

Institut de recherche
Robert-Sauvé en santé
et en sécurité du travail

Cordes d'assurance horizontale : mise à jour du guide technique

Bertrand Galy

André Lan

François Ouellet

Linda Savoie



Introduction - Problématique

Chutes de hauteur

397 M\$ / an (2010-2012)

(2^e en termes de coûts)

24,6 % des décès au travail en 2014

(2^e cause)

70 % des arrêts de travail

58 % des constats d'infraction

dans la construction (2011)

Introduction - Problématique

Corde d'assurance horizontale (CAH)



Potelets

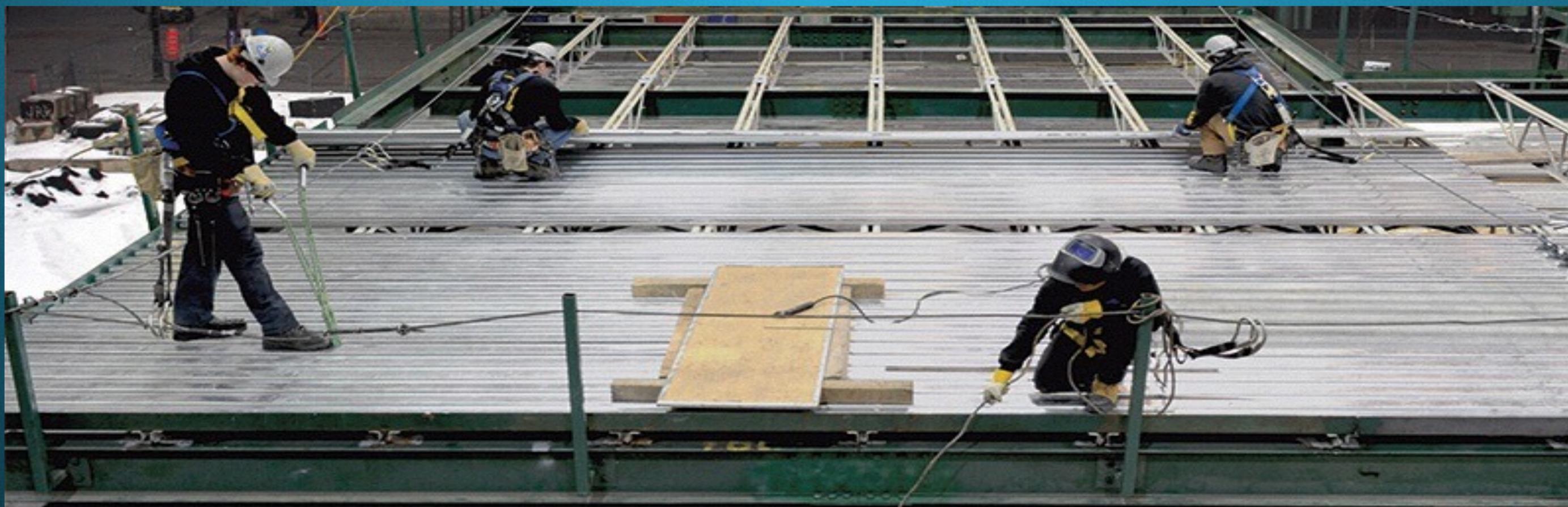
Câble

Introduction - Problématique

Corde d'assurance horizontale (CAH)

- Économique
- Efficace
- Assez facile à mettre en œuvre
- Conviviale (liberté de mouvement)

Difficulté
=
Conception



Introduction - Problématique

Besoins
chantier



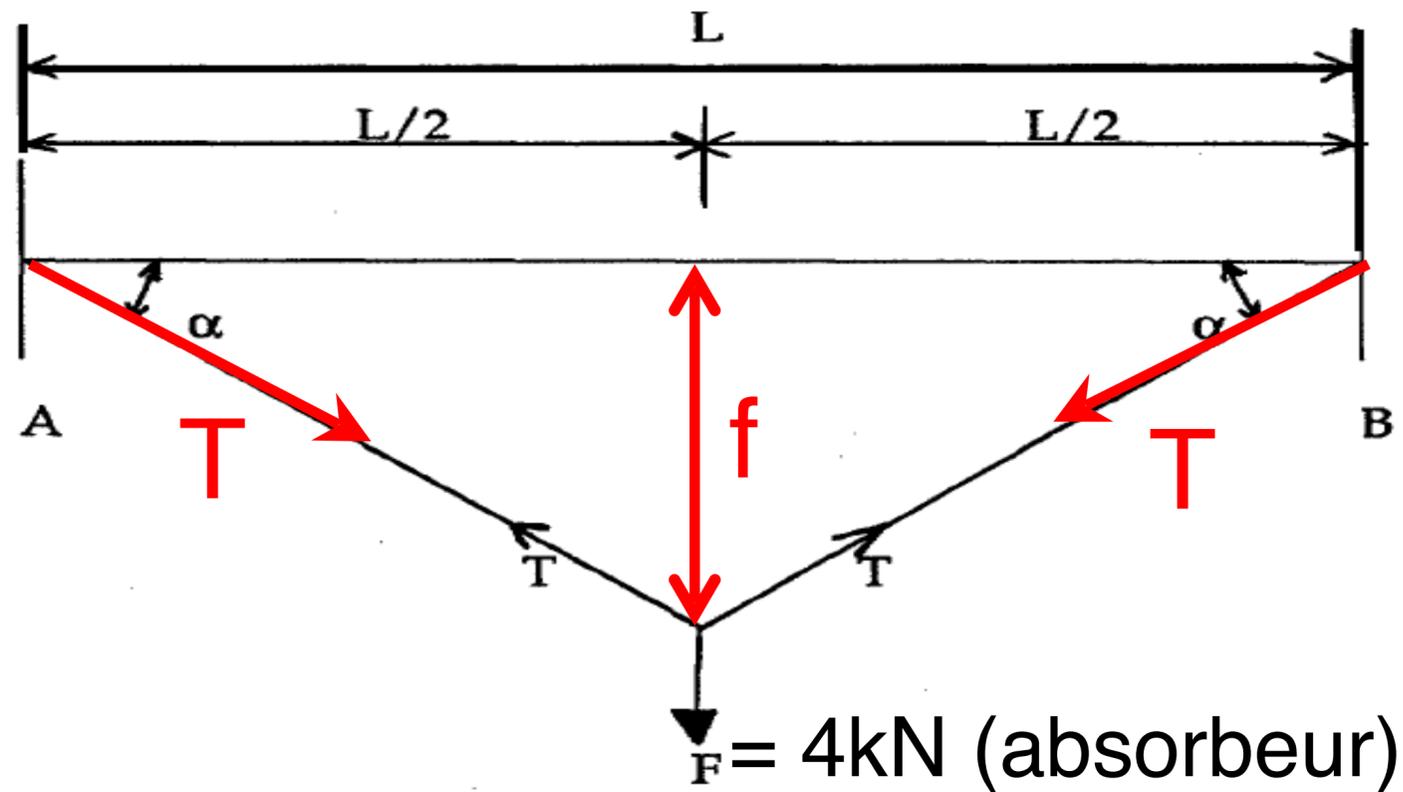
Conception
CAH



Conception
ancrages

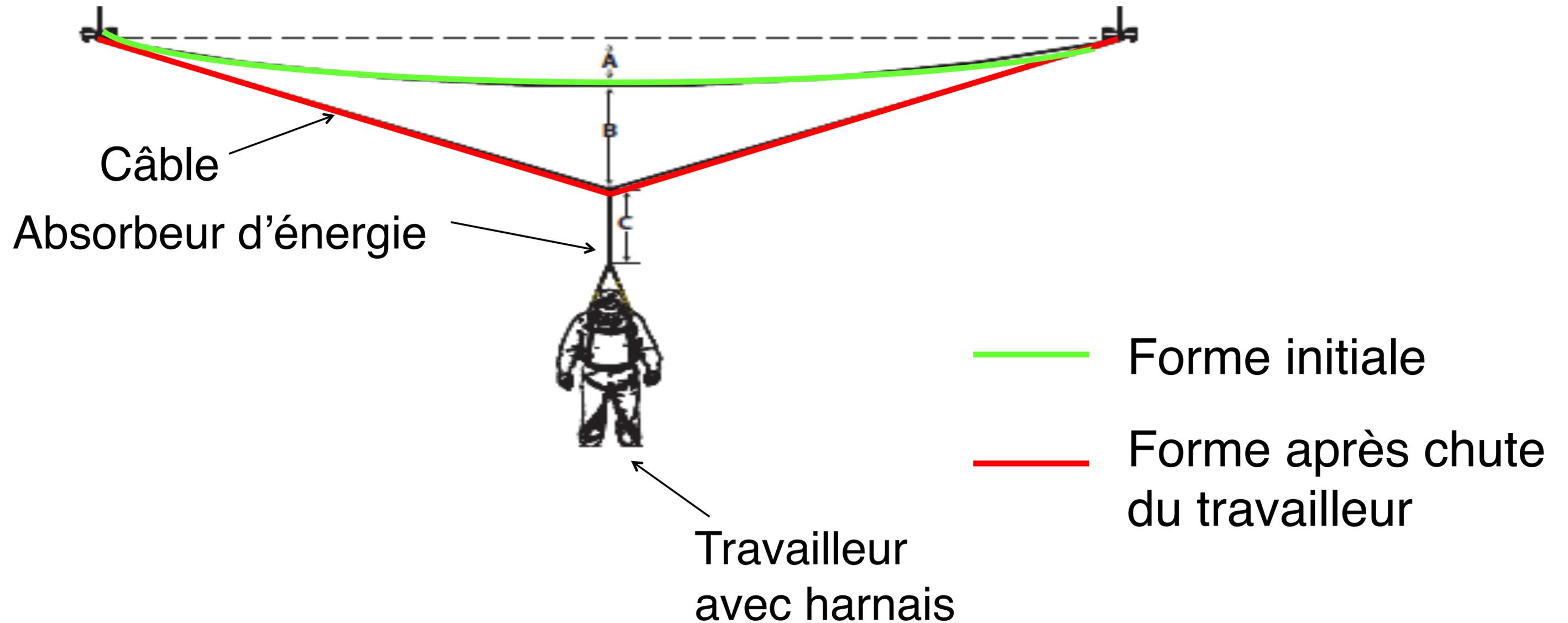


Mise en
œuvre



- Calcul de la tension T
- Calcul de la flèche f

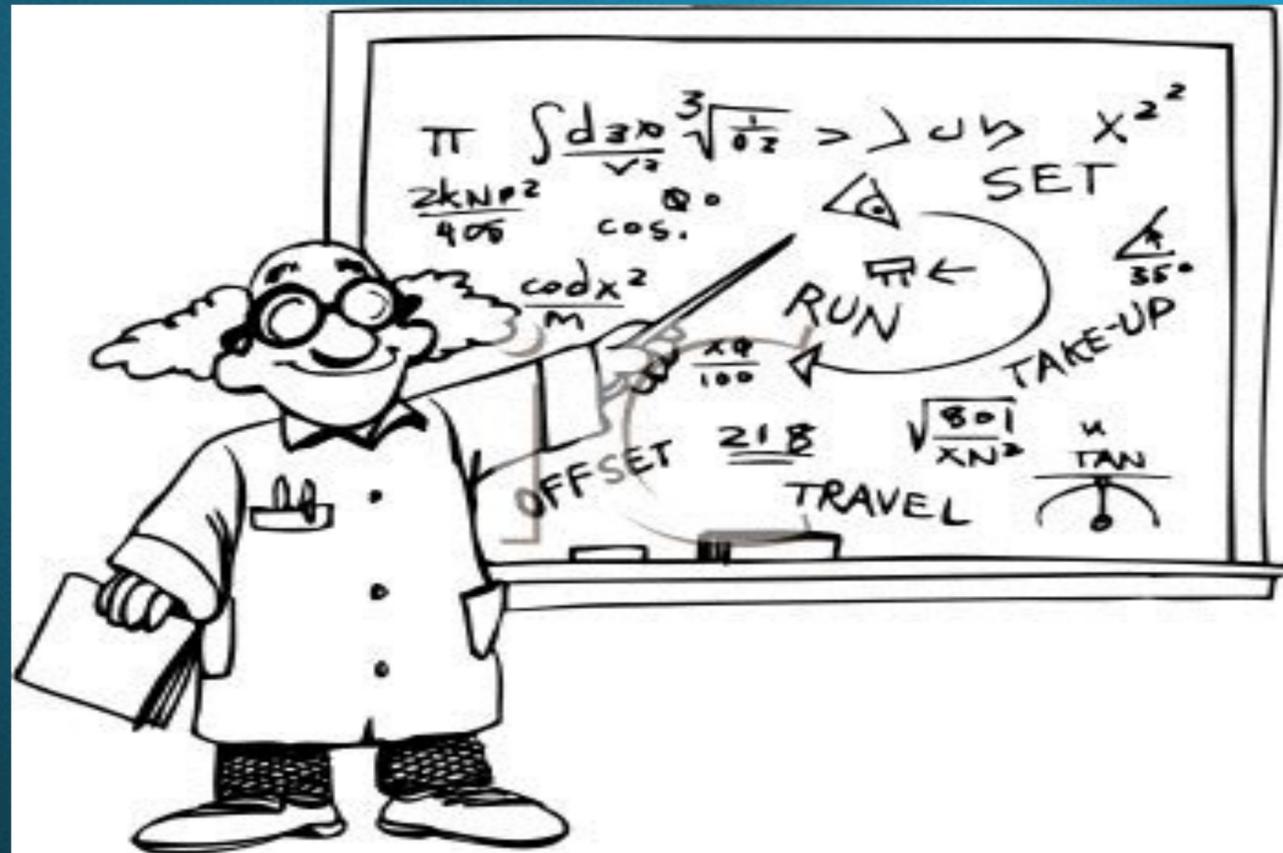
Introduction - Problématique



Introduction - Problématique

Difficultés de conception

- Structure flexible (comportement non linéaire)
- Charge dynamique (chute)
- Rigidité augmente avec le chargement



Solutions théoriques existent, mais complexes à utiliser

Logiciels d'analyse des structures : coûteux en regard de la CAH

Introduction - Problématique

Objectif :



Proposer une méthode de conception :

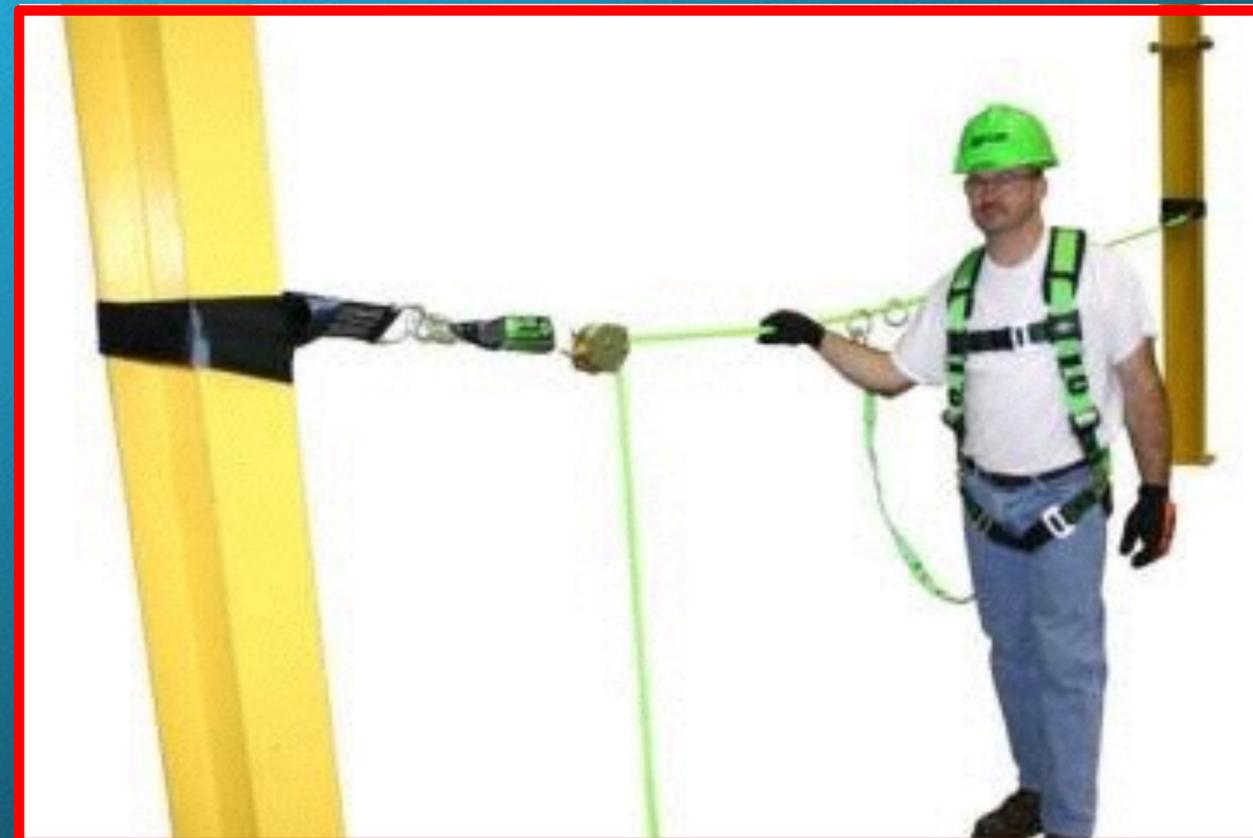
- Rapide
- Simple
- Fiable
- Considérant la rigidité des ancrages

Plan

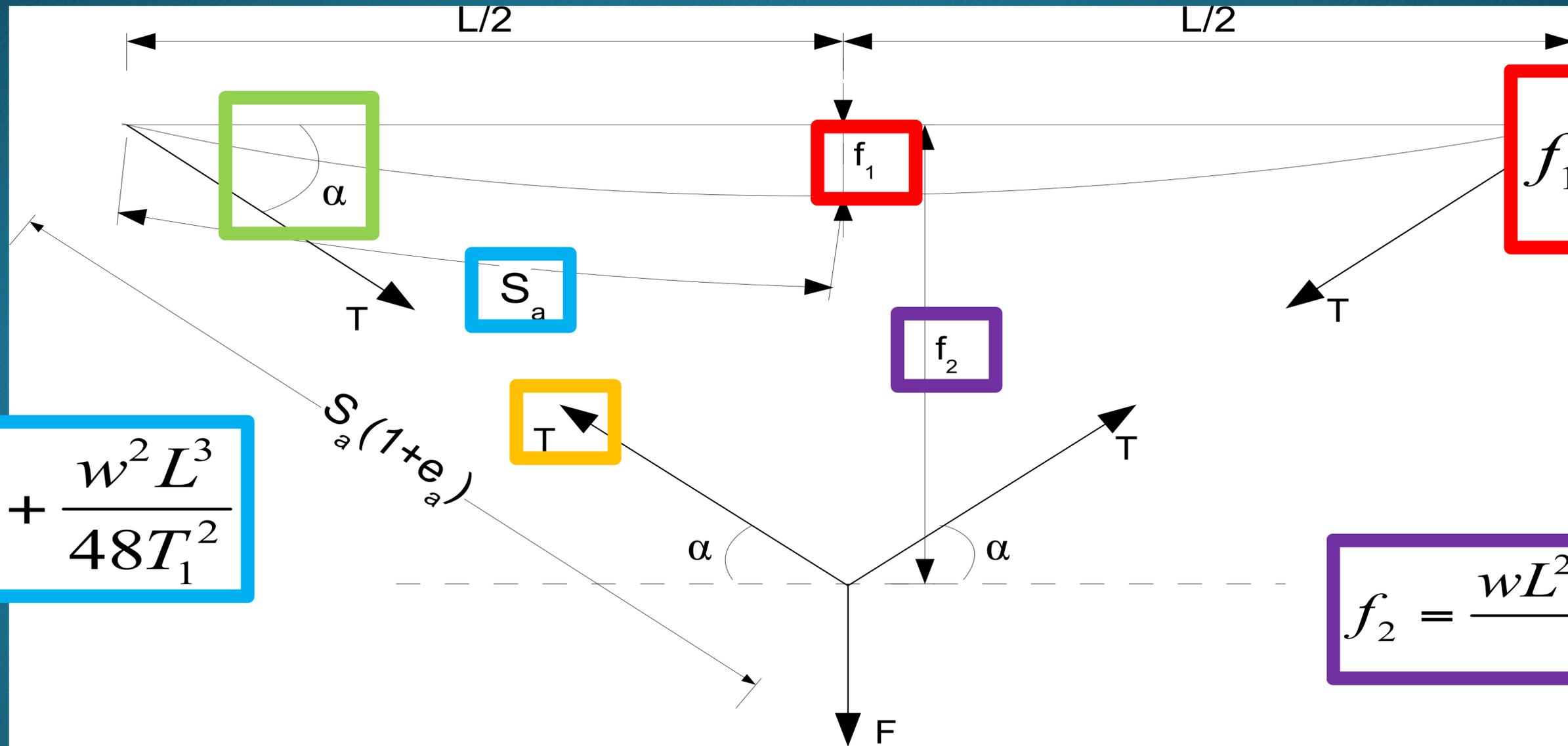
1. Méthode de calcul analytique
2. Validation expérimentale
3. Validation avec SAP2000
4. Développement outil Web

Méthode analytique

- Hypothèses
 - Ancrage rigide ou flexible
 - Câble parabolique sous son poids propre
 - Câble de forme triangulaire lors de la chute
 - Méthode statique, domaine élastique



Méthode analytique – Ancrage rigide



$$S_a = \frac{L}{2} + \frac{w^2 L^3}{48T_1^2}$$

$$f_1 = \frac{wL^2}{8T_1}$$

$$f_2 = \frac{wL^2 + 2FL}{8T}$$

$$\cos \alpha = \frac{L}{2S_a \left(1 + \frac{T}{EA}\right)}$$

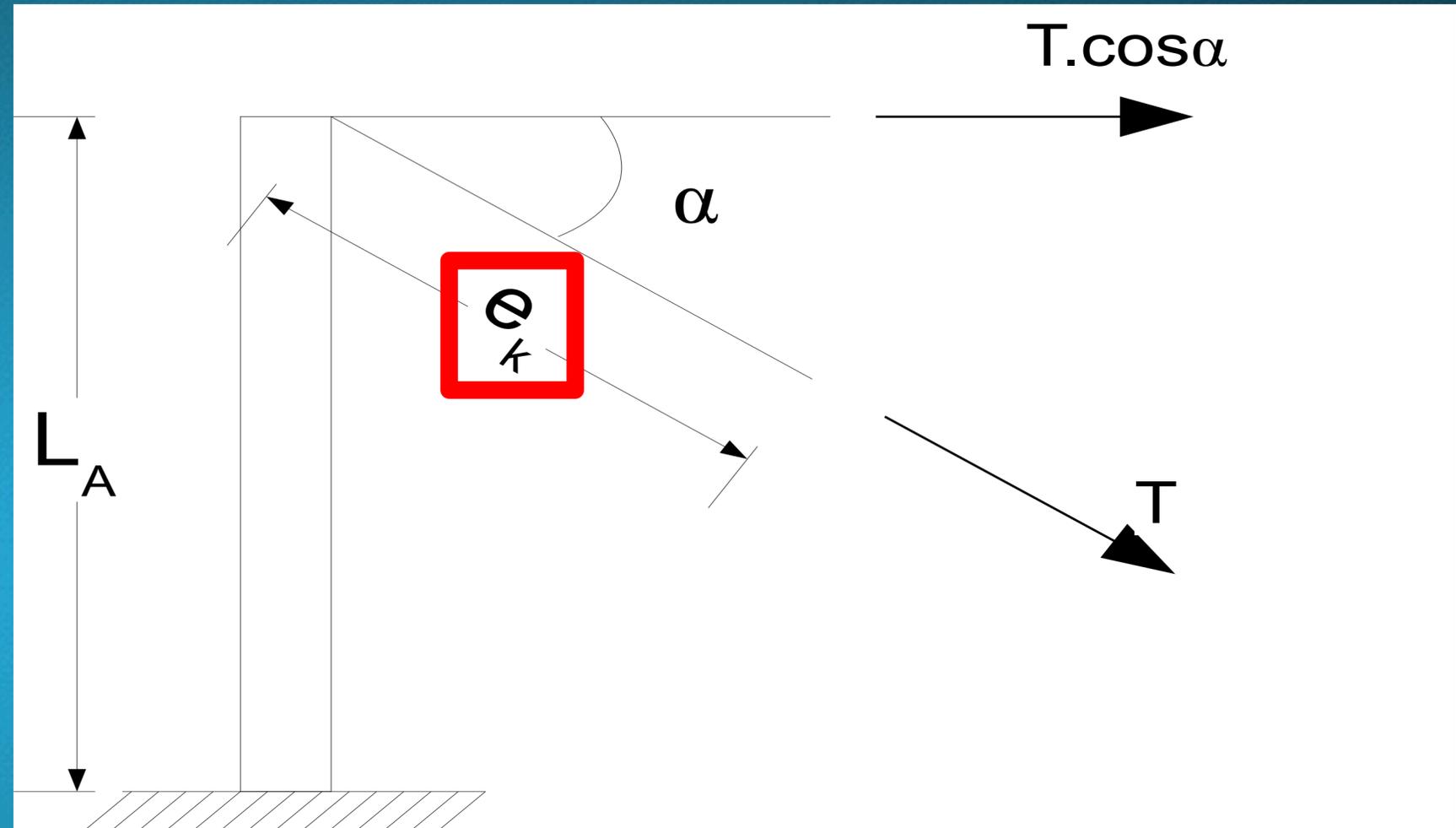
$$T^2 = \frac{F^2}{4 \sin^2 \alpha} = \frac{F^2}{4(1 - \cos^2 \alpha)}$$

Méthode analytique – Ancrage flexible

$$K_A = \frac{3E_A I_A}{L_A^3}$$

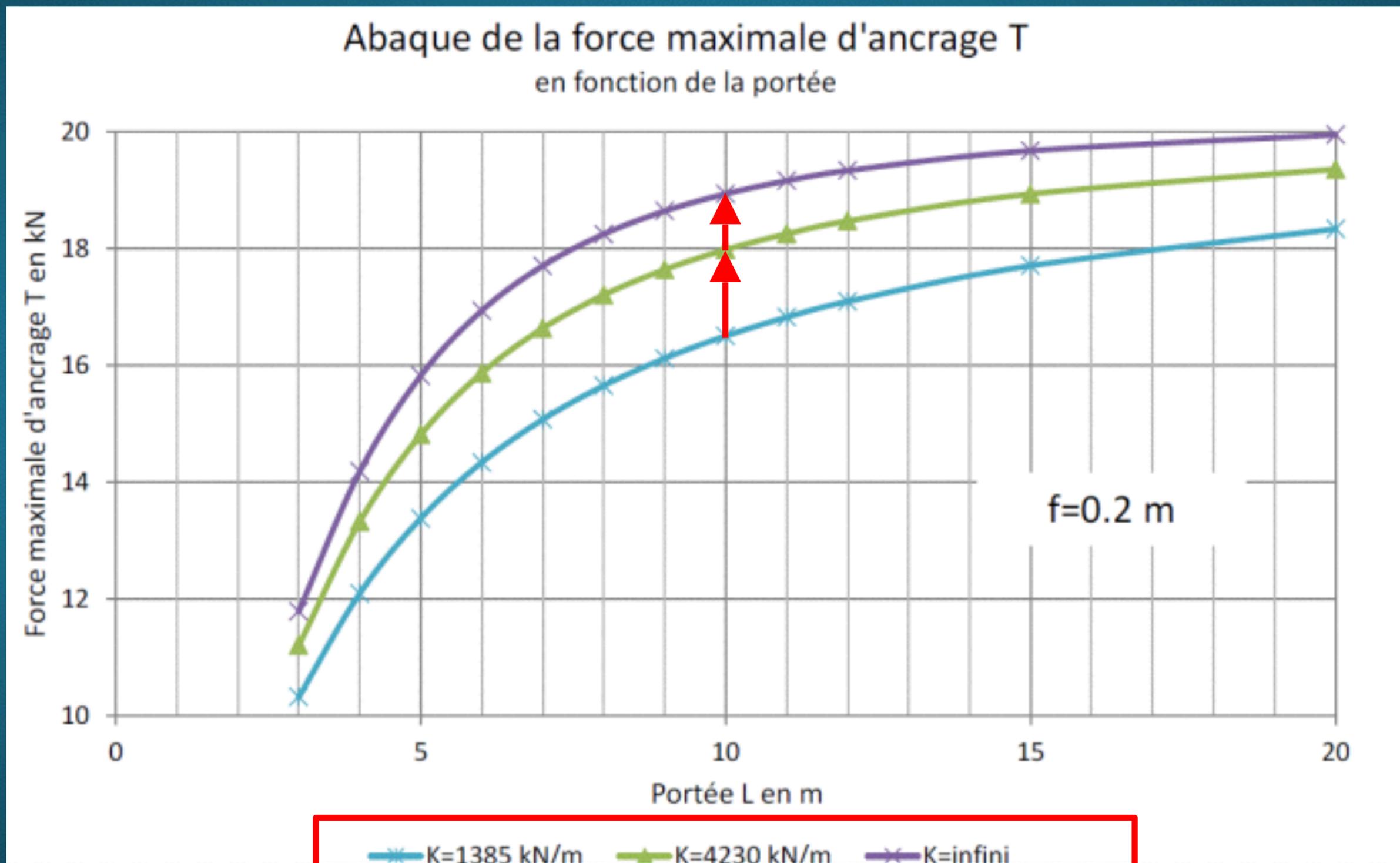
$$e_k = \frac{T}{K_A}$$

$$\cos \alpha = \frac{L}{2 \left[S_a \left(1 + \frac{T}{EA} \right) + e_k \right]}$$



$$T^2 = \frac{F^2}{4 \sin^2 \alpha} = \frac{F^2}{4 (1 - \cos^2 \alpha)}$$

Influence de la rigidité de l'ancrage



Plus l'ancrage est rigide, plus la tension dans le câble est grande.

Influence des autres paramètres

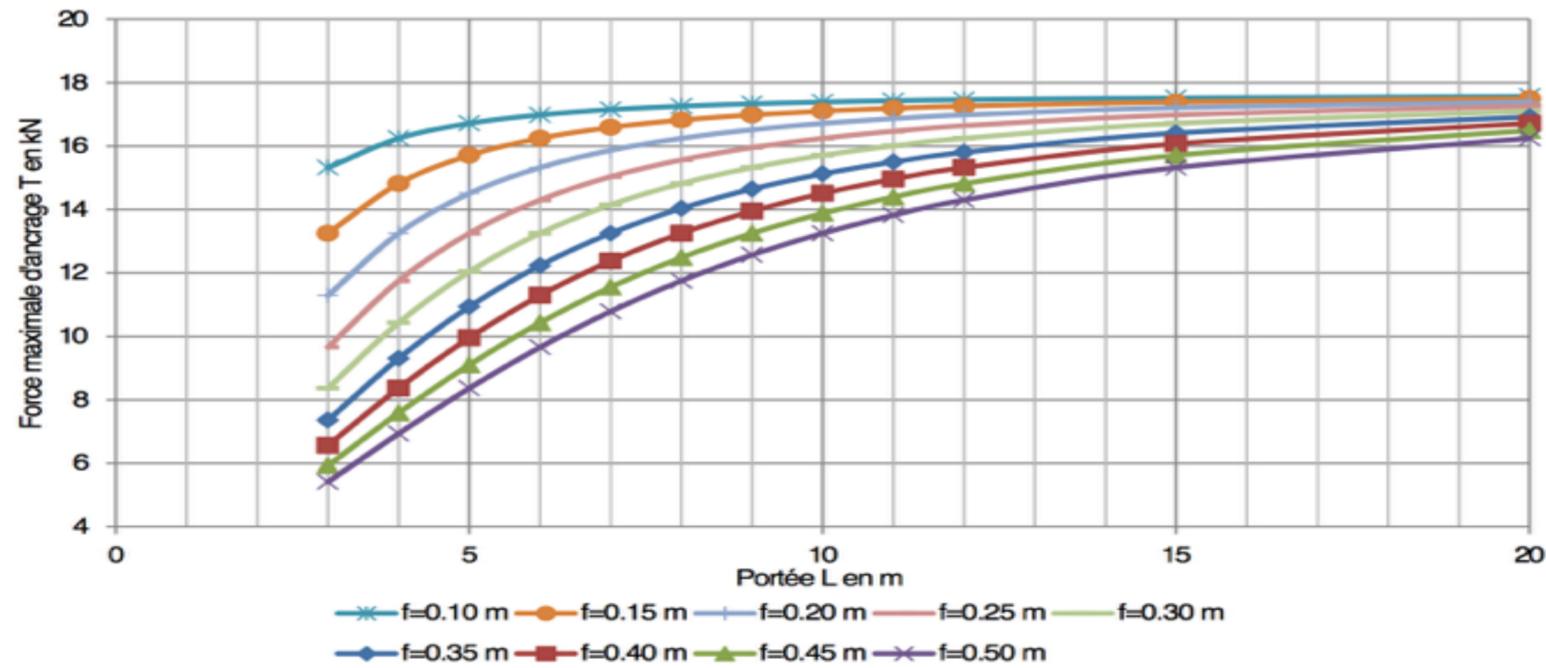
- Câble de grand diamètre => plus grande tension et plus petite déflexion lors de l'arrêt de chute
- Tension initiale élevée => plus grande tension et plus petite déflexion lors de l'arrêt de chute

Plus gros = plus résistant ≠ le meilleur

- Il faut trouver un équilibre en tension et déflexion pour chaque configuration.

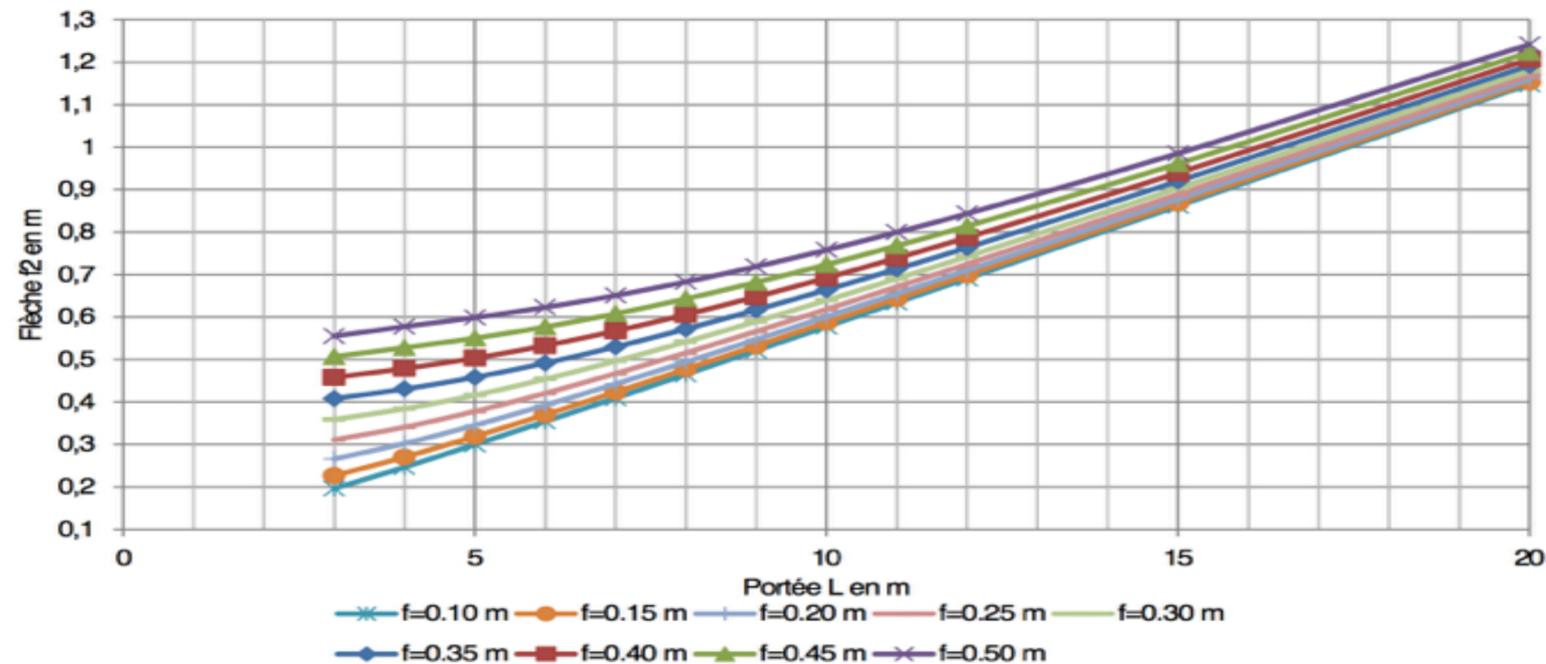
Abaques

Abaque de la force maximale d'ancrage T
en fonction de la portée



Maj des abaques de 1991
(absorbeur obligatoire =
force F plus faible)

Abaque de la flèche f2
en fonction de la portée



Nouvelle méthode

- Câbles de différents diamètres
- Prise en compte de la rigidité des ancrages

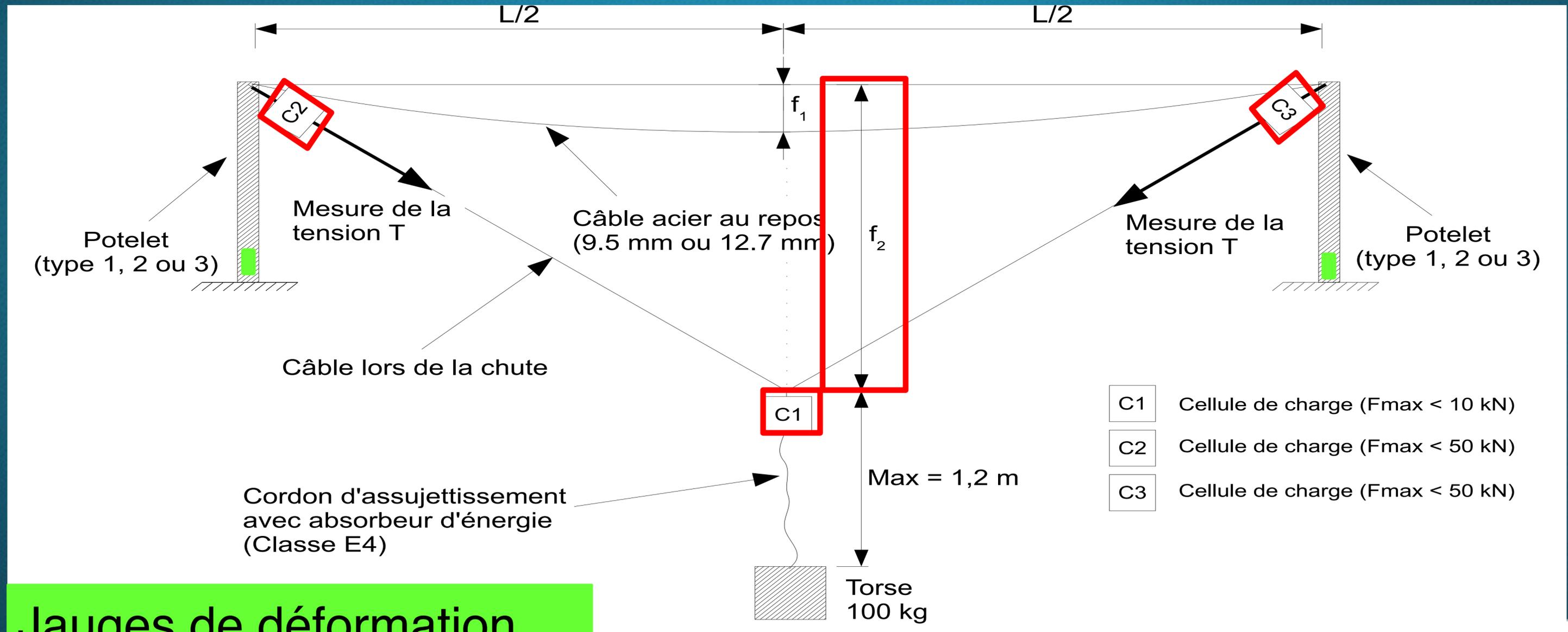


Chiffrier Excel^{MD} avec
macros pour automatiser
les calculs

Travées multiples

Validation expérimentale

- Août - septembre 2014 (Polytechnique Montréal)



Jauges de déformation

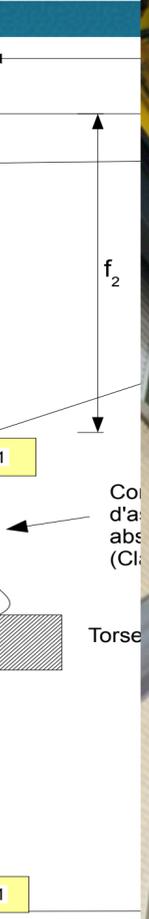
Validation expérimentale

Ancrage	Portée L		
	5 m	10 m	15 m
Potelet 1 (4'x4' ; 1m)		E-1-10 (4)	
Potelet 2 (5'x5' ; 1m)	E-2-5 (6) *	E-2-10 (6)	
Potelet 3 (5'x5' ; 0.8m)		E-3-10 (4)	
Potelet 4 (4'x4' ; 1.5m)		E-4-10 (2)	
Potelet 5 (5'x5' ; 1.5m)		E-5-10 (2)	E-5-15 (6)
Potelet 2 (5'x5' ; 1m)	T1E-2-5 (6) *		
Rigide		E-R-10 (3)	
		ME-R-10 (3)	

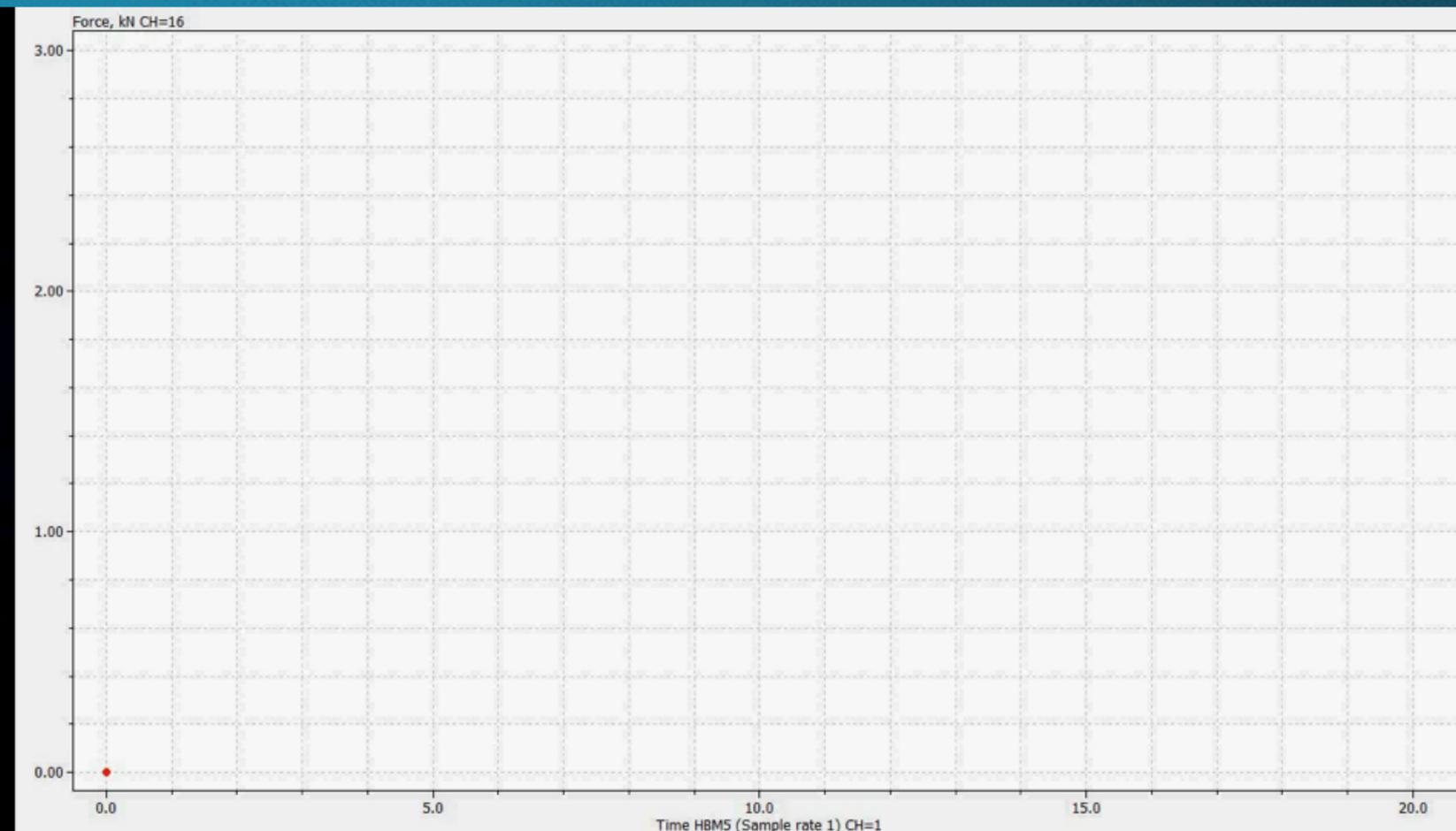
* 2 tensions initiales différentes testées

Rigidités de 1 à 12

Valid

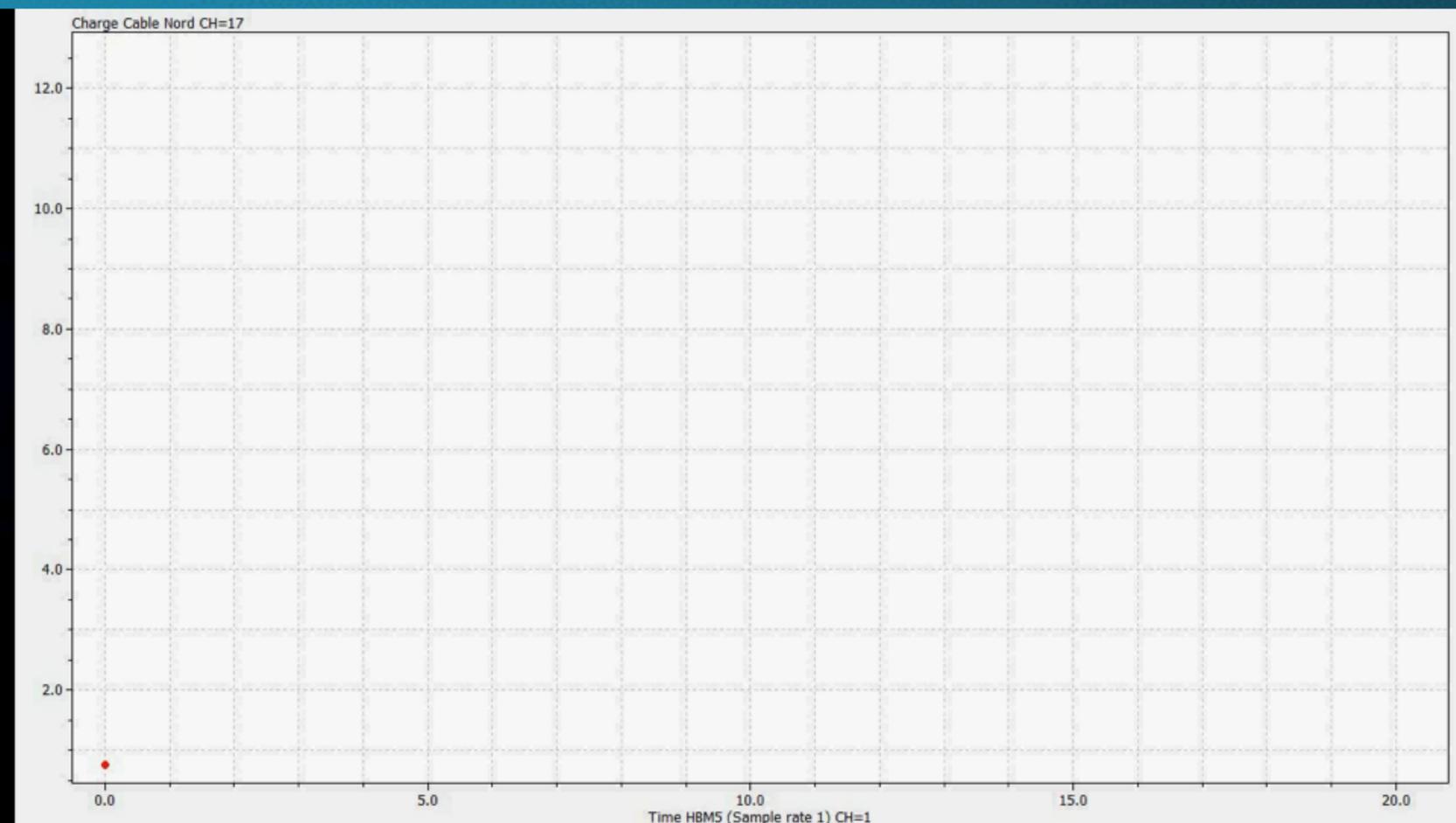


Validation expérimentale



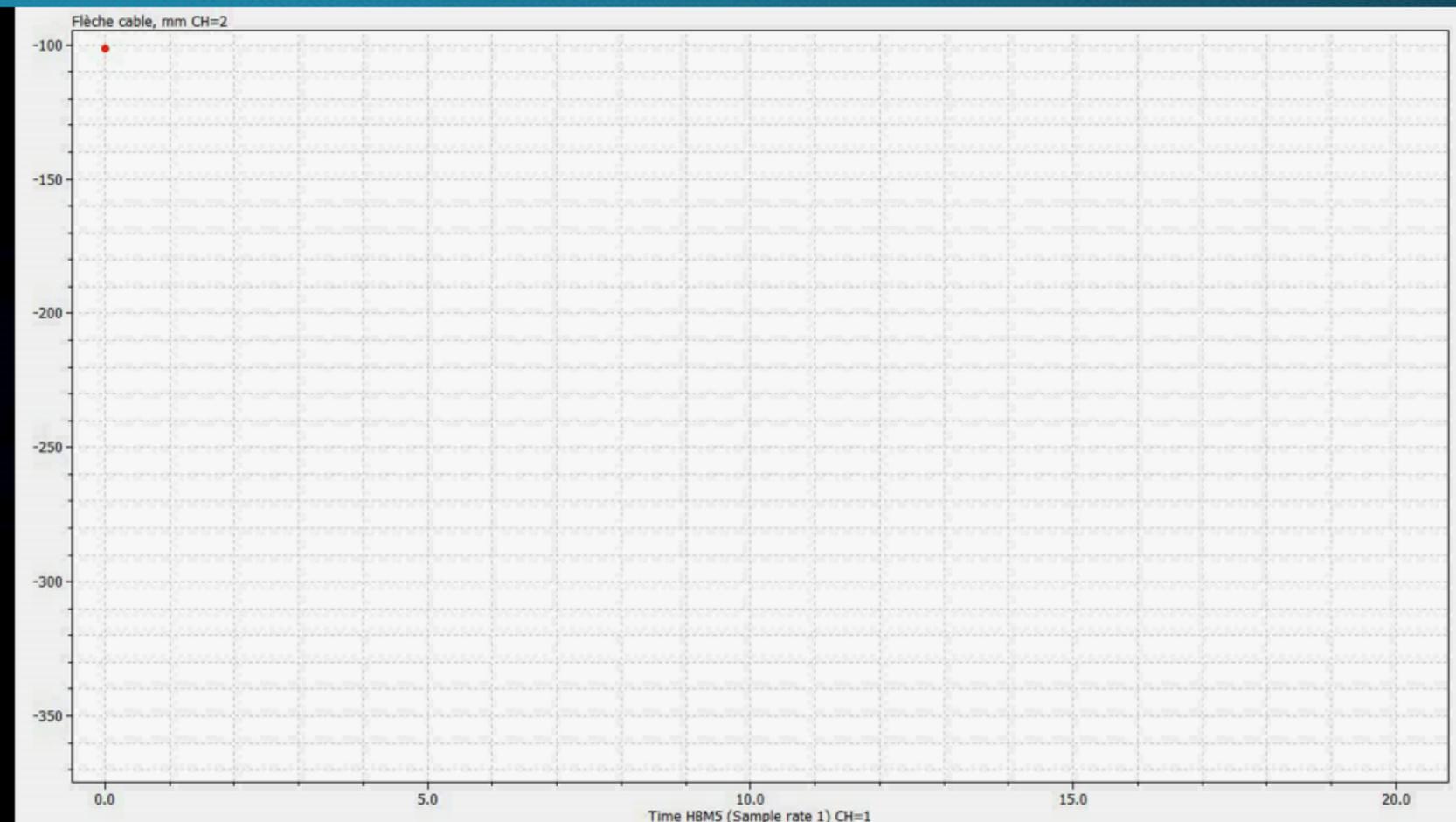
Vidéo tension dans la longe

Validation expérimentale



Vidéo tension dans le câble

Validation expérimentale



Vidéo flèche du câble

Validation expérimentale

Tension dans le câble

Câble 3/8 po | Câble 1/2 po

E-2-5	
13,39	13,84

E-4-10	
-	12
E-5-10	
-	12,81
E-1-10	
12,31	12,94
E-2-10	
12,73	13,82
E-3-10	
12,89	13,88
E-R-10	
15,32	-

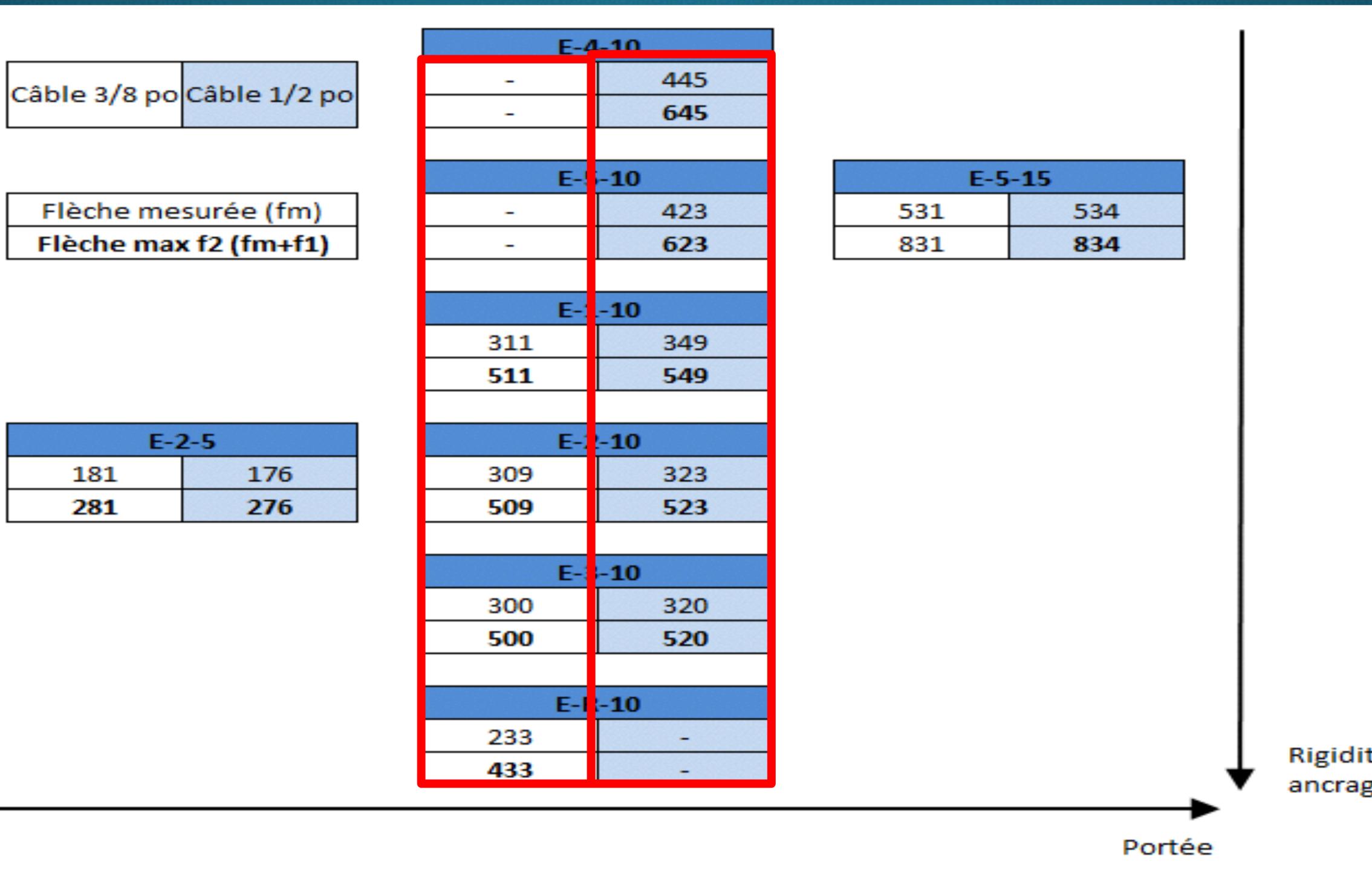
E-5-15	
13,92	14,09

Portée

Rigidité
ancrage

Validation expérimentale

Flèche

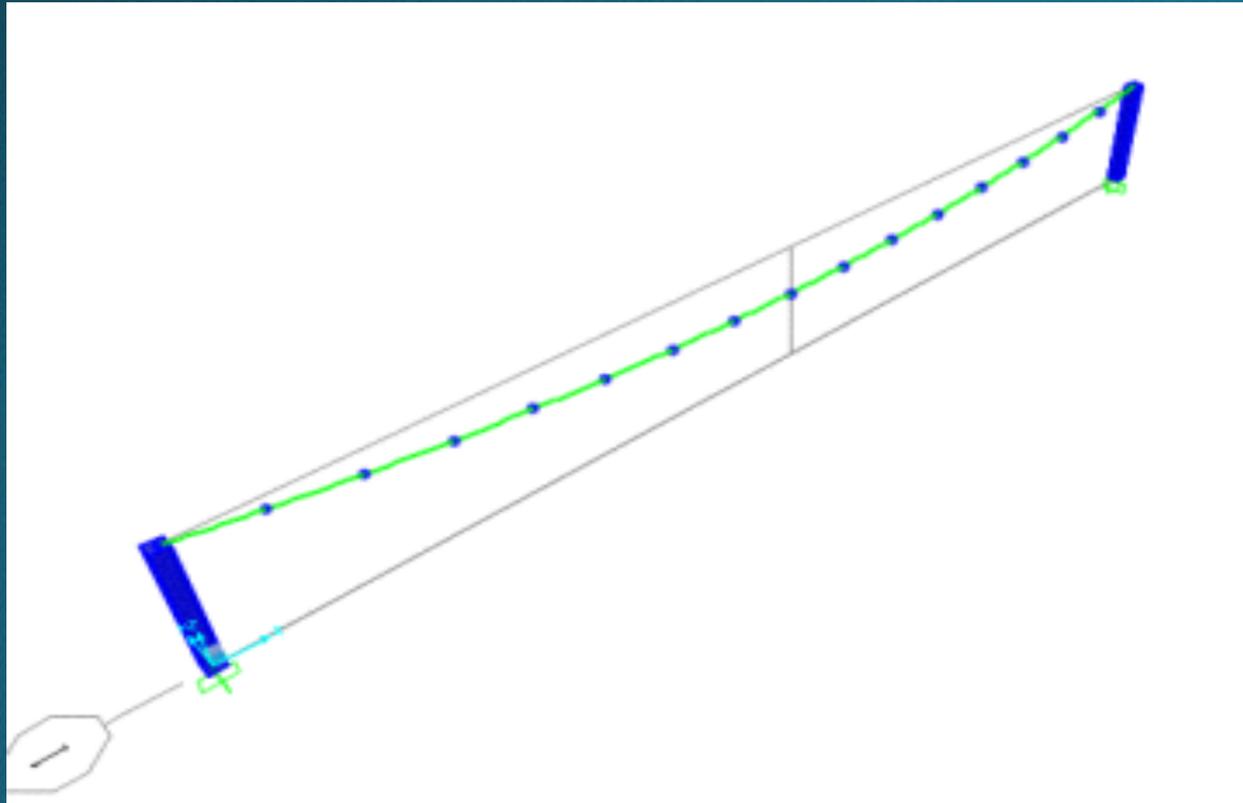


Validation expérimentale

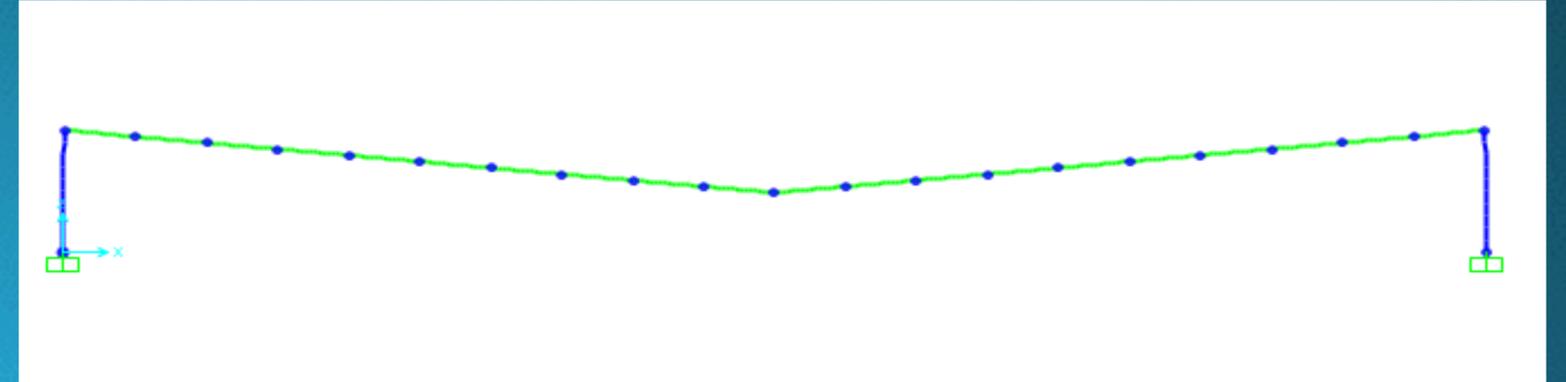
Conclusions :

- Méthode analytique OK pour conception rapide et sécuritaire (écart = -17 % à +10 %, généralement conservateur)
- La marge de sécurité avec $F = 4$ kN suffisante pour couvrir les simplifications du modèle
- Modèle analytique plutôt conservateur
- Un absorbeur d'énergie dans la CAH permet de limiter les efforts à 12 ou 13 kN, mais augmente la flèche : pas forcément pertinent, surtout pour gagner seulement 1 à 2 kN.

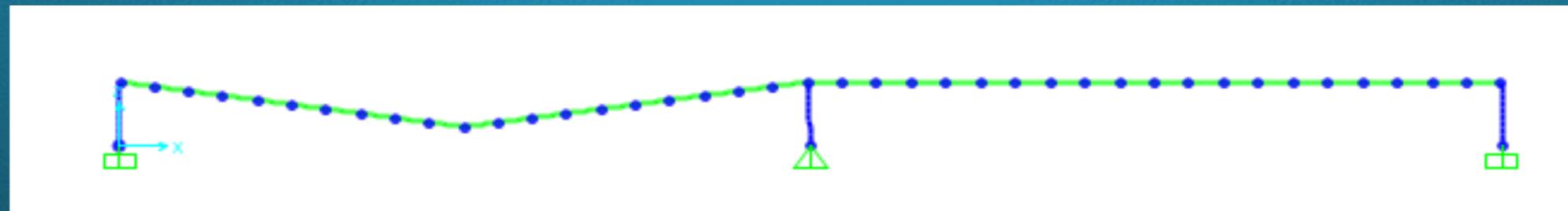
Validation avec SAP2000



Modèle avant chargement

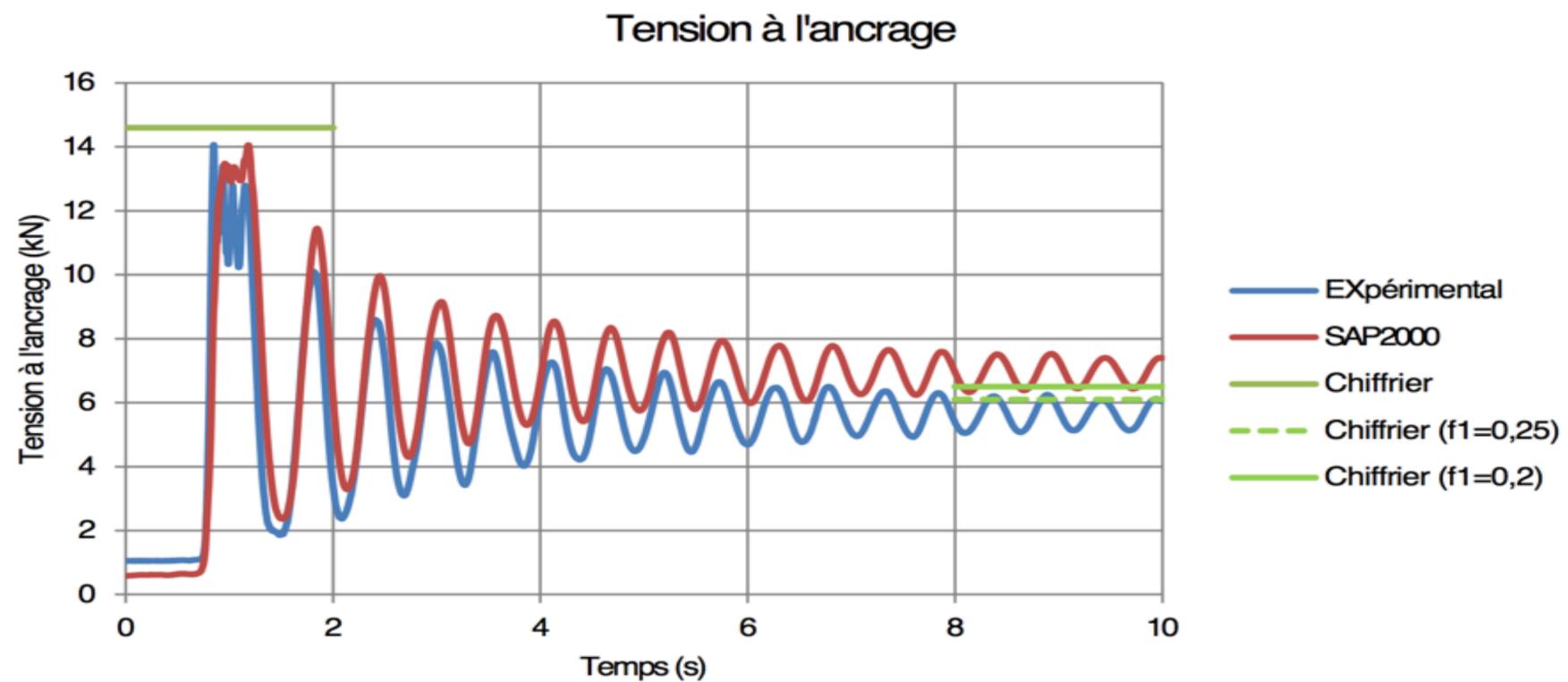
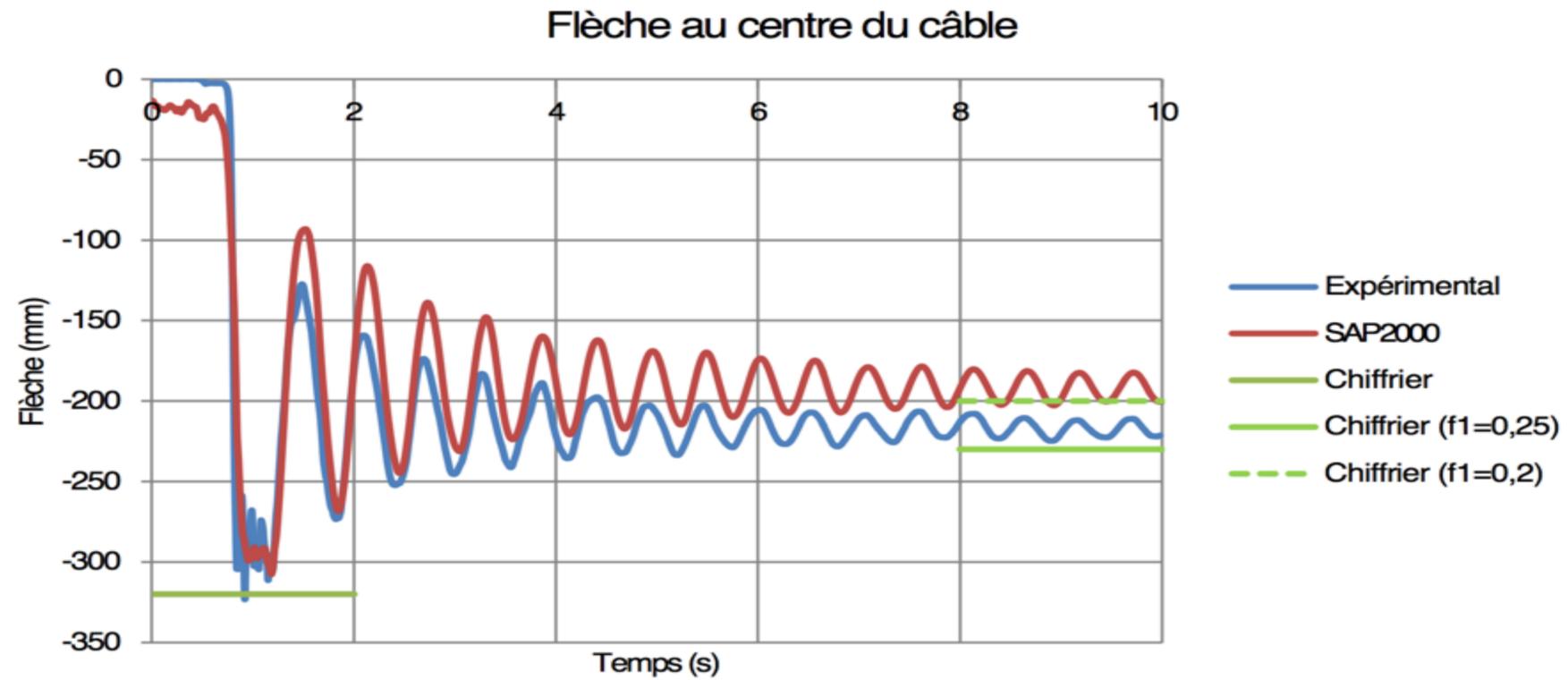


Déformée



Travées multiples

Validation avec SAP 2000



E-2-10-B

Validation avec SAP 2000

Conclusions :

- La méthode implémentée dans Excel^{MD} fonctionne bien
- Les écarts avec SAP2000 sont très faibles pour 1 travée (écart moyen $< 1\%$) et corrects pour multi travées (- 10 % à + 14 %)
- L'outil Excel^{MD} est suffisant pour faire un dimensionnement rapide et sécuritaire

Développement d'un outil Web

Développement d'un outil Web

- Le passage des abaques au chiffrier Excel^{MD} facilite grandement le travail des concepteurs
- Par contre, l'outil proposé présente des limites pour une utilisation en ligne
- Proposition : s'affranchir de Excel^{MD} et développer un outil Web

Développement d'un outil Web

- Consultation d'utilisateurs pour connaître l'intérêt pour un outil de conception : positif
- Développement de l'outil Web avec l'aide de Linda Savoie et de ses collaborateurs
- Validation avec les partenaires et utilisateurs : très positif
- Consultation importante jusqu'à maintenant : 6 823 sessions depuis mai 2016.



irsst.qc.ca/scah