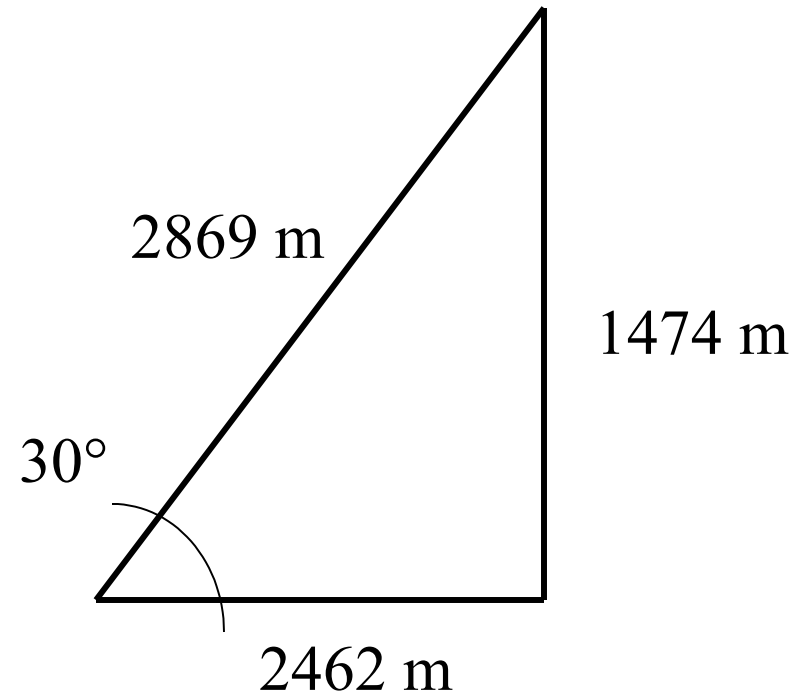


Etude des conditions mécaniques du  
relâchement des fils extérieurs des  
câbles tracteurs des téléphériques

Study of the mechanical conditions  
of the outer wire relaxation of the  
reversible aerial ropeway haul rope



# Téléphérique de l'Aiguille du Midi Aiguille du midi aerial reversible ropeway



# Premier câble tracteur - **First haul rope**

- ✓ Diamètre 46 mm
- ✓ Câble Lang de six torons de 31 fils
- ✓ Âme compacte

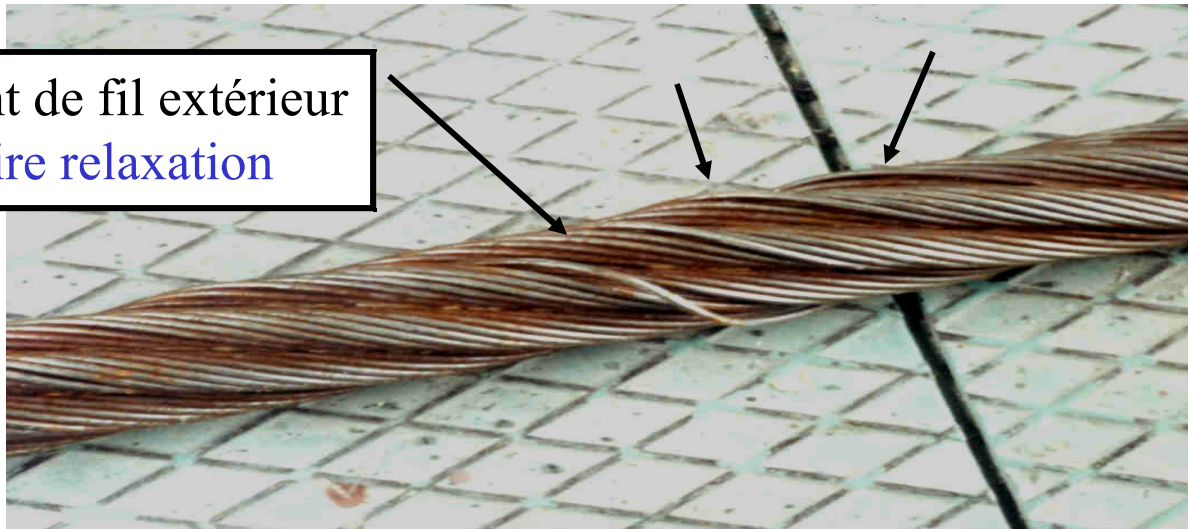
Mis en service - **Put into service**

15 / 06 / 1991

Déposé - **Out of order**

28 / 08 / 1991

Relâchement de fil extérieur  
**Outer wire relaxation**



# Deuxième câble tracteur - **Second haul rope**

- ✓ Diamètre 40 mm
- ✓ Câble Lang de six torons de 25 fils compactés
- ✓ Âme polypropylène multifilaire compactée

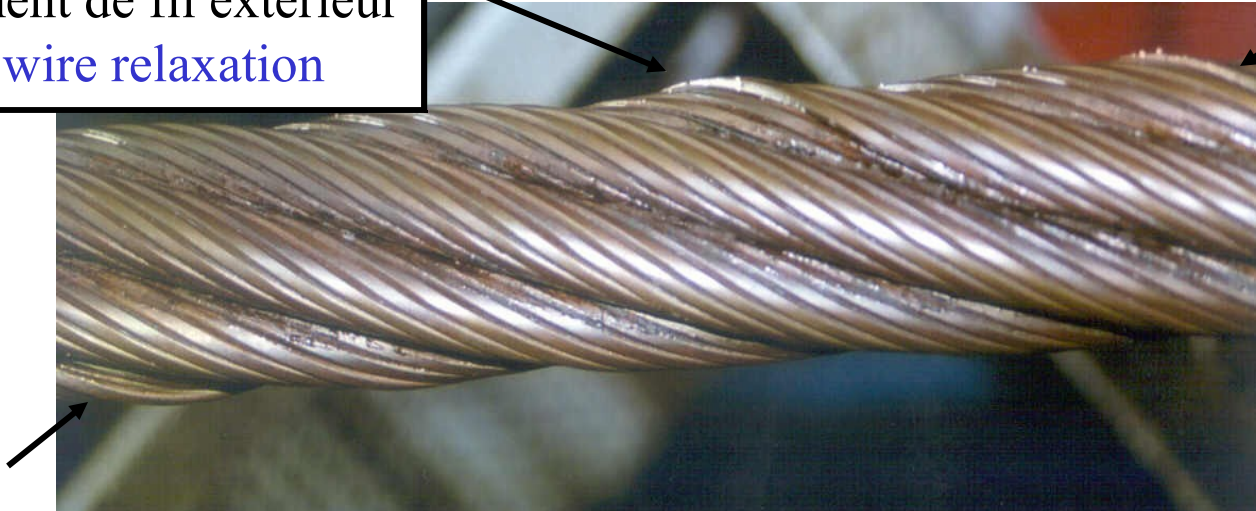
Mis en service - **Put into service**

14 / 02 / 1992

Déposé - **Out of order**

05 / 2001

Relâchement de fil extérieur  
**Outer wire relaxation**



# Objectifs de l'étude - Objectives of the study

1. Mesures des contraintes des fils extérieurs  
Measure of outer wires stresses
3. Calcul des contraintes et des efforts appliqués aux fils extérieurs  
Calculation of stresses and efforts applied on outer wires

Pour préciser les conditions mécaniques du relâchement des fils extérieurs d'un câble sollicité en traction-torsion

In order to precise the mechanical conditions of the outer wire relaxation of a rope subjected to tension-torsion

# Caractéristiques du câble échantillon

## Characteristics of the sample rope

- Diamètre nominal : 40 mm
- Composition : 6 × 17 fils Seale
- Ame compacte
- Diamètre des fils extérieurs : 3.53 mm de classe 1960 Mpa
- Section métallique totale : 644 mm<sup>2</sup>
- Charge de rupture admise : 116 654 daN
- Longueur du câble échantillon : 7 m

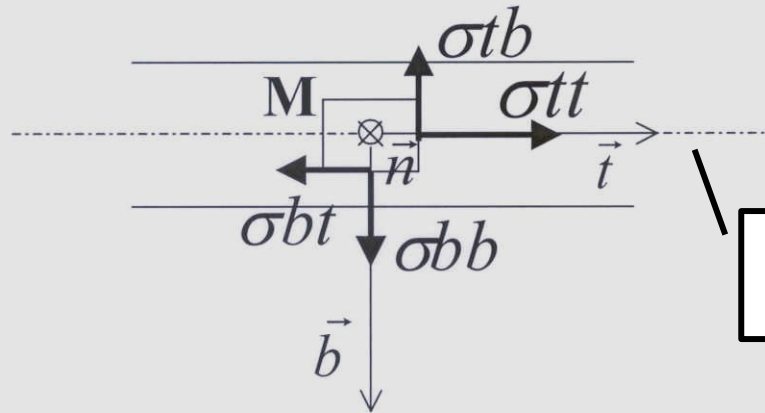
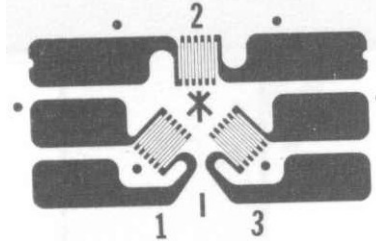


# Mesures des contraintes d'un fil extérieur

## Measure of one outer wires stresses



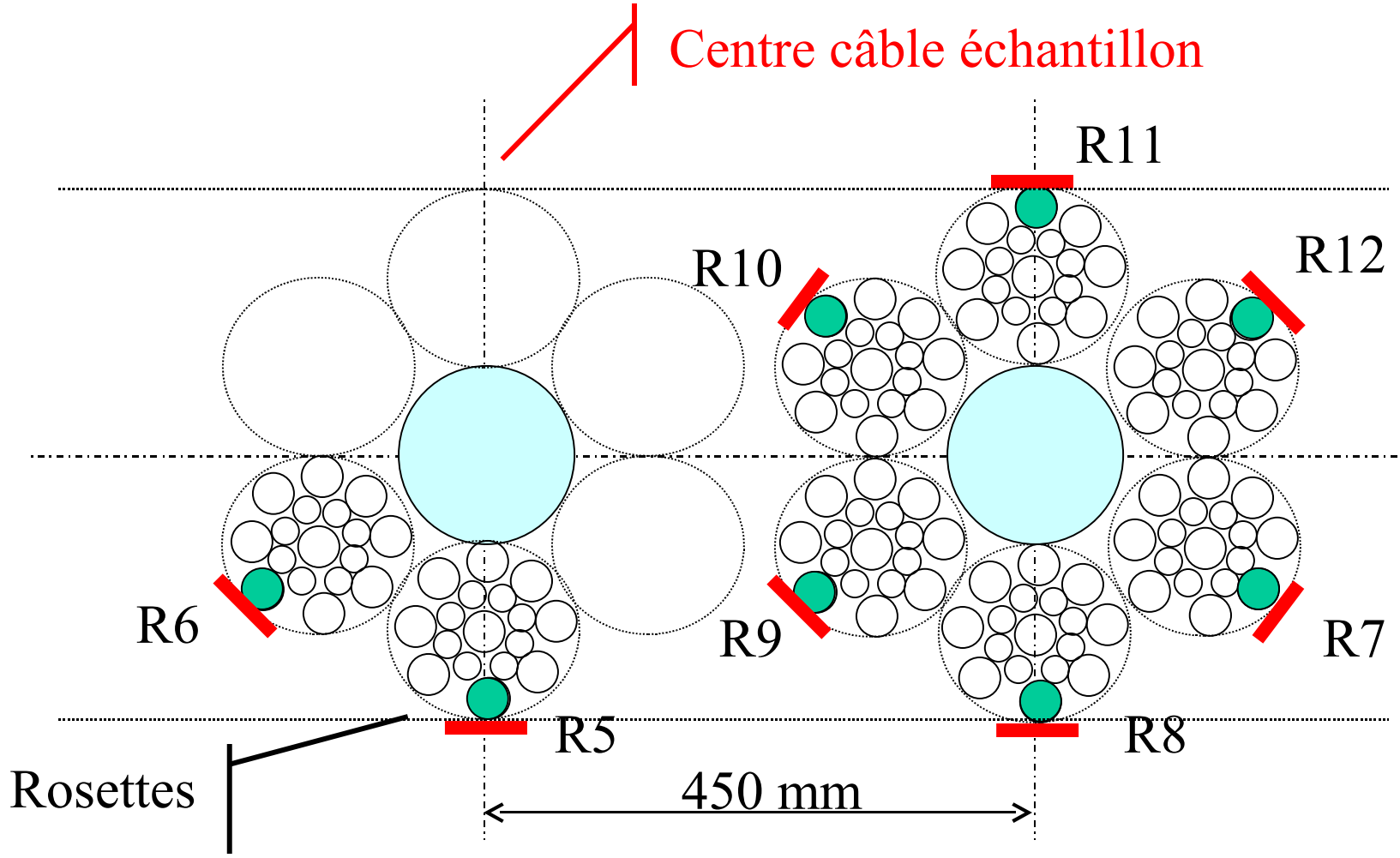
Rosette 3 directions



Axe du fil

# Emplacement des rosettes de mesure sur le câble

## Strain gauge rosettes places on the rope





# Instrumentation du câble

## Intrumentation of the rope



# Conditions de sollicitation du câble

## Loading conditions of the rope

- Rotations d'une extrémité du câble tendu à 2000 daN – Rotations of one end of the rope loaded at 2000 daN :  
0°/100d, + 90°/100d, - 90°/100d, + 180°/100d, - 180°/100d  
+ 360°/100d, - 360°/100d, + 450°/100d, - 450°/100d, + 540°/100d, - 540°/100d  
- 630°/100d, - 720°/100d, - 810°/100d, - 900°/100d.
- Efforts de tension croissants et décroissants – Increasing and decreasing tension forces :  
2000 daN, 6000 daN, 12000 daN, 18000 daN, 24000 daN, 30000 daN, 24000 daN, 18000 daN, 12000 daN, 6000 daN, 2000 daN.

Les contraintes des fils extérieurs ont été mesurées pour chacune des sollicitations précédentes du câble.

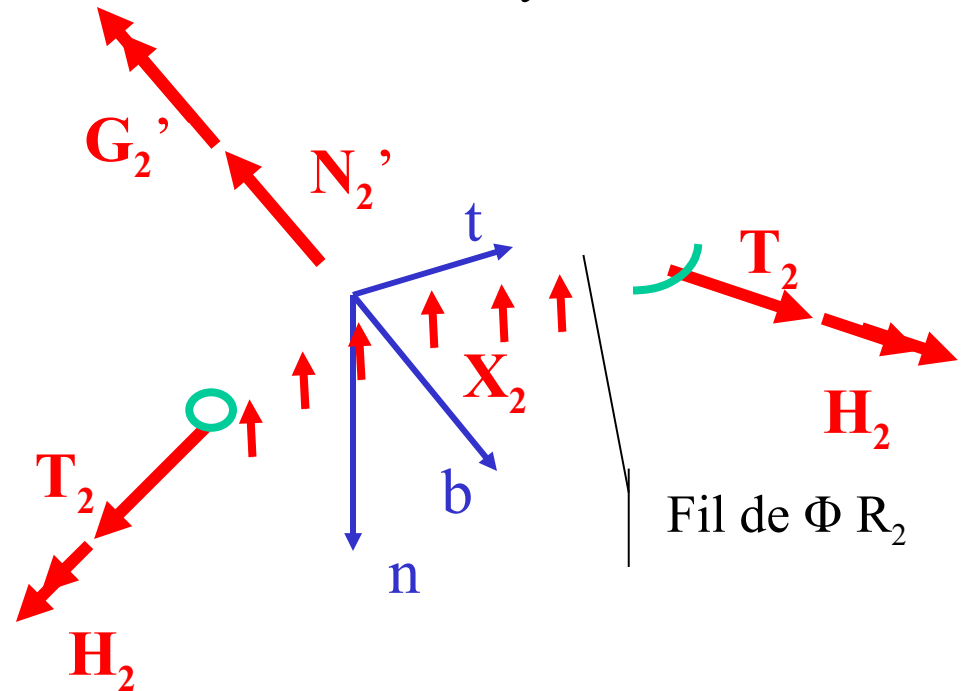
# Calcul des efforts appliqués aux fils extérieurs

## Calculation of the loads applied to the outer wires

### Modèle de S.A.Velinsky :

- Les fils sont des hélices circulaires droites
- Domaine des petites déformations : élasticité linéaire
- Les frottements entre les fils et les torons sont négligés
- Prise en compte du facteur d'élasticité et du coefficient de Poisson de l'âme

Les efforts appliqués aux fils et calculés selon le modèle de S.A.Velinsky sont les suivants :



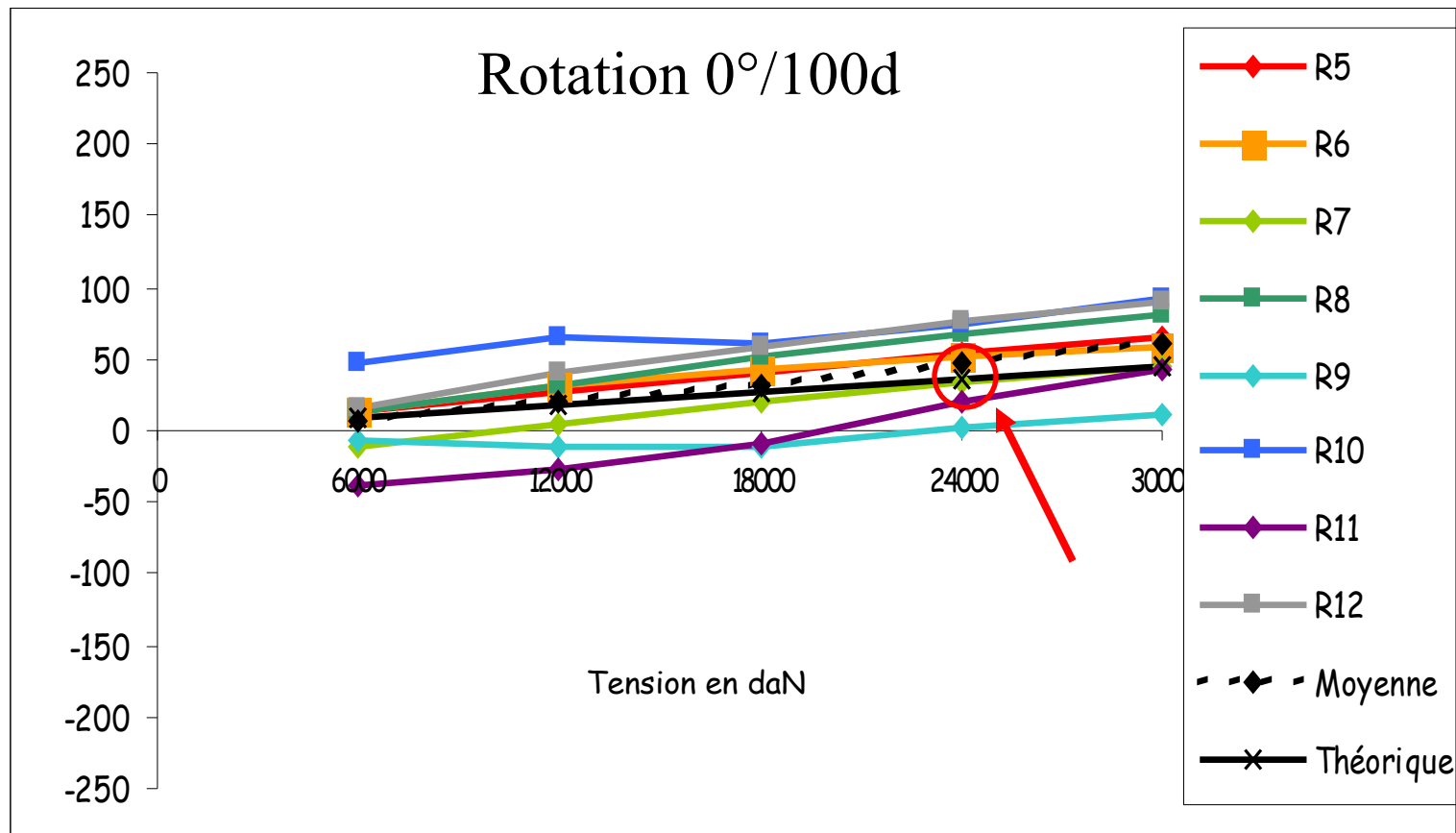
# Calcul des contraintes d'un fil extérieur

## Calculation of the outer wire stresses

<p>Au point de mesure M la matrice des contraintes</p>	$\sigma_{tt} = \frac{T_2}{\pi R_2^2} + \frac{4G_2'}{\pi R_2^3}$	$\sigma_{tb} = \frac{-2H_2}{\pi R_2^3} + \frac{4N_2'}{3\pi R_2^2}$
<p><math>\Gamma_M =</math></p>	$\sigma_{tb} = \frac{-2H_2}{\pi R_2^3} + \frac{4N_2'}{3\pi R_2^2}$	$\sigma_{bb} = 0$

# Contraintes longitudinales des fils extérieurs

## Longitudinal stresses of outer wires



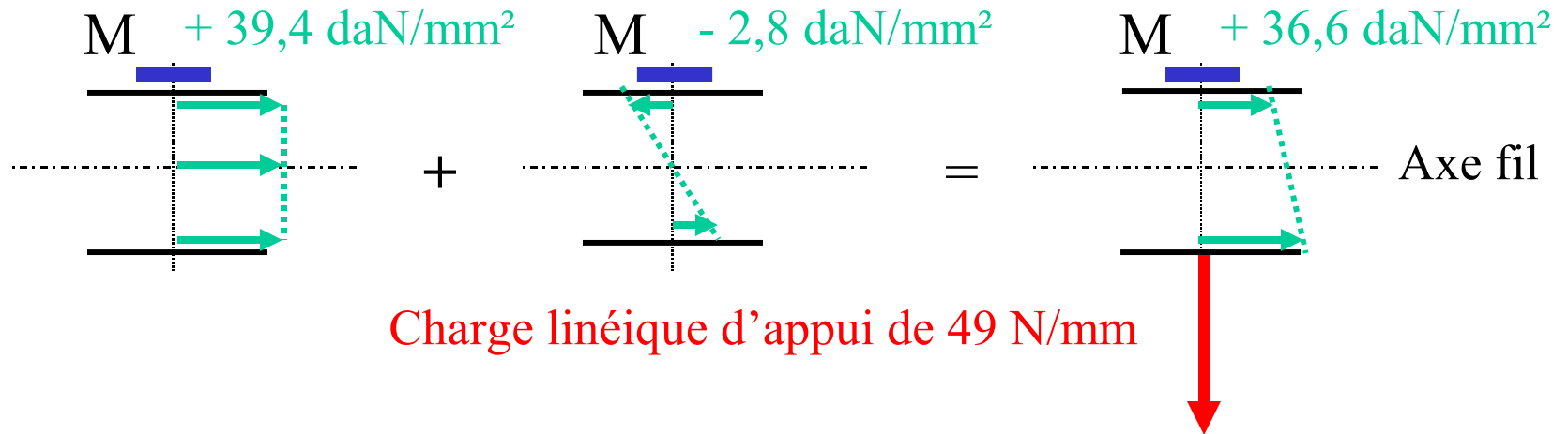
# Contraintes et efforts appliqués aux fils extérieurs

## Stresses and loads applied on the outer wires

Contrainte de traction

Contrainte de flexion

Contrainte longitudinale

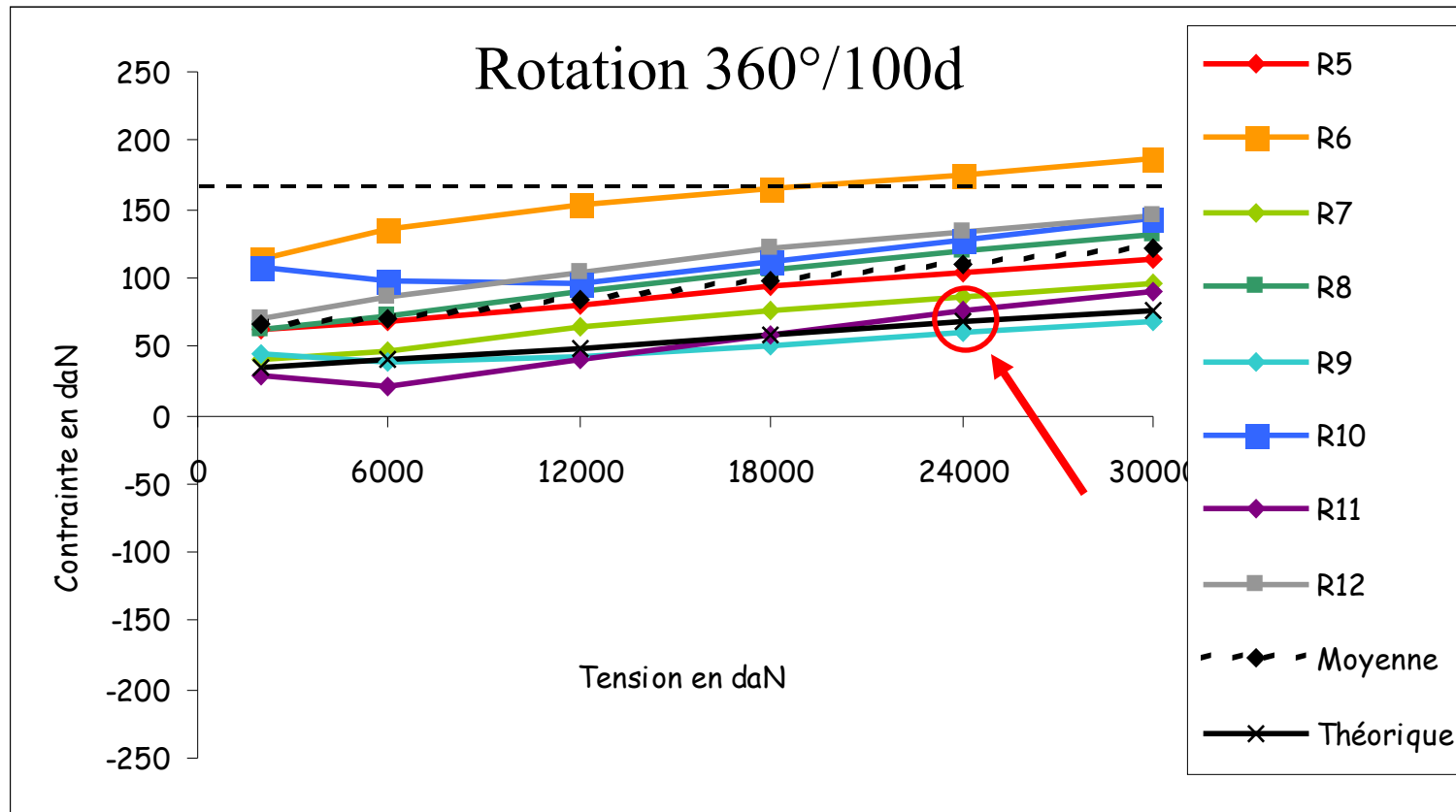


Rotation 0°/100d – Tension de 24000 daN



# Contraintes longitudinales des fils extérieurs

## Longitudinal stresses of outer wires



----- Contrainte à la limite élastique conventionnelle

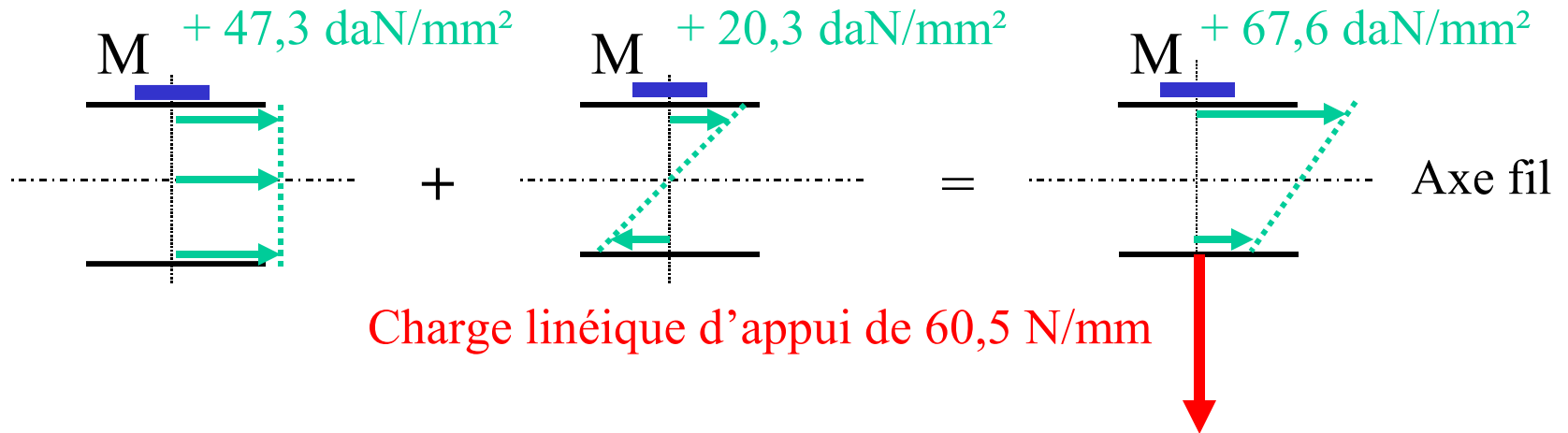
# Contraintes et efforts appliqués aux fils extérieurs

## Stresses and loads applied on the outer wires

Contrainte de traction

Contrainte de flexion

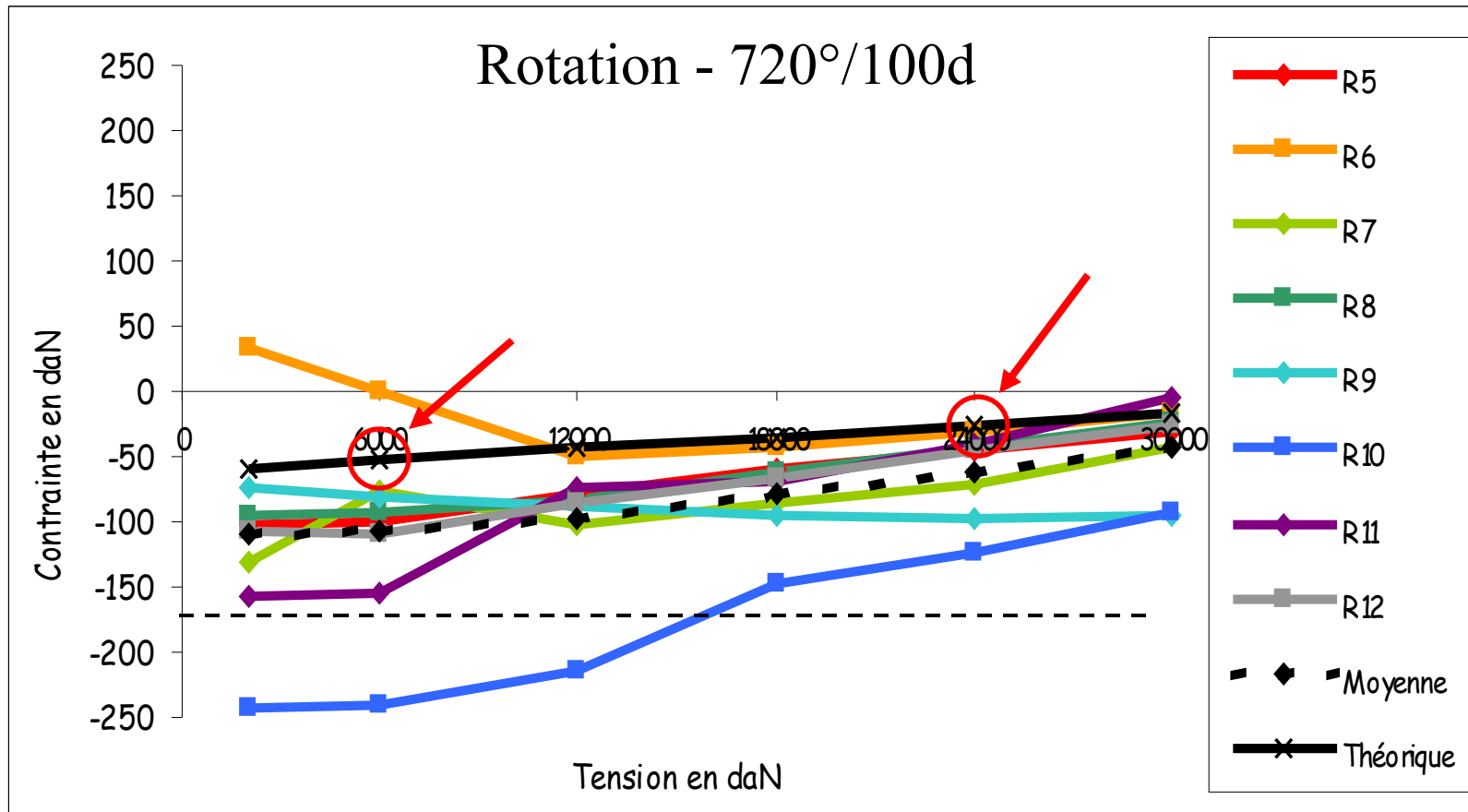
Contrainte longitudinale



Rotation 360°/100d – Tension de 24000 daN

# Contraintes longitudinales des fils extérieurs

## Longitudinal stresses of outer wires



----- Contrainte à la limite élastique conventionnelle

# Contraintes et efforts appliqués aux fils extérieurs

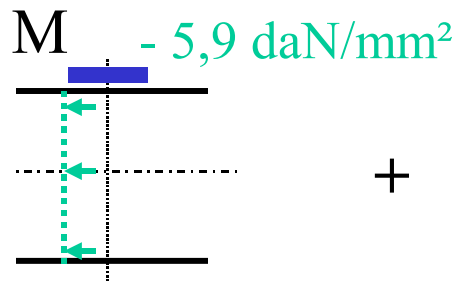
## Stresses and loads applied on the outer wires

Contrainte de traction

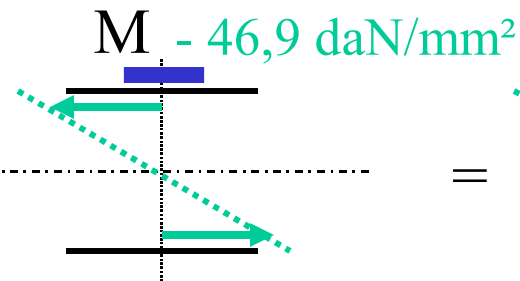
Contrainte de flexion

Contrainte longitudinale

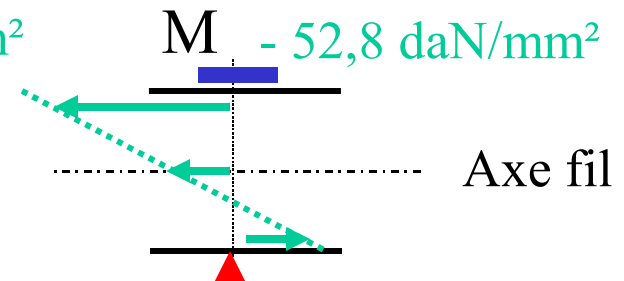
Tension  
de 6000  
daN



+

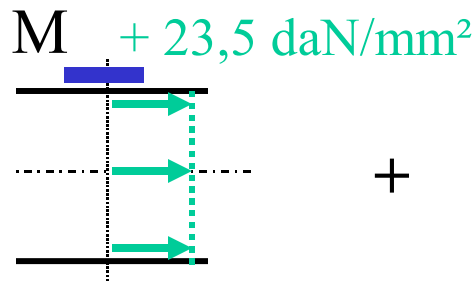


=

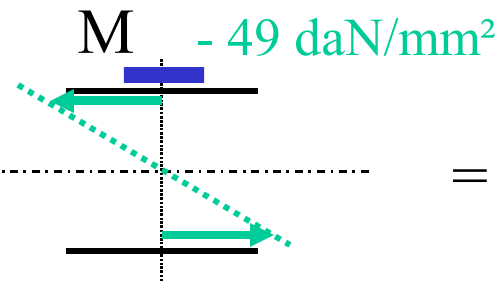


Charge linéique de repoussage de - 10,8 N/mm

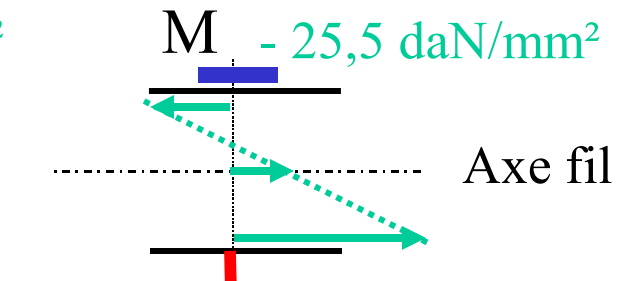
Tension  
de 24000  
daN



+



=

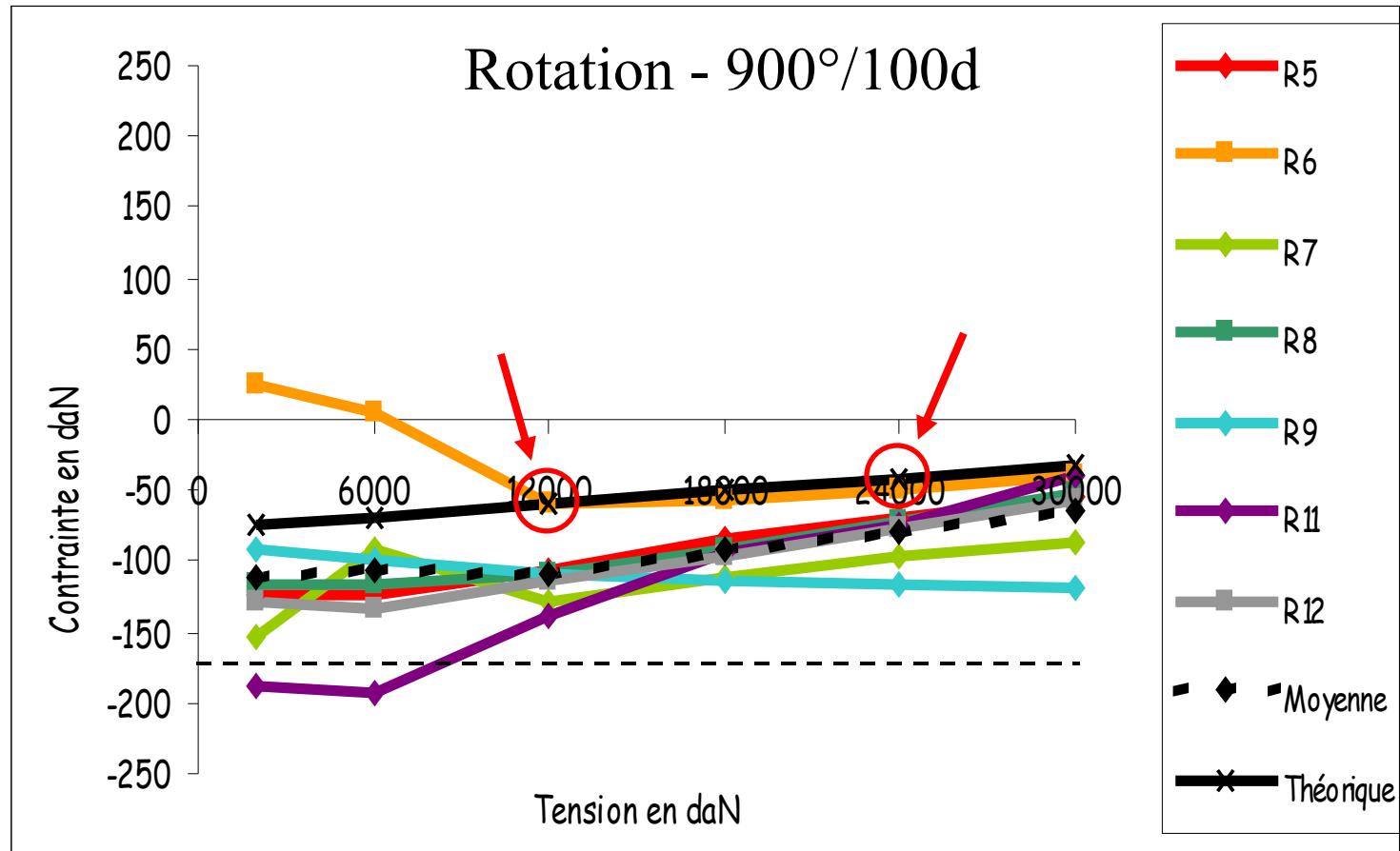


Charge linéique d'appui de 25,9 N/mm

Rotation - 720°/100d

# Contraintes longitudinales des fils extérieurs

## Longitudinal stresses of outer wires



----- Contrainte à la limite élastique conventionnelle

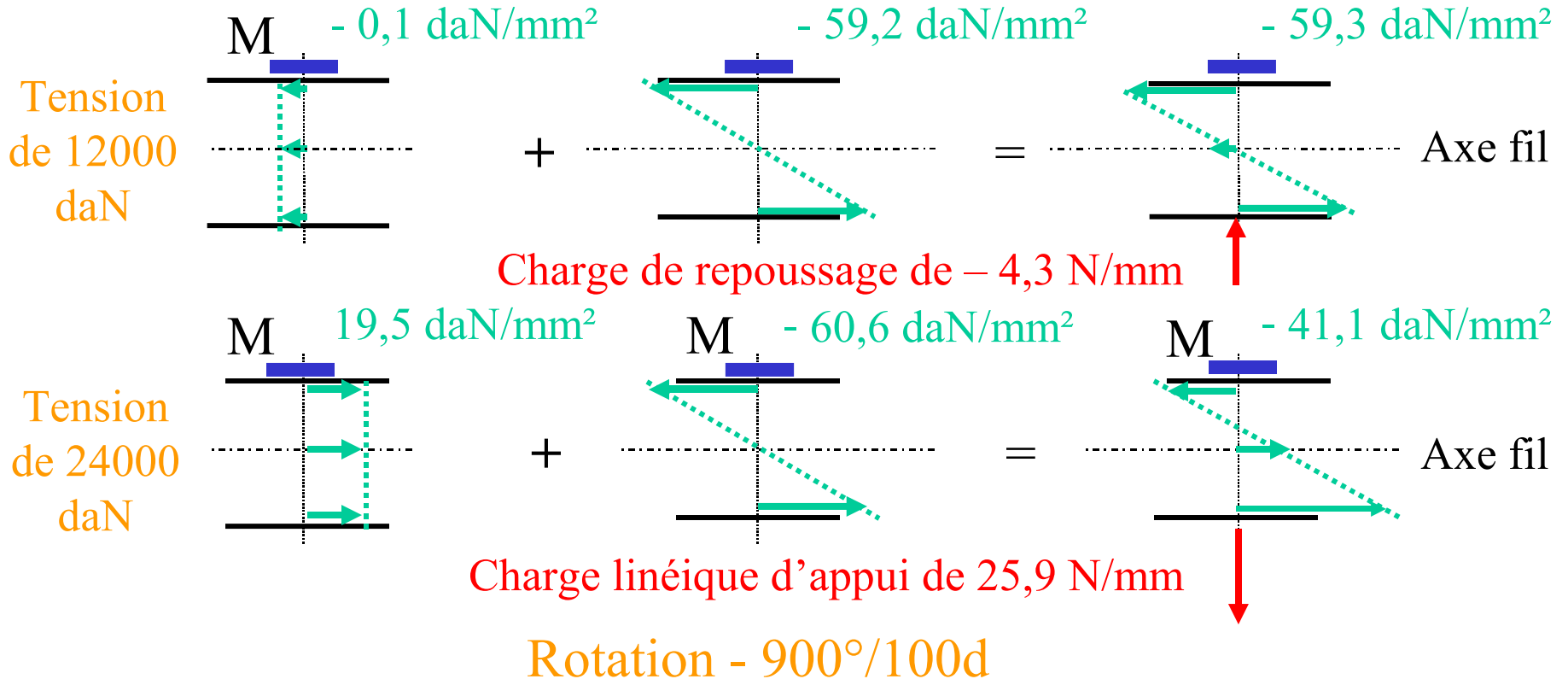
# Contraintes et efforts appliqués aux fils extérieurs

## Stresses and loads applied on the outer wires

Contrainte de traction

Contrainte de flexion

Contrainte longitudinale





# Synthèse des résultats de mesure et de calcul

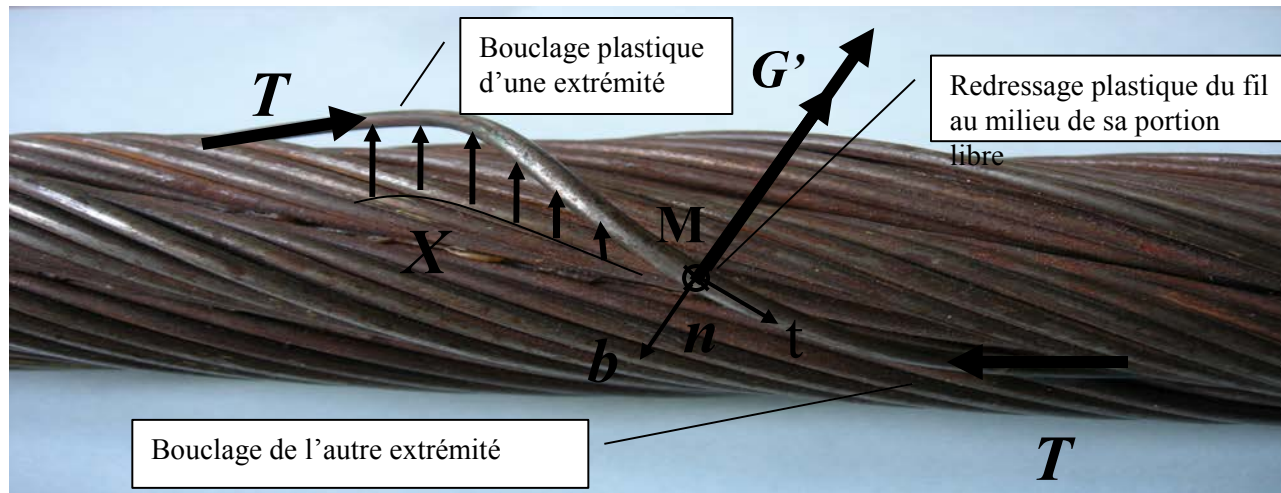
## Synthesis of measures and calculation results

- En absence de vrillage du câble – Without rope torsion
  - les fils extérieurs ont tous globalement un comportement semblable
  - leur contrainte longitudinale de **traction excède** très largement la contrainte longitudinale de **flexion de redressage des fils**; toute leur section est sollicitée par une **contrainte longitudinale de traction**
  - ils sont **en appui** sur la couche de fils intérieure
- En présence d'un vrillage du câble de  $360^\circ/100d$  soit 1 tr / 4 m – With rope torsion of  $360^\circ/100d$ 
  - les fils extérieurs ont tous globalement un comportement semblable
  - leur contrainte longitudinale de **traction est environ le double** de la contrainte longitudinale de **flexion de courbure des fils**; toute leur section est sollicitée par une **contrainte longitudinale de traction**
  - ils sont plus **fortement en appui** sur la couche de fils intérieure qu'en absence de couple de vrillage

- En présence d'un dévissage du câble de - 720°/100d soit 2 tr/4 m et - 900°/100d soit 2 ½ tr/4m - [With rope torsion of - 720°/100d and - 900°/100d](#)
  - ❖ Dans le domaine des tensions élevées du câble – [Field of biggest tensions](#)
    - leur contrainte longitudinale de **flexion de redressage excède très largement** la contrainte longitudinale de **traction**; toute leur section est sollicitée par une **contrainte longitudinale de flexion de redressage**
    - ils sont **modérément en appui** sur la couche de fils intérieure
  - ❖ Dans le domaine des tensions basses du câble – [Field of lowest tensions](#)
    - la contrainte longitudinale de **flexion de redressage** des fils équipés des rosettes R10 pour la rotation de - 720°/100d et R11 pour la rotation de - 900°/100d **excède très largement** la contrainte longitudinale de **traction**; toute leur section est sollicitée par une contrainte longitudinale de **flexion de redressage** qui dépasse la limite d'élasticité conventionnelle du matériau. **Ces fils sont sujets à une déformation plastique**
    - ils sont soumis à un **effort de compression**
    - Ils sont soumis à une charge linéique de repoussage et sont **décollés** de la couche de fils intérieure

Les **conditions mécaniques de déformation** des fils équipés des rosettes R10 et R11 sont spécifiques d'une **instabilité au flambage caractérisée** par le **redressage plastique** des fils aux points de mesure **M** situés aux milieux de la portion libre des fils et le **bouclage plastique de leurs extrémités** à proximité des points de blocage avec les torons adjacents.

Cette géométrie est analogue aux relâchements des fils extérieurs constatés quelque fois sur les câbles tracteurs de certains téléphériques.



# Conclusions - Conclusions

Dans le cas de dévissage du câble et dans le domaine des tensions les plus basses :

2. les résultats de **calcul** ont montré que les fils extérieurs hélicoïdaux insérés dans la structure du câble sont soumis à une **contrainte de flexion**, à laquelle il correspond leur redressage, un **effort de compression** et une **charge linéique de repoussage**.
3. Les résultats de **mesure** ont mis en évidence que les fils extérieurs ont en fait un **comportement plutôt anarchique** dans la structure du câble et que certains de ces fils sont même sujets à une **contrainte de flexion supérieure à la limite élastique conventionnelle**.

La **déformation plastique de ces fils particuliers**, sujets par ailleurs à un **effort de compression** et une **charge linéique de repoussage**, est caractéristique d'une **instabilité au flambage** analogue aux **relâchements des fils extérieurs** constatés quelques fois sur les câbles tracteurs de certains téléphériques.

# Perspectives de travail – Working prospects

Le travail se poursuit actuellement par l'étude et la modélisation des rotations des câbles tracteurs des téléphériques dans un but d'optimisation de leurs compositions afin d'éviter de tels dommages.

Compte tenu de ce que les conditions des relâchements des fils extérieurs ne sont pas complétement décrites par le modèle théorique de comportement de câble, cette optimisation consistera seulement à essayer de comparer les rotations de différentes compositions de câbles utilisés comme câbles tracteurs et les valeurs des contraintes et des efforts appliqués aux fils extérieurs. L'application aux cas des câbles tracteurs mis en place sur le téléphérique de l'Aiguille du Midi sera aussi bien sûr réalisée.