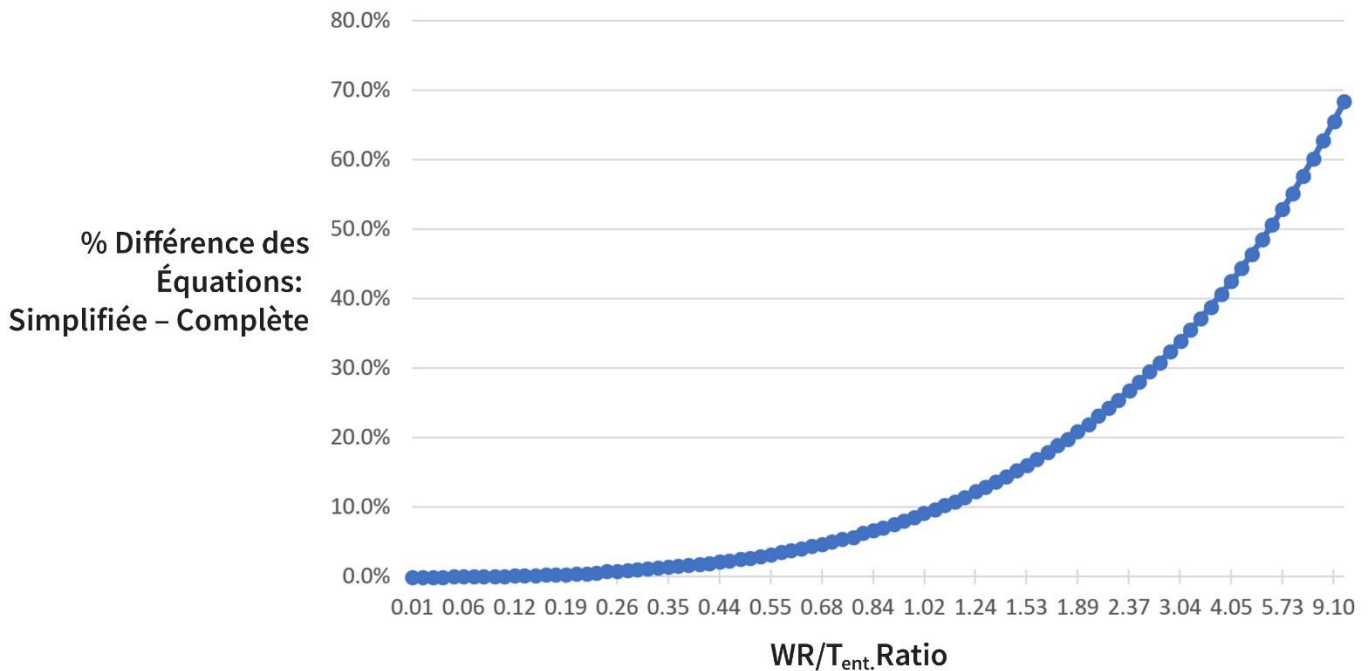
poids (typiquement lb./ft, kg/m, ou N/m) et le rayon (ft, m et m) utilisent les unités équivalentes.

L'Équation 2 est dérivée de l'équation 1 lorsque  $T_{ent.} \gg WR$ . Dans ce cas, le dernier terme dans l'Équation 1  $\sqrt{T_{ent.}^2 + (WR)^2}$  s'approche  $T_{ent.}$  et l'équation est simplifiée à :  $T_{sort.} = T_{ent.} (\cosh(w\theta\mu) + \sinh(w\theta\mu))$ , qui est ensuite simplifiée à  $T_{sort.} = T_{ent.} e^{w\mu\theta}$ .

L'équation 2 simplifiée ne contient pas le poids du câble, W. Donc, cette équation ne varie pas avec le poids du câble qui est dans la courbe. L'Équation 2 produit toujours une tension plus basse que l'équation complète 1. Dans quels cas le caractère approximatif de l'équation 2 est-il suffisante ?

Tandis que les différences de calcul entre les deux équations dépendent des valeurs spécifiques pour  $w, \mu, \theta, W$ , et  $R$ , le pourcentage de différence de la tension sortante,  $T_{sort.}$ , peut être évalué. Lorsque  $T_{ent.}$  s'agrandit comparé au poids total du câble,  $(WR)$  le ratio  $\frac{WR}{T_{ent.}}$

**Graphique 1 : Comparaison Ratio  $WR/T_{ent.}$  au % Erreur**



se rétrécit. Le graphique 1 montre la comparaison entre le pourcentage de différence, ou magnitude d'erreur, et les ratios  $\left(\frac{WR}{T_{ent.}}\right)$  de 0.01 à 10.

Parce que la résolution de ce graphique est limitée, les données spécifiques sont présentées et expliquées ci-dessous.

L'approximation dans l'équation 2 a divergé de l'équation 1 par ~1% à un ratio  $\frac{WR}{T_{ent.}}$  de 0.31.

La Publication AEIC CG-5-15 soutient que la validité de l'équation simplifiée 2 aux ratios  $\frac{WR}{T_{ent.}}$  <0.5. Ceci est une erreur d'à peu près 2.5%. Alors, quand est-ce que les ratios supérieurs à cette gamme se présentent dans les tirages de câble ?

Les ratios  $\frac{WR}{T_{ent.}}$  plus élevés sont très communs dans les conduites placées en tranchées ou par forage dirigé. Le forage dirigé crée des courbes de long rayon, souvent avec un petit angle de déplacement. Dans ces types de courbes, le poids total du câble est élevé comparé à l'angle total de la courbe. Comment fonctionnent les équations dans cette situation ?

Le graphique 2 compare la tension calculée des deux équations avec les changements des degrés de l'angle. Pour être précis, le graphique 2 montre les équations 1 et 2 pour une courbe à grand rayon et utilise les données figurant ci-dessous.

Données de calcul pour le graphique 2 :

$T_{ent.} = 3,500$  (tension entrante)

$W = 5$  (poids du câble selon longueur)

$\mu = 0.2$  (facteur du coefficient de friction)     $w = 1$  (facteur de correction de poids)

$\Theta =$  angle de la courbe varie de 90 à 0 degrés

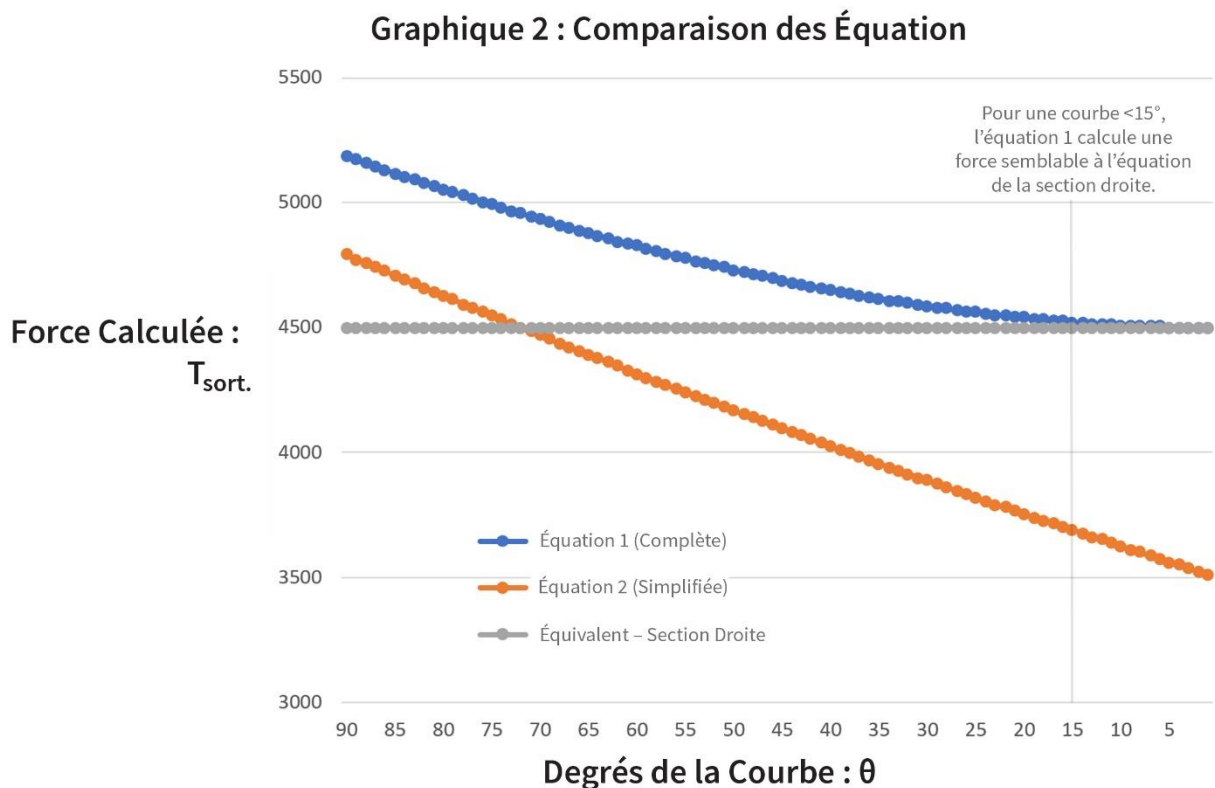
$R =$  rayon de la courbe est variable de 636.6198 augmentant avec le rétrécissement de l'angle et produisant une longueur constante du câble de 1,000 dans l'arc de la courbe.

Avec l'agrandissement du rayon, le poids du câble et la tension entrante sont constants. Le ratio,  $\frac{WR}{T_{ent.}}$  = commence à 0.91 et continue à augmenter. Il y a déjà une différence notable au début (90 degrés). Les calculs de l'Équation 1 (complète) sont en bleu et les calculs de l'Équation 2 (simplifiée) sont en orange.

Mais une nouvelle perspective sur les calculs des courbes vient de la tension calculée comme s'il la longueur du câble dans l'arc de la courbe était une ligne droite (ligne grise). Parce que cet exemple était établi avec une longueur constante du câble dans l'arc, il y a une adjonction d'une ligne droite constante de 1,000, ou un total de 4,500 une fois ajouté à la tension entrante (3,500).

$$T_{\text{sort.}} = T_{\text{ent.}} + \mu WL \text{ (équation d'une ligne droite)}$$

où L = la longueur



Ce graphique soutient l'importance des équations complètes pour des courbes à grand rayon typiques du forage dirigé. Les tensions calculées de l'équation 1 approchent la

tension d'une ligne droite lorsque l'angle de la courbe rétrécit et elle approche physiquement une section droite. On anticipe cela de manière intuitive.

Mais dans l'équation simplifiée 2, lorsque l'angle de la courbe approche 0, le multiplicateur approche l'unité, donc prévoyant aucune adjonction à la tension entrante. Bien évidemment, ce n'est pas correct. La simplification n'est pas valable pour ce niveau de ratio.

Les tensions dans les courbes horizontales à grand rayon et aux angles de déplacement <15 degrés, se rapprochent des sections droites avec la même longueur de câble. (Graphique 2) Lorsque la courbe n'est que quelques degrés, ce déplacement peut être ignoré, et la section peut être calculée comme droite si désiré. Vous devez toujours faire des calculs à part pour déterminer la longueur de l'arc et saisir les données en temps que section droite, utilisant cette longueur de l'arc.

Le logiciel Pull-Planner™ 4.0 d'American Polywater utilise les équations complètes dans tous calculs des courbes horizontales. Il n'y a pas d'inconvénient à cette approche car le logiciel fait le travail difficile (les calculs plus complexes), et les calculs sont valables n'importe le ratio  $\frac{WR}{T_{ent.}}$ .

Cette analyse s'applique uniquement aux courbes horizontales. Une analyse future se concentra sur des limitations similaires concernant les équations des courbes verticales.

**Pour plus d'information, contactez :**

Sheri Dahlke, Directrice Technique, Polywater, Sheri.dahlke@polywater.com

Pour information sur le Pull-Planner ou sur les produits :

[support@polywater.com](mailto:support@polywater.com)

[global@polywater.com](mailto:global@polywater.com)

**Référence**

*Underground Extruded Power Cable Pulling Guide*, AIEC Publication CG-5-15, 3rd Edition, Association of Edison Illuminating Companies (AEIC), January 2015.