



cfms

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

**Journée scientifique et technique
« Journée d'hommage à Michel Bustamante »**

**Fondations profondes : développements récents en matière de dimensionnement,
exécution et essais de chargement**

Focus sur les pieux tarière creuse type 3 - STARSOL®

MICHEL GLANDY / RÉGIS LEBEAUD

23 OCTOBRE 2025



**SOLETANCHE BACHY
FONDACTIONS SPECIALES**

Sommaire

➤ Historique

➤ Points clés du procédé

➤ Fiabilité de la base de données

➤ Réflexions sur la méthode de Chin

➤ Propositions



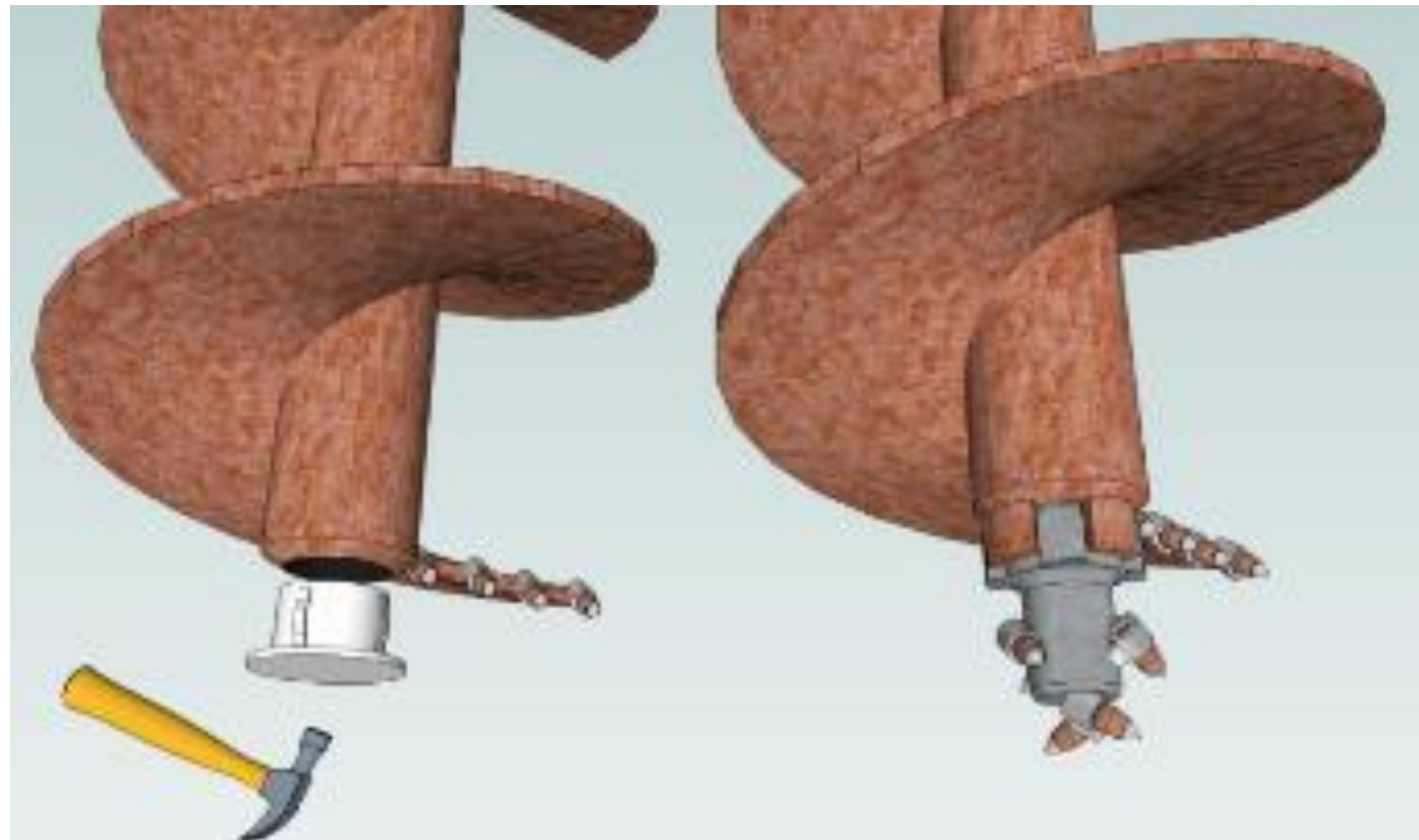
cfms

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

Historique - Petit coup d'œil dans le rétroviseur

Historique

- Inconvénients avérés de la tarière creuse type 1 ou type 2
 - Extraction du bouchon
 - Risque important de coupure de bétonnage
 - Contrôles pas toujours très transparents
- Conception d'un outil plus fiable



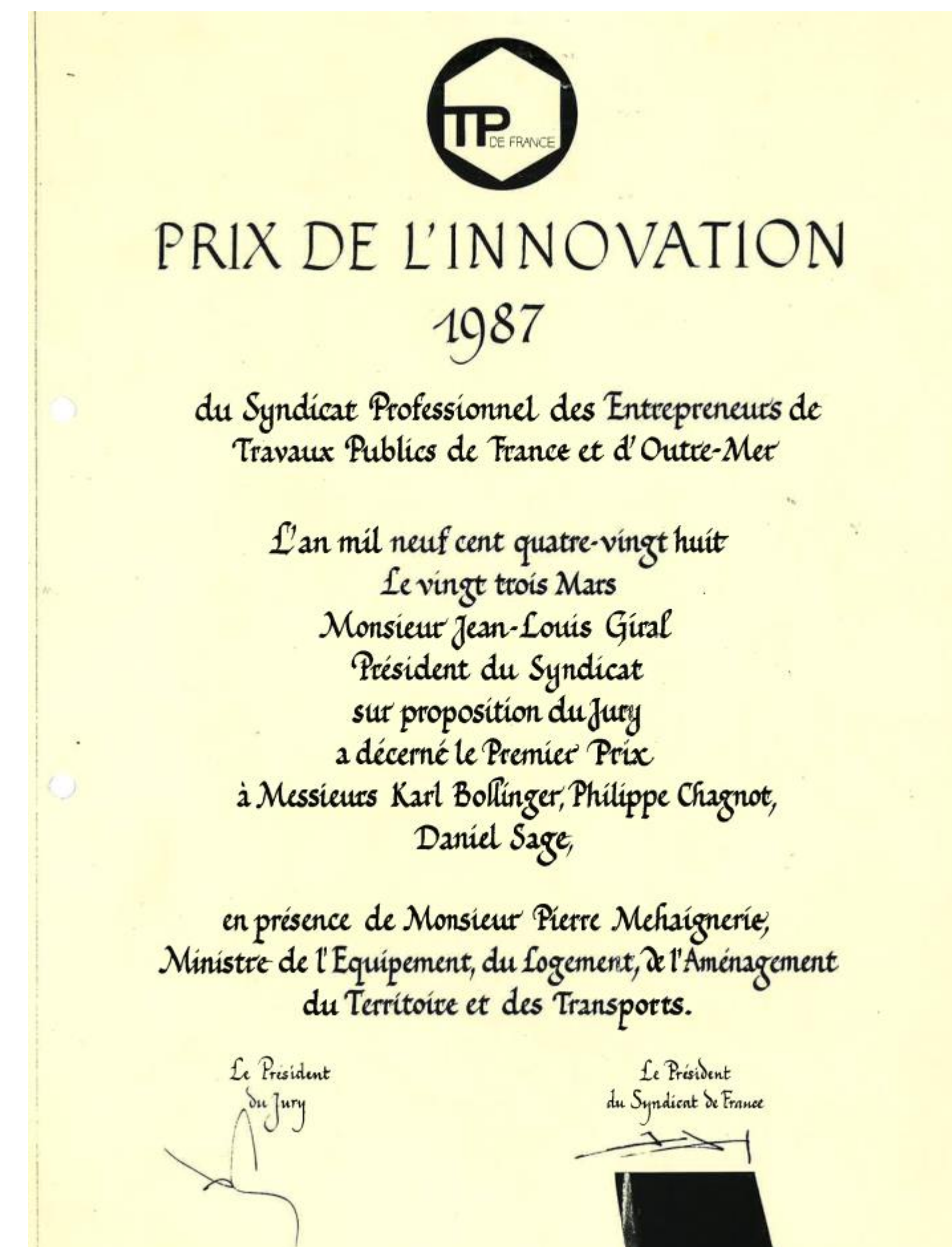
Petit coup d'œil dans le rétroviseur

Etude expérimentale du procédé de fondations profondes STARSOL Performances et évaluation de la capacité portante

Michel BUSTAMANTE
Docteur-ingénieur ENPC
Division Géotechnique
Mécanique des sols - 1
Laboratoire central des Ponts et Chaussées

Bull. liaison Labo P. et Ch. - 149 - mai-juin 1987 - Réf. 3220

C'est ainsi que des encastremements de 4 m ont pu être aisément réalisés dans des couches extrêmement raides de molasse tolosane par exemple, caractérisées par des modules pressiométriques (sonde Ménard) compris entre 100 et 150 MPa *.



Petit coup d'œil dans le rétroviseur

SOLETANCHE

SOLETANCHE ENTREPRISE
AGENCE PIEUX
6, rue de Watford - 92000 NANTERRE B.P. 511
Tél. : 33 (1) 47 76 42 62 - Téléc. : 511 722 SOLET F
Télécopie : 33 (1) 47 75 99 10 et 33 (1) 47 73 98 21
Société Anonyme à Directeur et Conseil de Surveillance
au capital de 50 000 000 F
Registre du commerce : NANTERRE 712 030 154
Code APE : 5 520 - Numéro SIRET : 712 030 154 00157

Bureau
Veritas 17 bis, Place des Reflets, La Défense 2 - 92400 COURBEVOIE
BTP et ENVIRONNEMENT
DOCUMENT EXAMINÉ le 21.08.1989
Le présent document doit obligatoirement être accompagné
du RAPPORT D'ENQUÊTE DE TECHNIQUE NOUVELLE
N° TCS/DSS du 21.08.1989
7506 AijP

STARSOL

PIEU FORE INJECTE AU TUBE PLONGEUR

(Procédé Breveté Solétanche)

CÂHIER DES CHARGES PARTICULIER

Fait à PARIS, le 31 Août 1989


A. ISNARD
Chef de la Division Sols et Structures



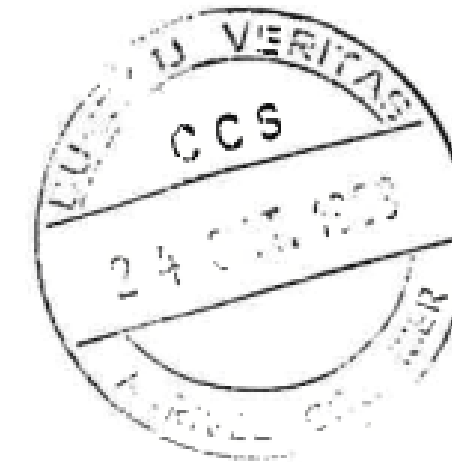
ASSOCIATION FRANÇAISE DES ASSUREURS CONSTRUCTION

ASSOCIATION RÉGIE PAR LA LOI DU 1^{er} JUILLET 1901

PARIS, le 18 Octobre 1989
LE/VI - 1.288.431

DESTINATAIRES

Madame CLIQUET
MM. BALCON, BOUCHERIE,
CHEVALIER, CUSIN, DUFLOS,
DUFOUR, GRAS, GROSJEAN,
ISNARD, LOGEAS, LYOT, SORIA,
THUT, VERZAT.



OBJET : C.E.T.A.

Compte rendu de la réunion du
18 septembre 1989

Madame, Monsieur,

Nous vous adressons ci-joint, le projet de compte rendu concernant la réunion du 18 écoulé.

Nous vous prions de nous faire parvenir vos éventuelles observations sous quinzaine suivant la date de la présente.

Passé ce délai, votre approbation sera considérée comme acquise.

Petit coup d'œil dans le rétroviseur

➤ Analyse des essais par TERRASOL

➤ Prise en compte du Fascicule 62 titre V (note SETRA de 1995)



TERRASOL
BUREAU D'INGÉNIEURS-CONSEILS
EN GÉOTECHNIQUE

François SCHLOSSER
Francis BLONDEAU - Alain GUILLOUX

Annexe au cahier des charges particulier

STARSOL

Pieu foré injecté au tube plongeur

Analyse des performances du procédé

- o o o -

SOMMAIRE

SOLETANCHE

SOLETANCHE ENTREPRISE
AGENCE PIEUX
6, rue de Watford • 92000 NANTERRE B.P. 511
Tél: 33 (1) 47 76 42 62 • Télex: 611 722 SOLET F
Télécopie: 33 (1) 47 76 44 82
Société Anonyme au capital de 73 200 000 F
Régistre du Commerce: NANTERRE B 712 030 154
Code APE: 482 U - Numéro SIRET: 712 030 154 00157
Numéro TVA: FR 27 712 030 154

STARSOL (*)

* * * * *

Pieu Foré Injecté Au Tube Plongeur

* * * * *

Cahier des Charges Particulier (*)

Bureau
Veritas 17 bis, Place des Reflets, La Défense 2 - 92400 COURBEVOIE
STP et ENVIRONNEMENT
DOCUMENT EXAMINÉ le 9/06/1995
Le présent document doit obligatoirement être accompagné
du RAPPORT D'ENQUÊTE DE TECHNIQUE NOUVELLE
N° TES DSS 7506A1/3 du 12.06.95
A. ISNARD

Edition n°2 du 02.06.95

Page 1/12

(*) Brevets SOLETANCHE
(°) Norme P11.212 réf DTU 13.2
Commentaires à l'article 1.11



L'ingénieur chargé d'affaires

Patrick BERTHELOT
Spécialiste National en Mécanique
des Sols

P.J. 1 avenant au contrat

Le Superviseur

Thierry LAMADON
Chef de Projet au
Département Technique Construction

STARSOL®

(Avec ou sans ergot T-Pile®)

PIEU FORE INJECTE AU TUBE PLONGEUR

CAHIER DES CHARGES PARTICULIER

© Brevets Soletanche-Bachy

Edition n° 3 du 01/07/05

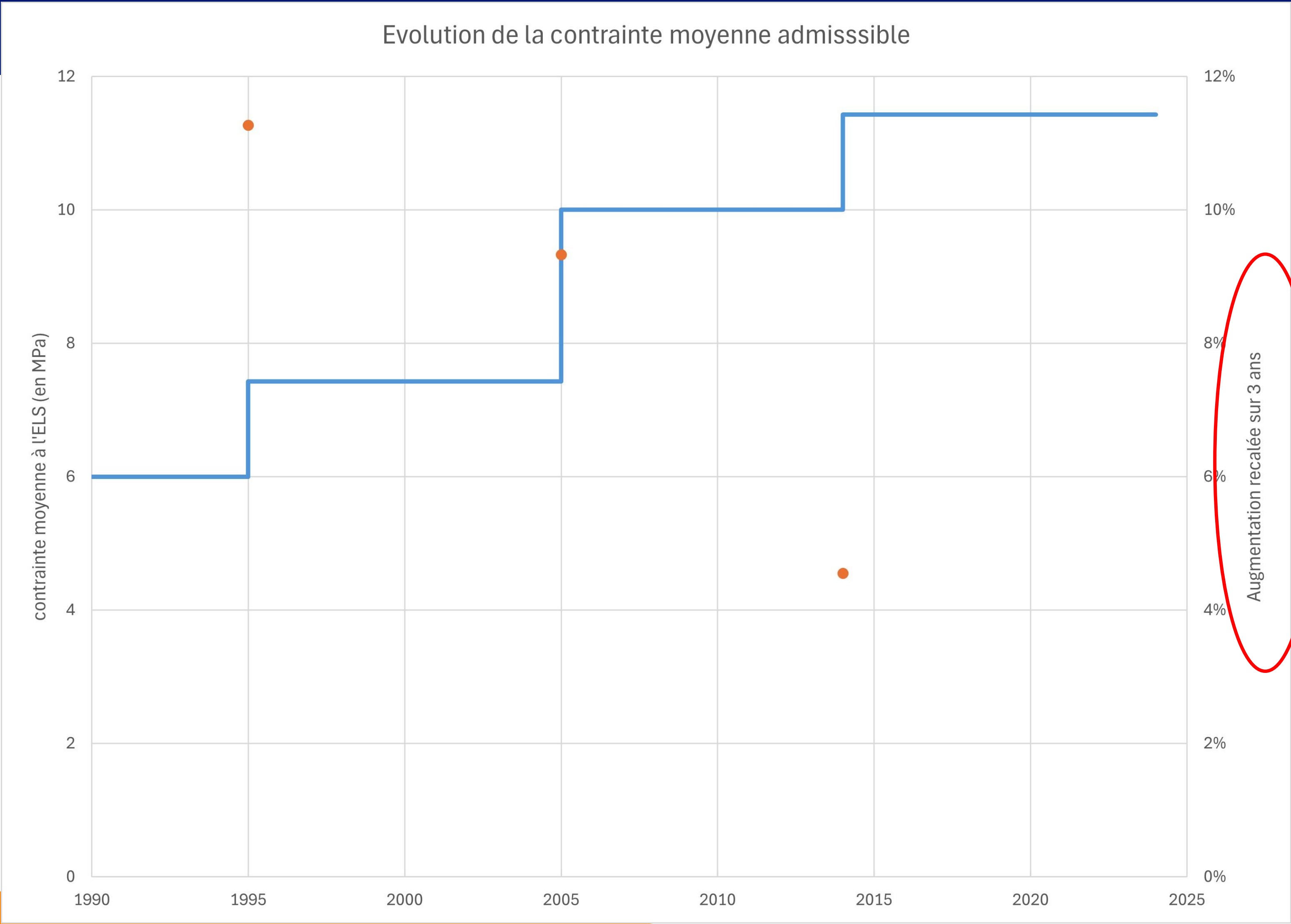
1 / 21

Rédigé par	<u>Michel GLANDY</u>	Vérifié par	<u>André FROSSARD</u>	Validé par	<u>André FROSSARD</u>
------------	----------------------	-------------	-----------------------	------------	-----------------------

FOCUS SUR LES PIEUX TARIÈRE CREUSE TYPE 3 - STARSOL®
JST DU 23 OCTOBRE 2025



Evolution de la contrainte admissible du béton à l'ELS



Des limites progressivement repoussées

Le Havre (2020) : essai de chargement à 10 MN sur un pieu de 620 mm de diamètre et de 32 m de longueur



Aubagne (13) SARTORIUS (2023) : pieux de 820 mm à 50 m armés toute hauteur

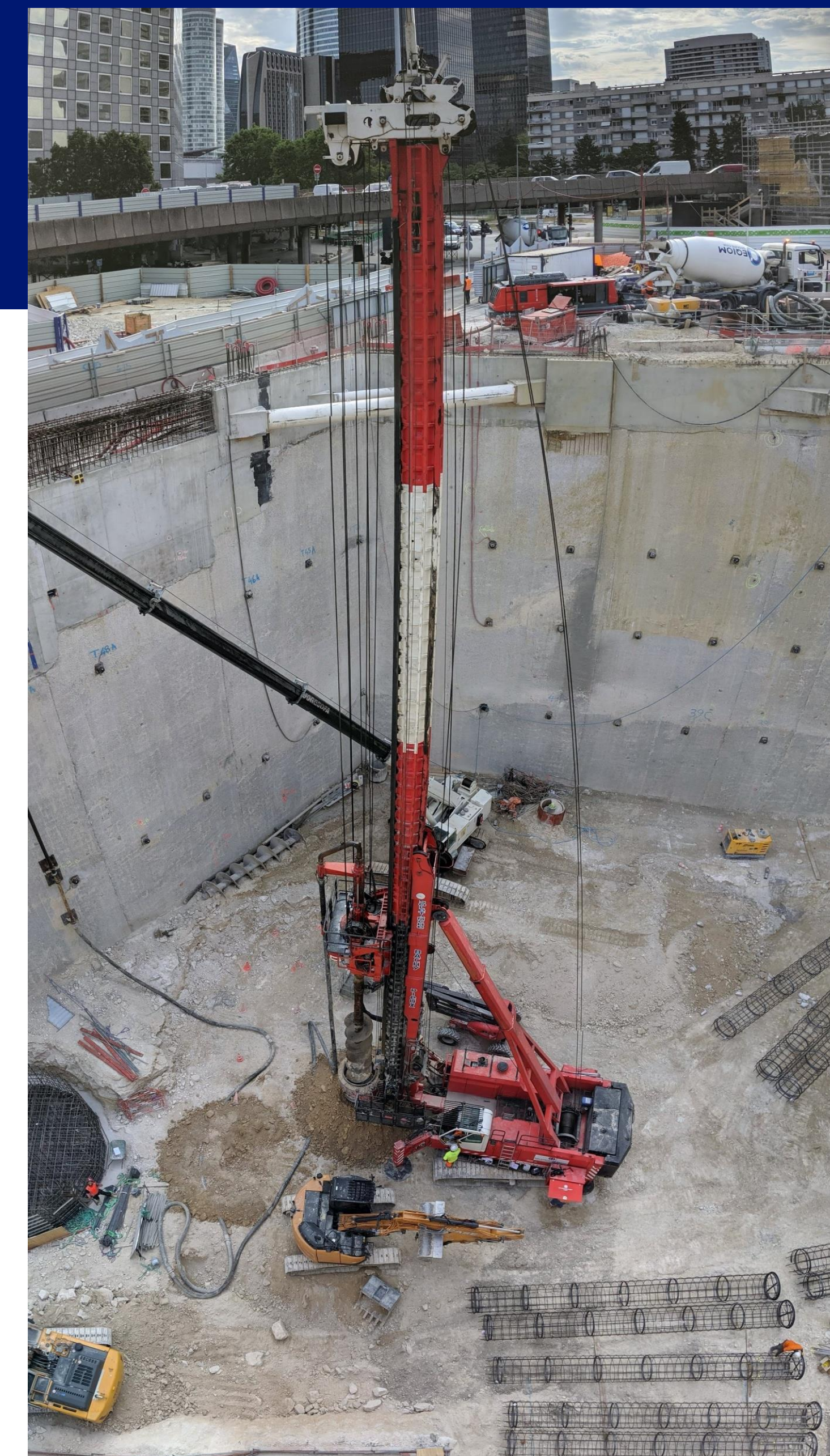
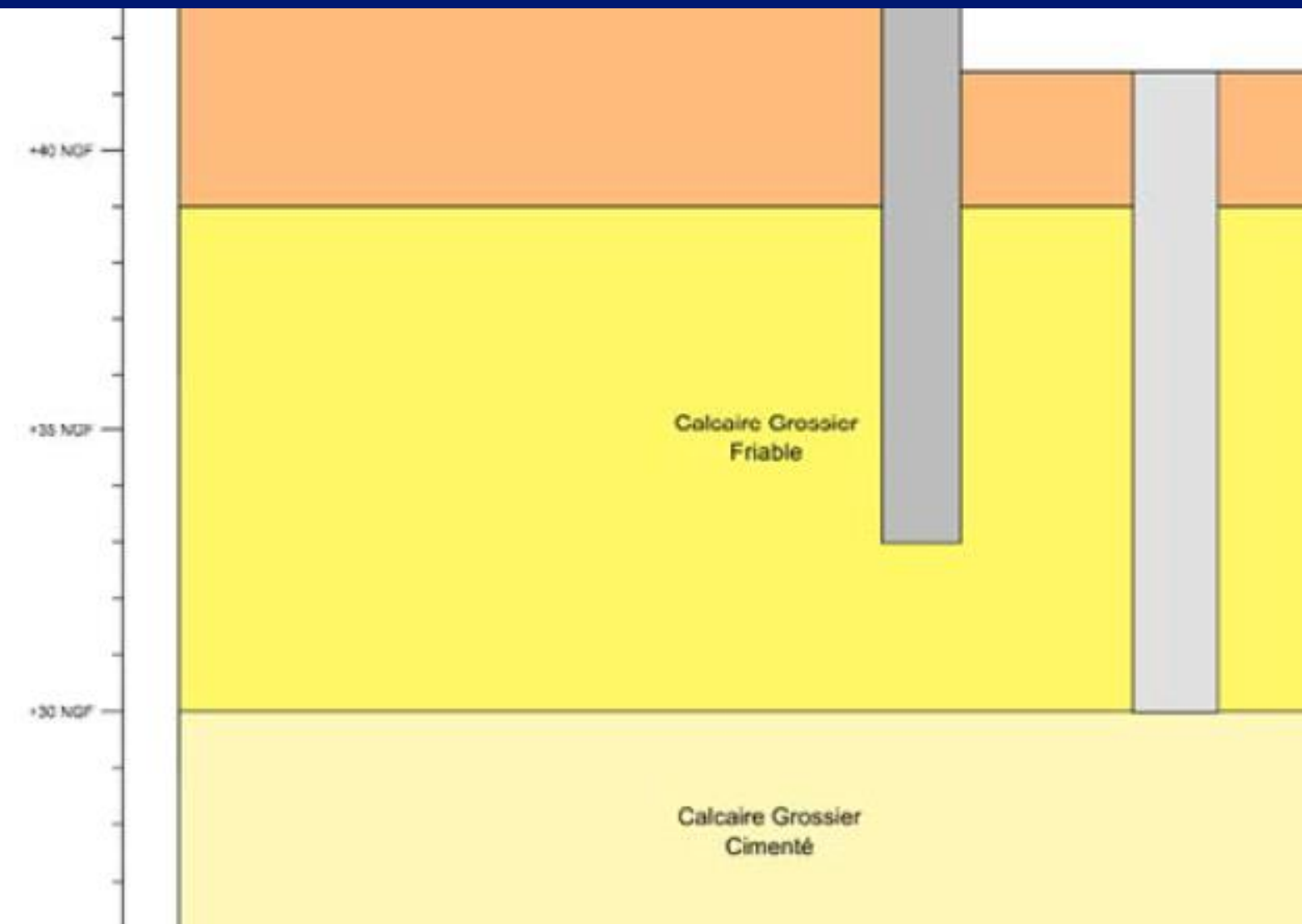


Ancrage dans les terrains rocheux

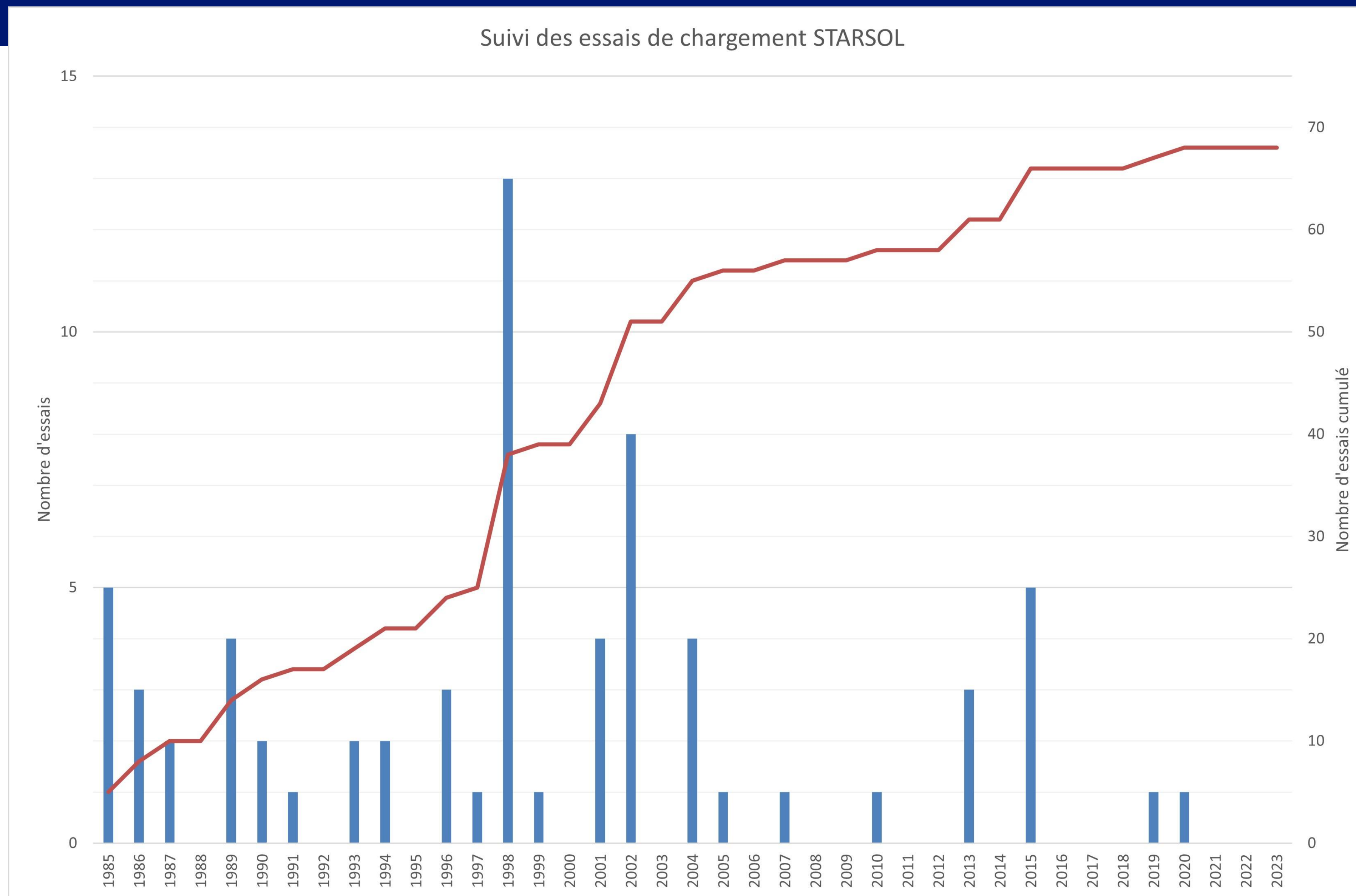
Exemple de La Défense Tour HEKLA

Coupe	Classe de sol	E_M	p_{le}^*
	Eurocode	MPa	MPa
Remblais	Argiles et limons fermes	5	0.5
Sables de Beauchamp	Sable, grave	40	3.2
Marnes et Caillasses Faciès Marneux	Marne et Calcaire Marneux	50	4
Marnes et Caillasses Faciès Calcaire	Marne et Calcaire Marneux	150	5
Calcaire Grossier friable	Rocher Altéré	150	[5 ; 10]

Profondeur	description	NGF	Rc
			MPa
27,0	Banc de Roche	+38.40	36.4
28,0	Calcaire supérieur	+37.40	17.2
29,0	Calcaire supérieur	+36.40	9.8



Alimentation progressive de la base de données des essais





cfms

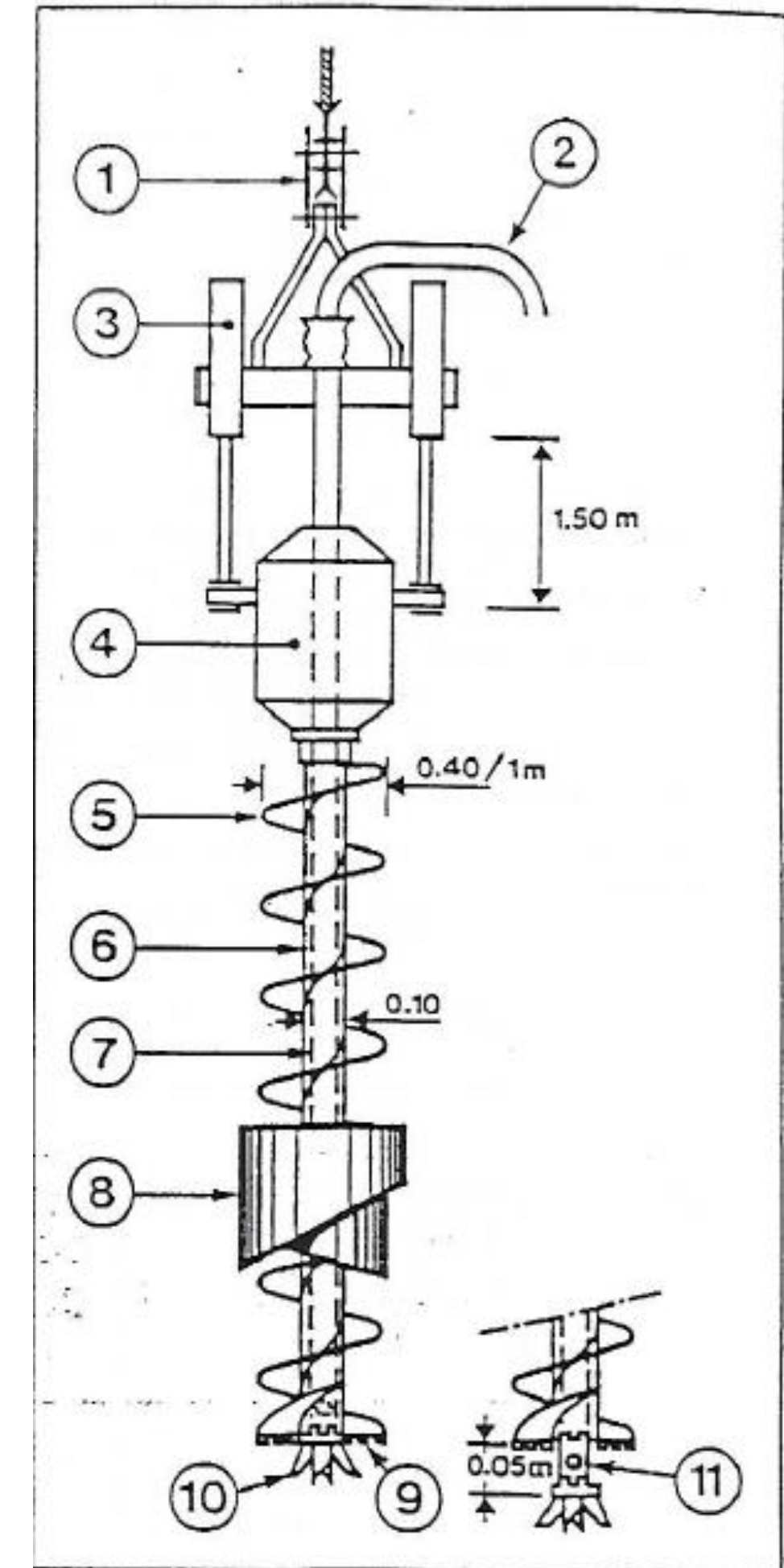
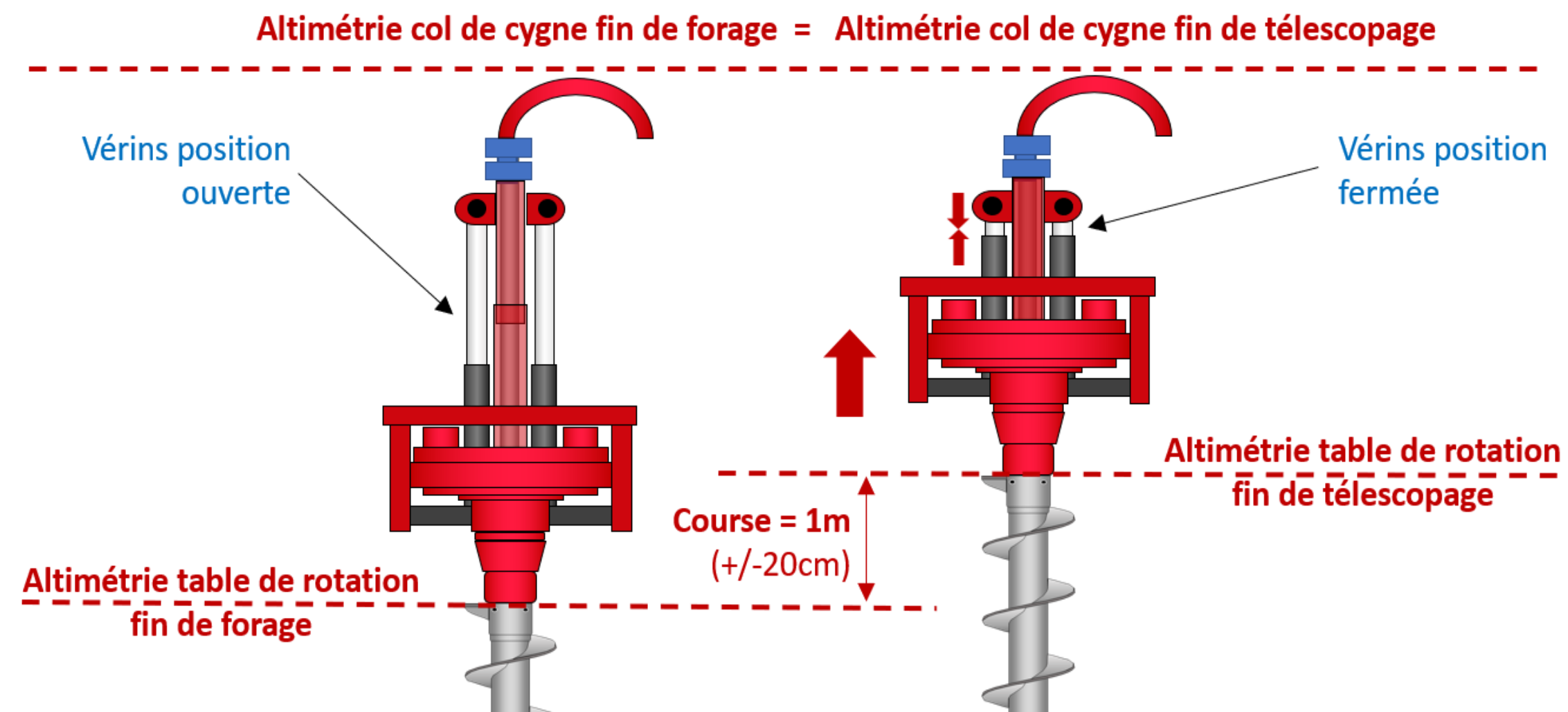
COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

Points clés du procédé

Zoom sur le tube plongeur STARSOL®

➤ Dispositif breveté

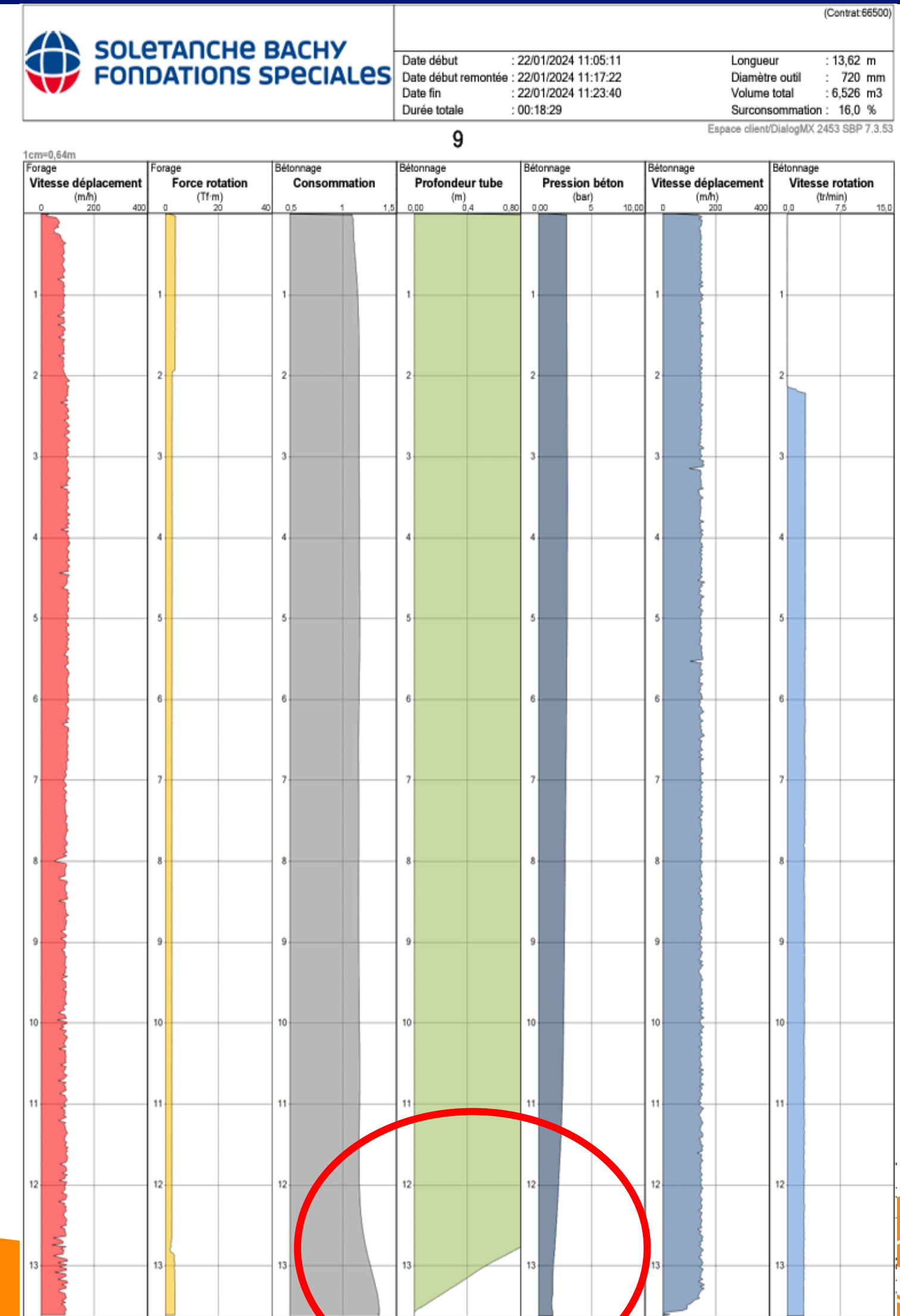
➤ Dispositif piloté par des vérins => garantie de télescopage



Zoom sur le tube plongeur STARSOL®

➤ Télescopage enregistré systématiquement (groupe 1 au sens des EPG)

➤ Tube plongeur de 0.80 m au minimum



FOCUS SUR LES PIEUX TARIÈRE CREUSE TYPE 3 - STARSOL®
JST DU 23 OCTOBRE 2025



cfms

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

Fiabilité de la base de données

FOCUS SUR LES PIEUX TARIÈRE CREUSE TYPE 3 - STARSOL®
JST DU 23 OCTOBRE 2025



SOLETANCHE BACHY
FONDATIONS SPECIALES

Base de données STARSOL®

- 66 essais de chargement statique
 - Réalisés principalement par le LCPC (et Michel Bustamante)
 - Puis par l'IFSTTAR et l'Université Gustave Eiffel

Laboratoire Central
des
Ponts et Chaussées

Section des Fondations . GMS1

194099

CAPACITE PORTANTE D'UN PIEU STARSOL mis en oeuvre

DANS LES MARNES VERTES et MARNES de PANTIN

Chantier d' EURO DISNEYLAND

Référence LCPC : N° comptabilité 329 211

: N° de site 77

Chantier d' EURO DISNEYLAND

Décembre 1989

M. BUSTAMANTE
L. GIANESELLI

: N° de site 77



Rapport d'essai et d'expertise

Essais de Chargement de Pieu

Site du Havre : Pieu STARSOL

ESSAIS DE CHARGEMENT TOUR M2 SAINT GOBAIN
Courbevoie(92)

- Une dizaine d'essais de chargement dynamique

Rappel du contenu de la base de données de la norme NF P94-262

Pour rappel, le détail de la base d'essais de la norme NF P 94-262 est donné ci-dessous :

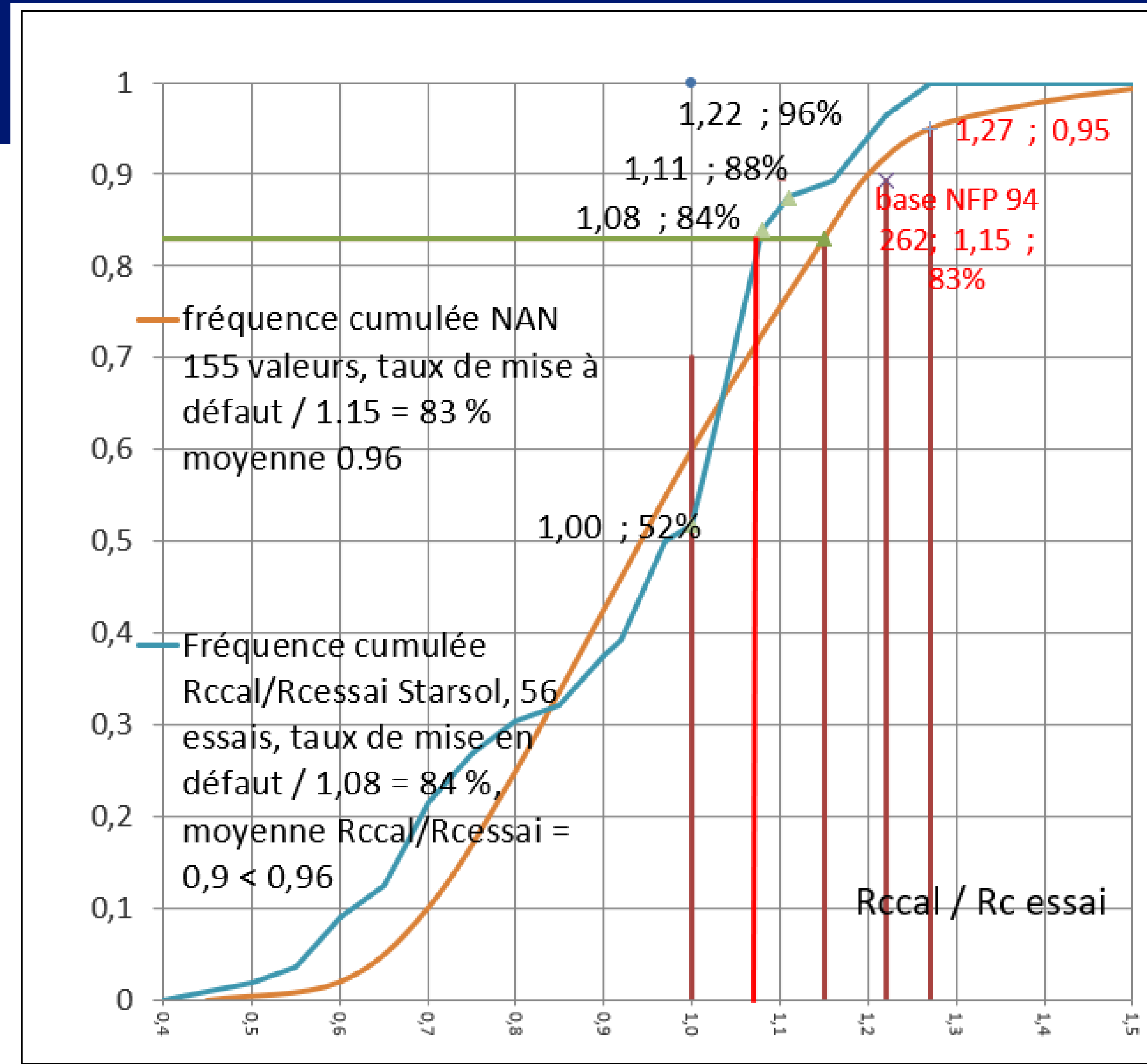
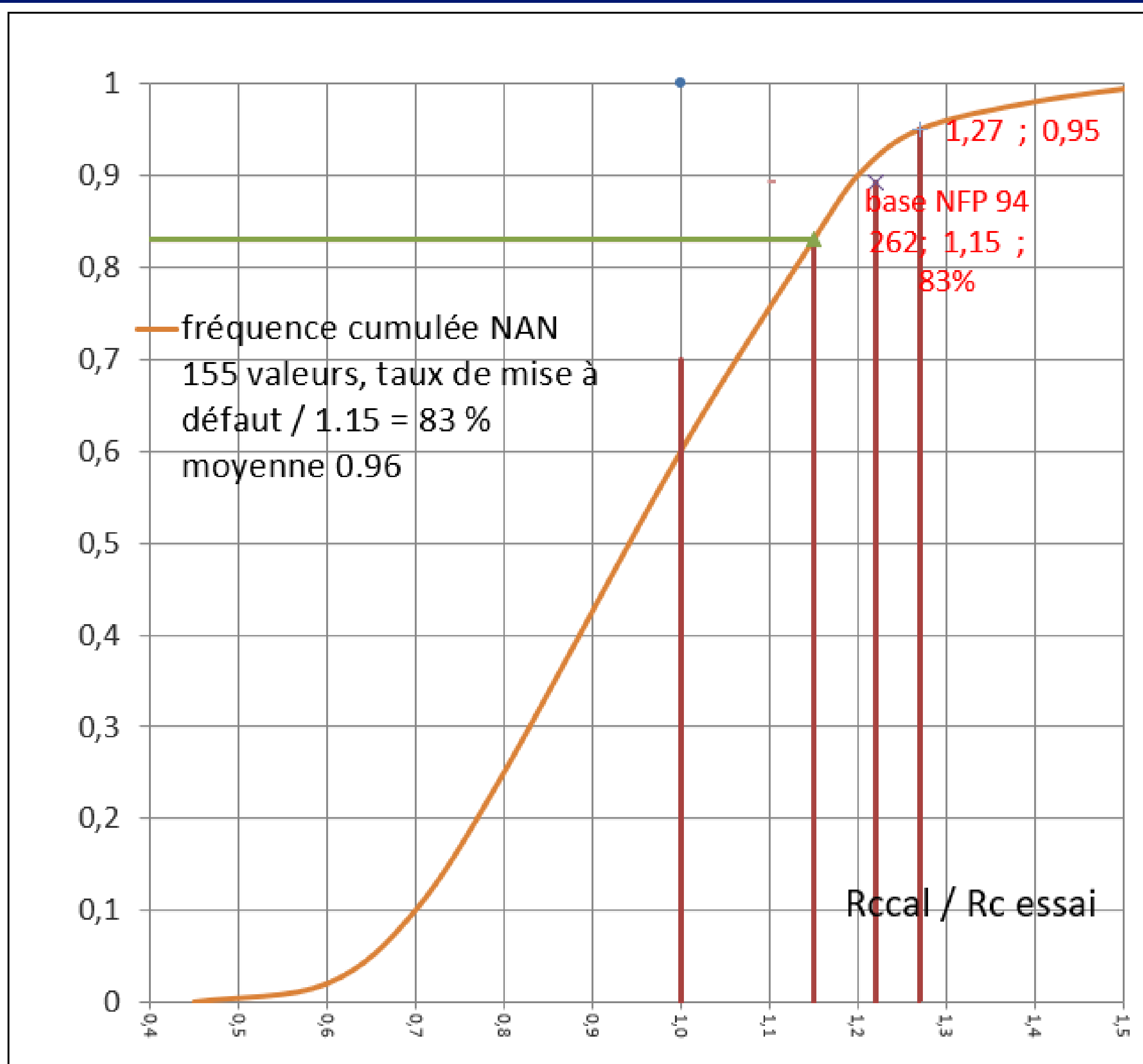
Cat.	1	2	3	4	6	7	9	11	12	13	14/16
	FS	FB	FTP	FTR	TC	VM*	BBP	BM	BAF	BAO	H/pal.
N site	2	7	8	8	2	16	6	4	13	7	14
N essais	4	11	11	11	7	23	8	5	20	15	22

* dont 6 types différents

Hors STARSOL

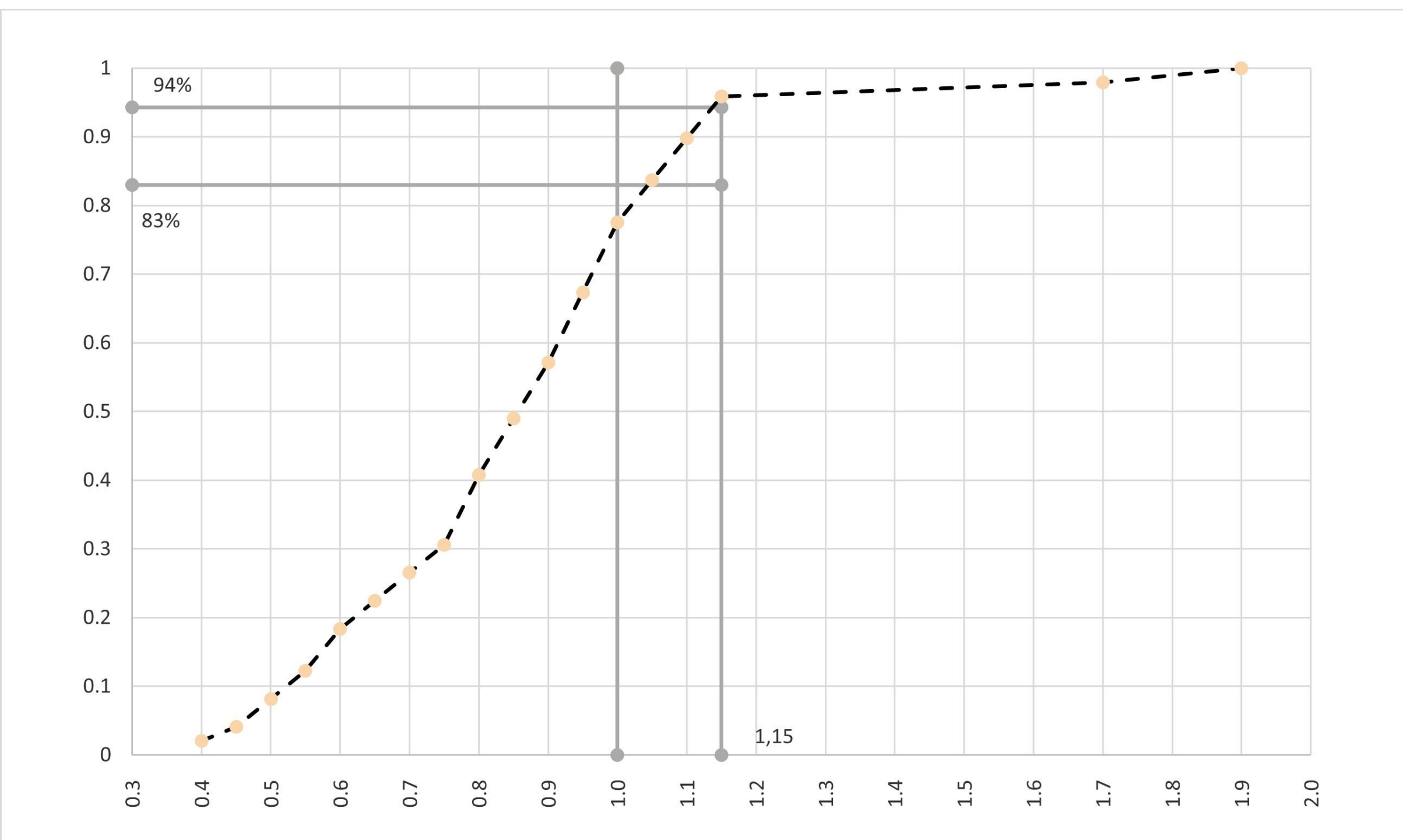
➔ Procédé STARSOL® 2 à 5 fois plus testé que les autres techniques de la norme NF P94-262

Fiabilité de la base de données : portance globale

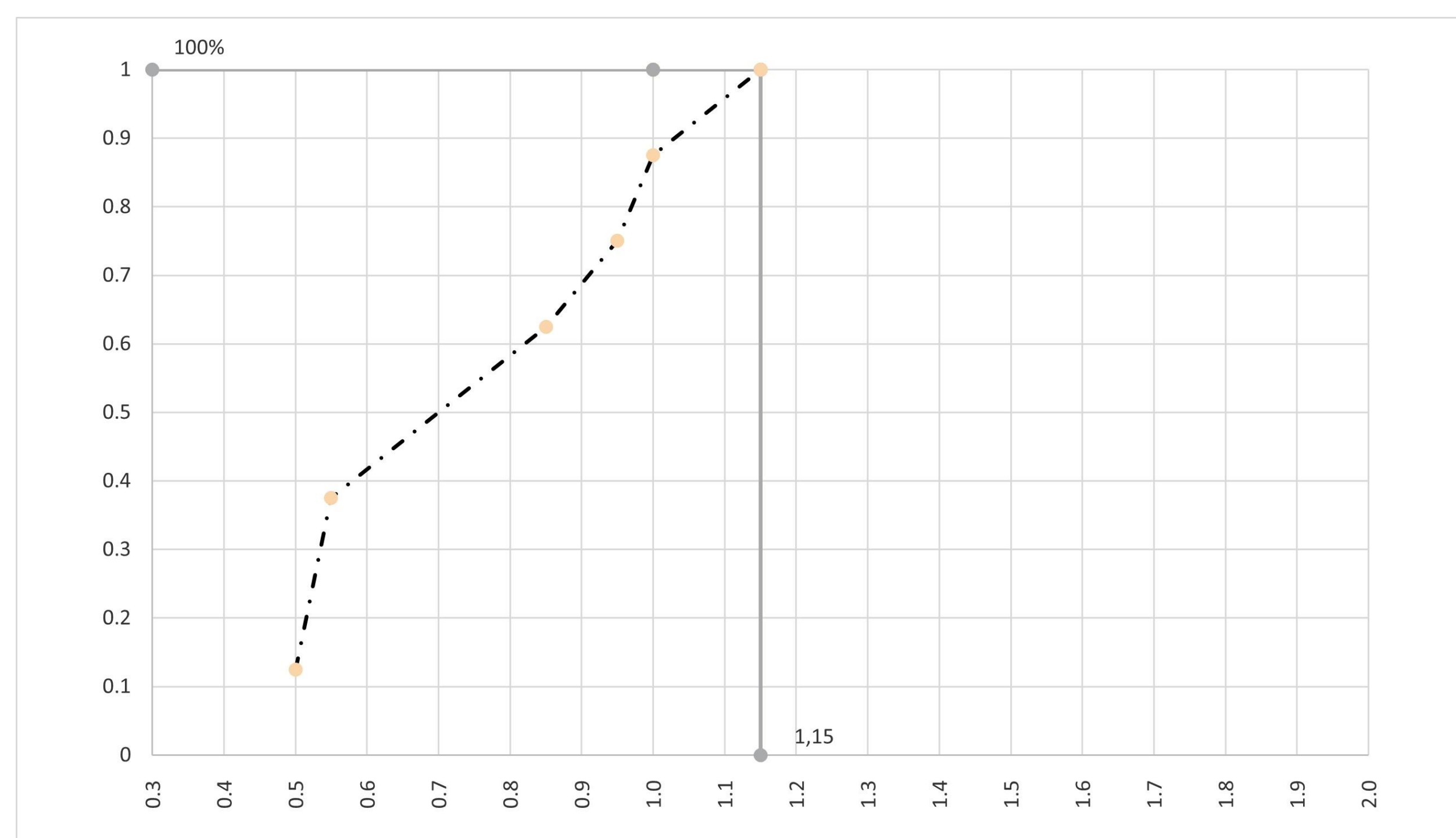


Fiabilité de la base de données : frottement

Frottement (compression et traction)



Frottement (traction)





cfms

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

Méthode de Chin

FOCUS SUR LES PIEUX TARIÈRE CREUSE TYPE 3 - STARSOL®
JST DU 23 OCTOBRE 2025

Méthode de Chin

➤ Présentation rapide de la méthode

- Quand la charge limite n'a pas été atteinte, c'est-à-dire quand le tassement mesuré n'a pas atteint le dixième du diamètre du pieu $B/10$, nous avons estimé la capacité portante en utilisant la méthode de Chin exposée par Serge Borel dans un article publié par Ground Engineering en 2004.
- A partir des différents couples de valeurs de la courbe de chargement « $Q ; w$ » (où Q et w sont respectivement la charge appliquée et le tassement mesuré en tête du pieu), Chin propose la relation suivante : $w = a.w/Q + b$

Méthode de Chin

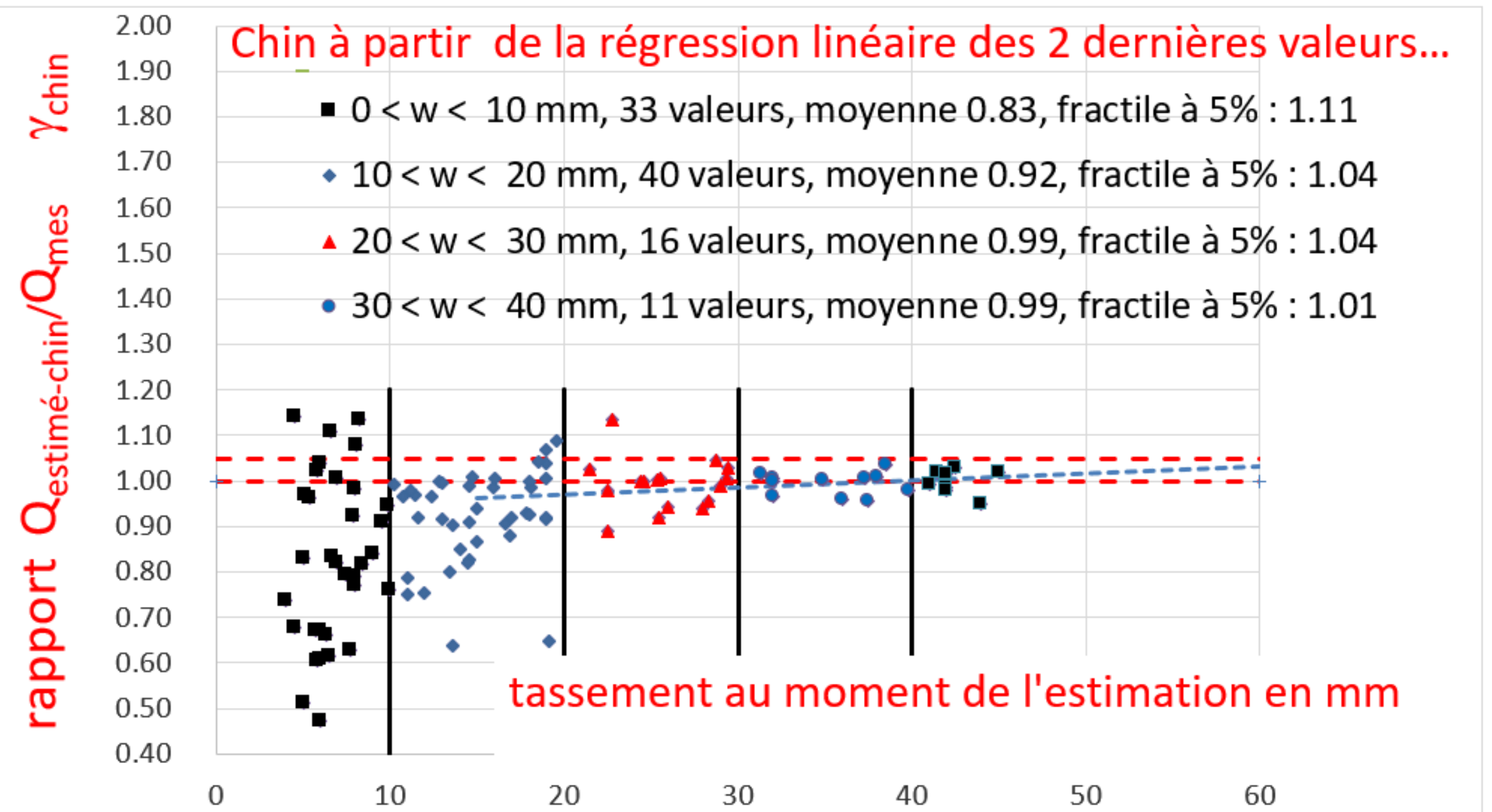
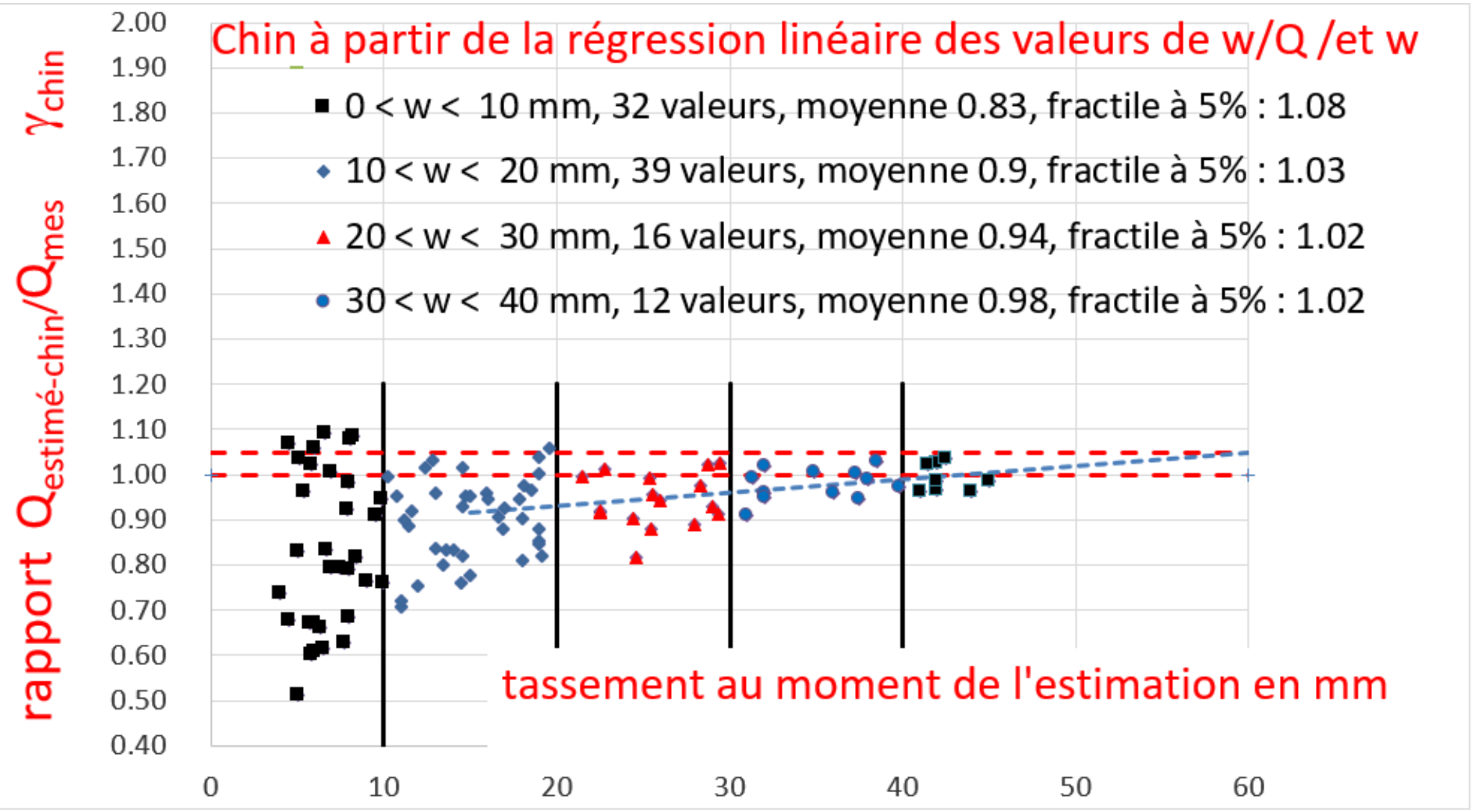
► Application de la méthode

- Serge Borel propose de tracer la courbe des valeurs de w en fonction de w/Q , puis d'en déduire la droite régression linéaire de ces valeurs pour en déduire a et b (méthode 1), et donc déduire pour la valeur théorique de rupture $w_r = B/10$, la valeur estimée de la charge $R_{chin.ref} = a w_r / (w_r - b)$.
- On peut aussi ne faire la régression linéaire qu'en fonction des 2, 3, 4 ou 5 dernières valeurs en fonction de la forme de la courbe (méthode 2 à 4)

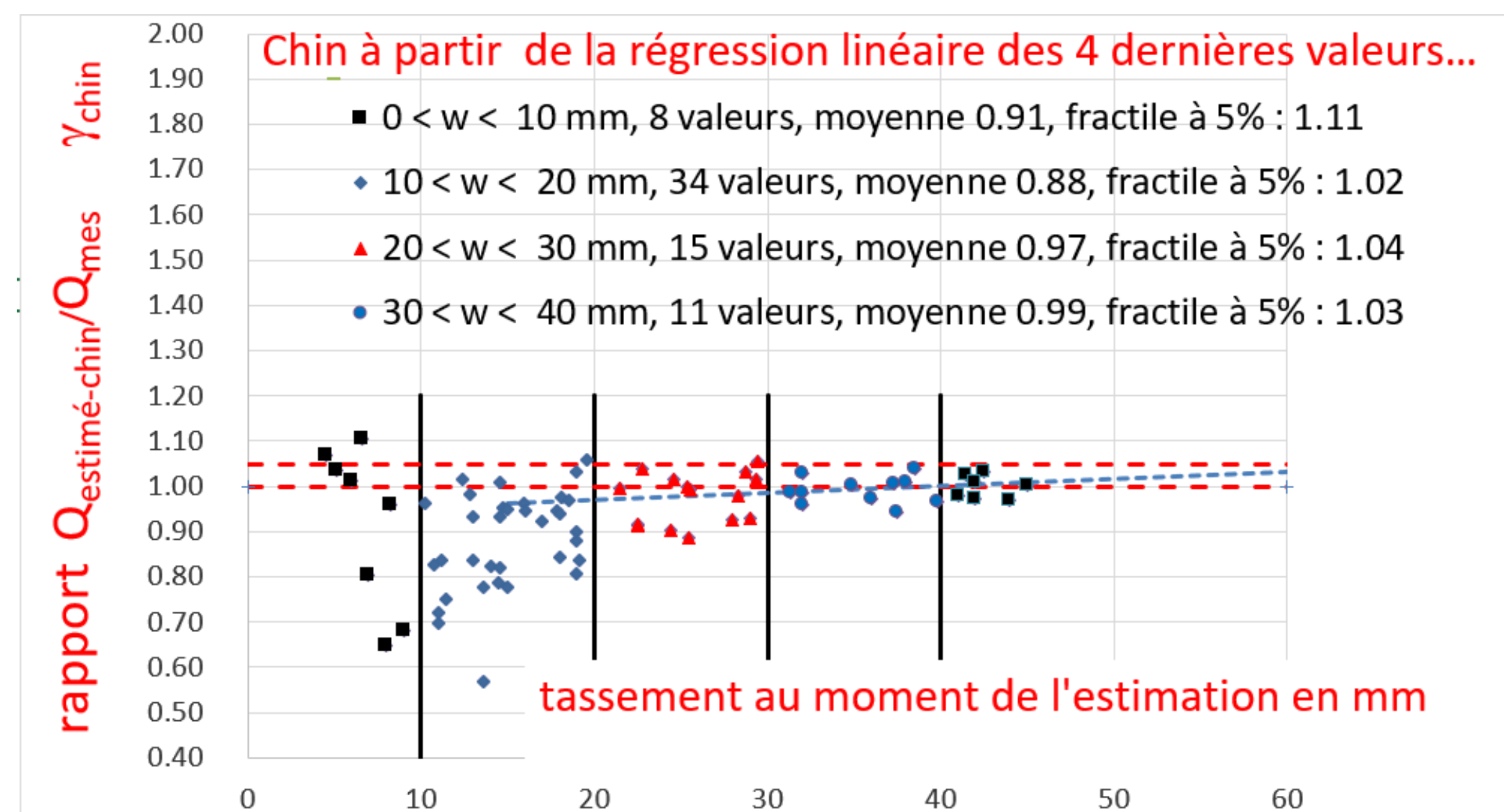
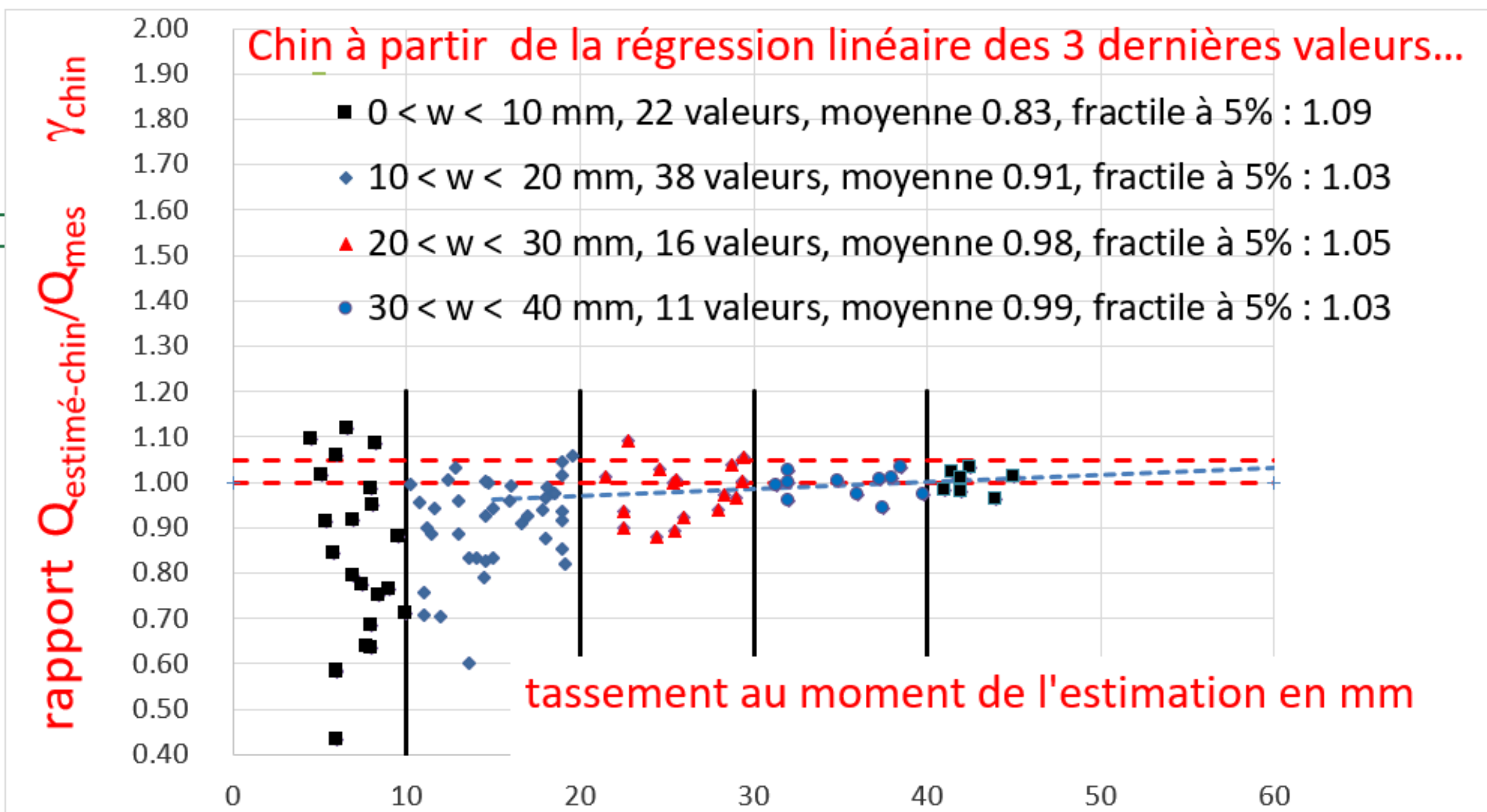
Méthode de Chin

- Analyse des rapports $c = R_{chin-i} / R_c$ en fonction de la valeur de tassement et de la méthode.
- Plus la valeur de tassement s'approche de $B/10$, moins la dispersion est forte. La dispersion est plus forte avec la méthode 2.
- La moyenne des résultats est inférieure à 1 ce qui montre que la méthode est conservatrice. La moyenne des résultats augmente plus on se rapproche de $B/10$ et tend vers 1.

Méthode de Chin



Méthode de Chin



Méthode de Chin

- ▶ En dessous de 10 mm de tassement, la dispersion est importante : rapports entre 1.10 et 0.5 pour une moyenne de 0.83.
- ▶ Enfin, d'après Davisson (1972) et Gilbert (1994), on ne peut faire des estimations que si le tassement dépasse $4\text{mm} + B/120 + \text{tassement élastique}$ (en général 10 mm)

=> méthode non applicable dans ces cas

Méthode de Chin

➤ Sur les 66 essais de chargement étudiés

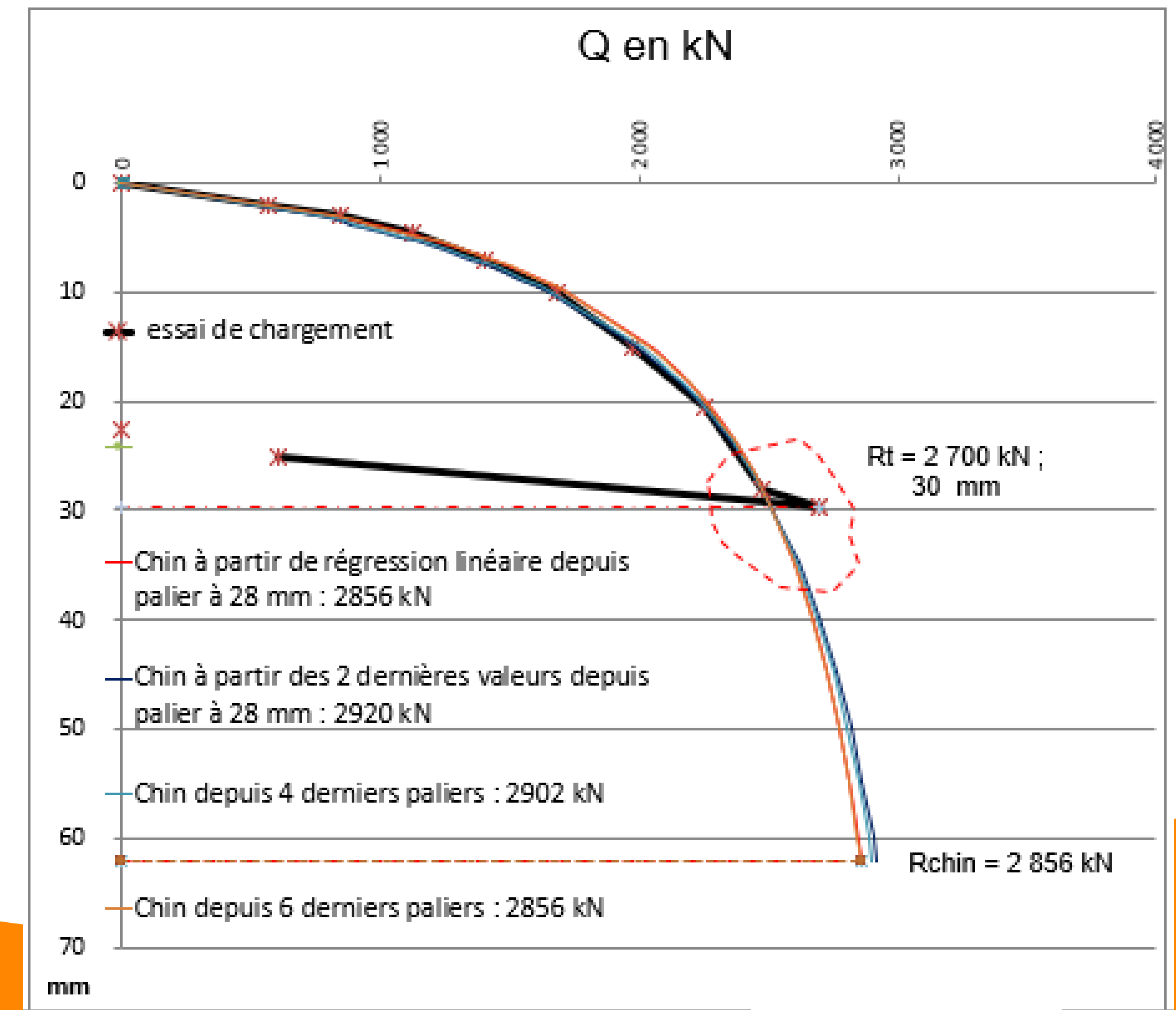
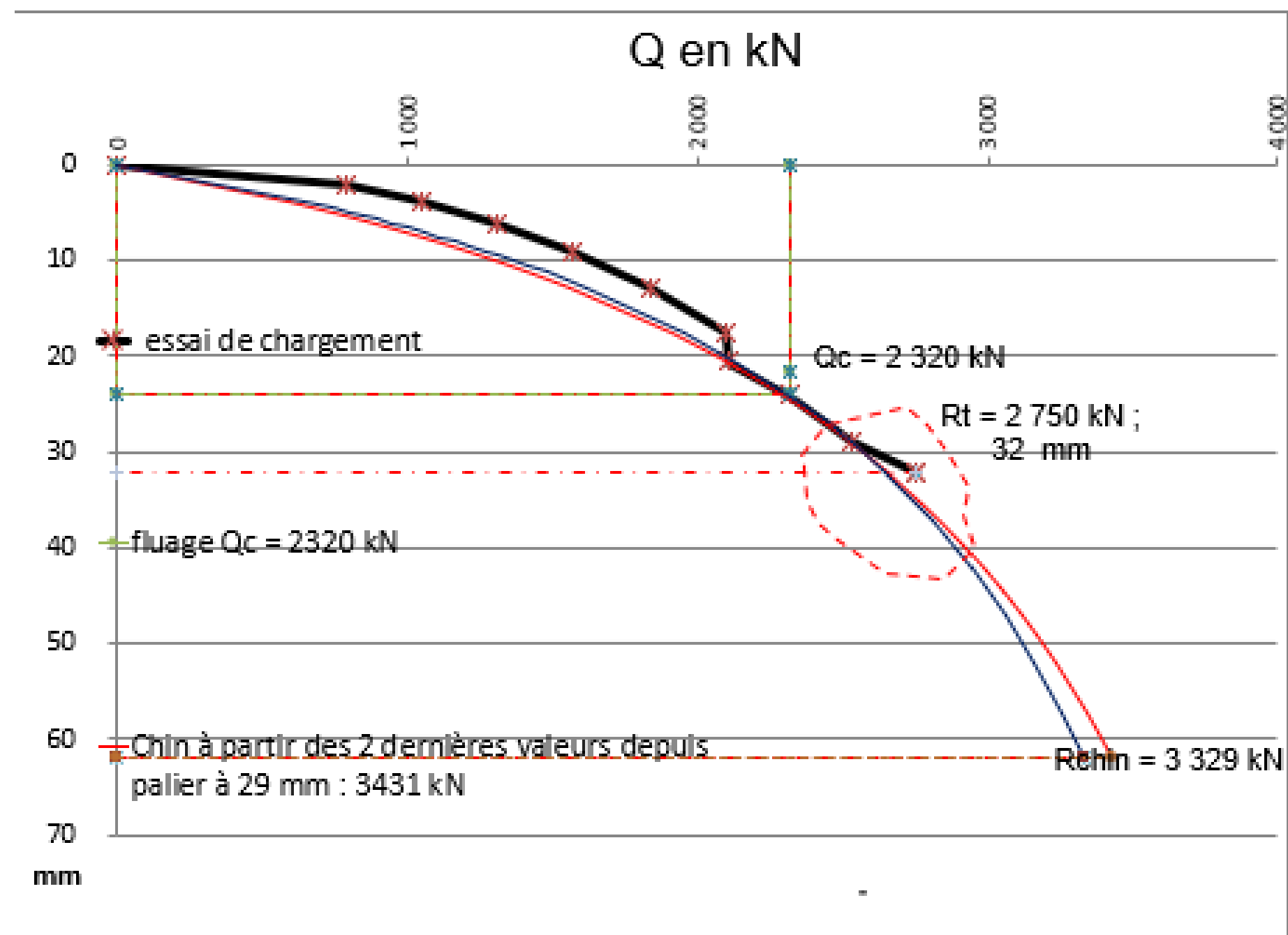
- 45 ont été effectués sur des pieux extérieurs à l'ouvrage et ont atteint une charge supérieure à la charge de calcul $R_c/1,15$ avec une mise en défaut inférieure à 15%
- 21 ont été effectués sur des pieux de l'ouvrage et ont atteint une charge limitée à la charge de calcul ELS majorée de 20%

➤ Sur les 21 essais de chargement sur des pieux d'ouvrage

- 11 ont eu un tassement inférieur à 5 mm non exploitable pour le calcul de Chin malgré une charge atteinte supérieure à l'ELS appliquée
- Les 10 autres ont atteint une charge Chin supérieure à la charge de calcul $R_c/1,15$ avec une mise en défaut de 15%

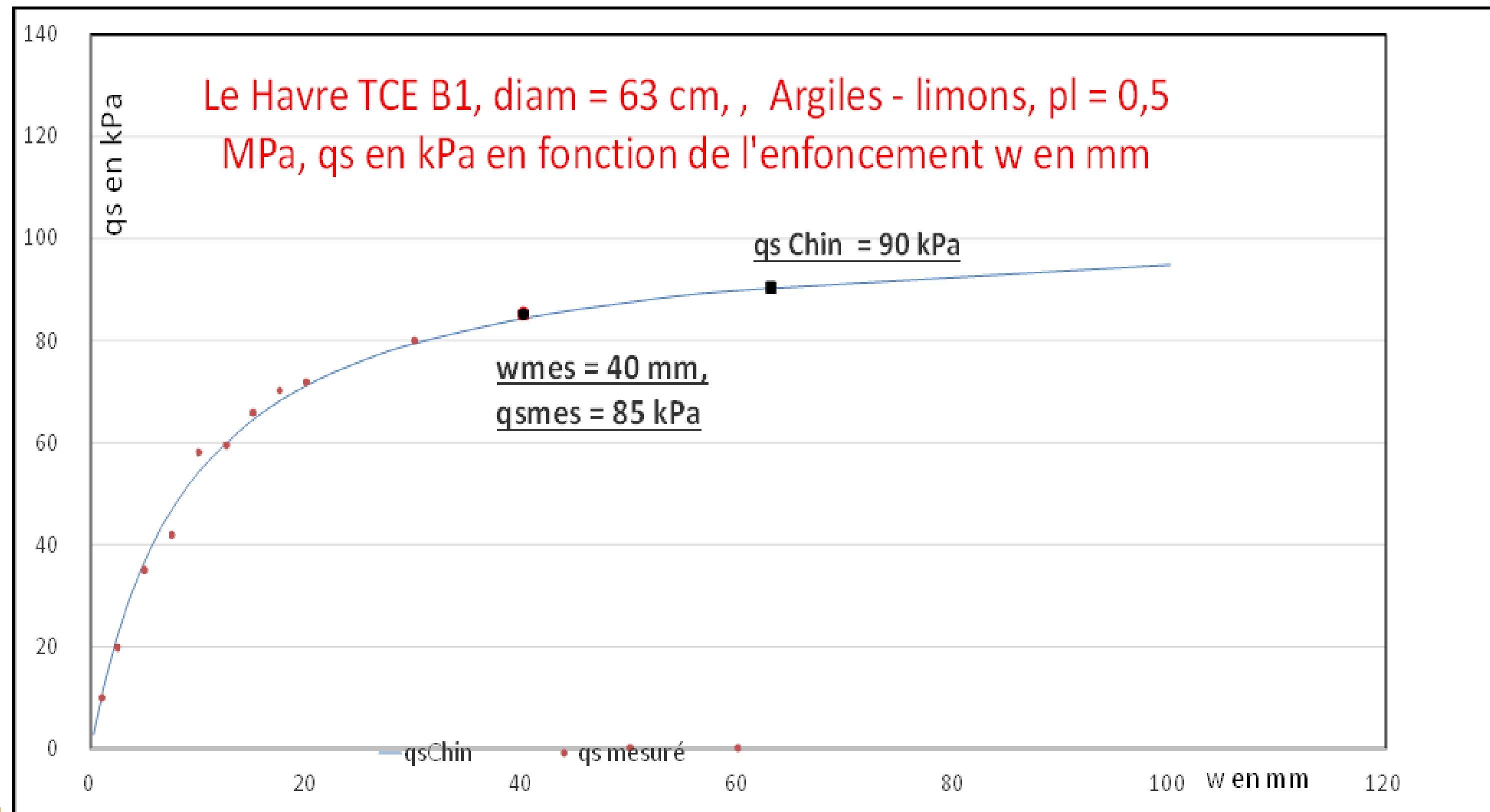
Méthode de Chin Points particuliers

- La pente de la courbe de chargement peut changer de concavité.
- Cela peut être dû à un palier plus court. Dans ce cas, la dernière mesure de tassement est optimiste et le calcul de R_{chin} est faussé. Nous proposons de calculer R_{chin} à partir de l'avant-dernière mesure.



Méthode de Chin

- Comme préconisé par Serge Borel, on peut aussi appliquer la méthode de Chin pour le frottement





cfms

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

Essais de chargement cas particuliers

FOCUS SUR LES PIEUX TARIÈRE CREUSE TYPE 3 - STARSOL®
JST DU 23 OCTOBRE 2025



SOLETANCHE BACHY
FONDACTIONS SPÉCIALES

Essais de chargement Paliers longs et procédure à plusieurs cycles

Ils faussent le calcul de Chin et celui du tassement final

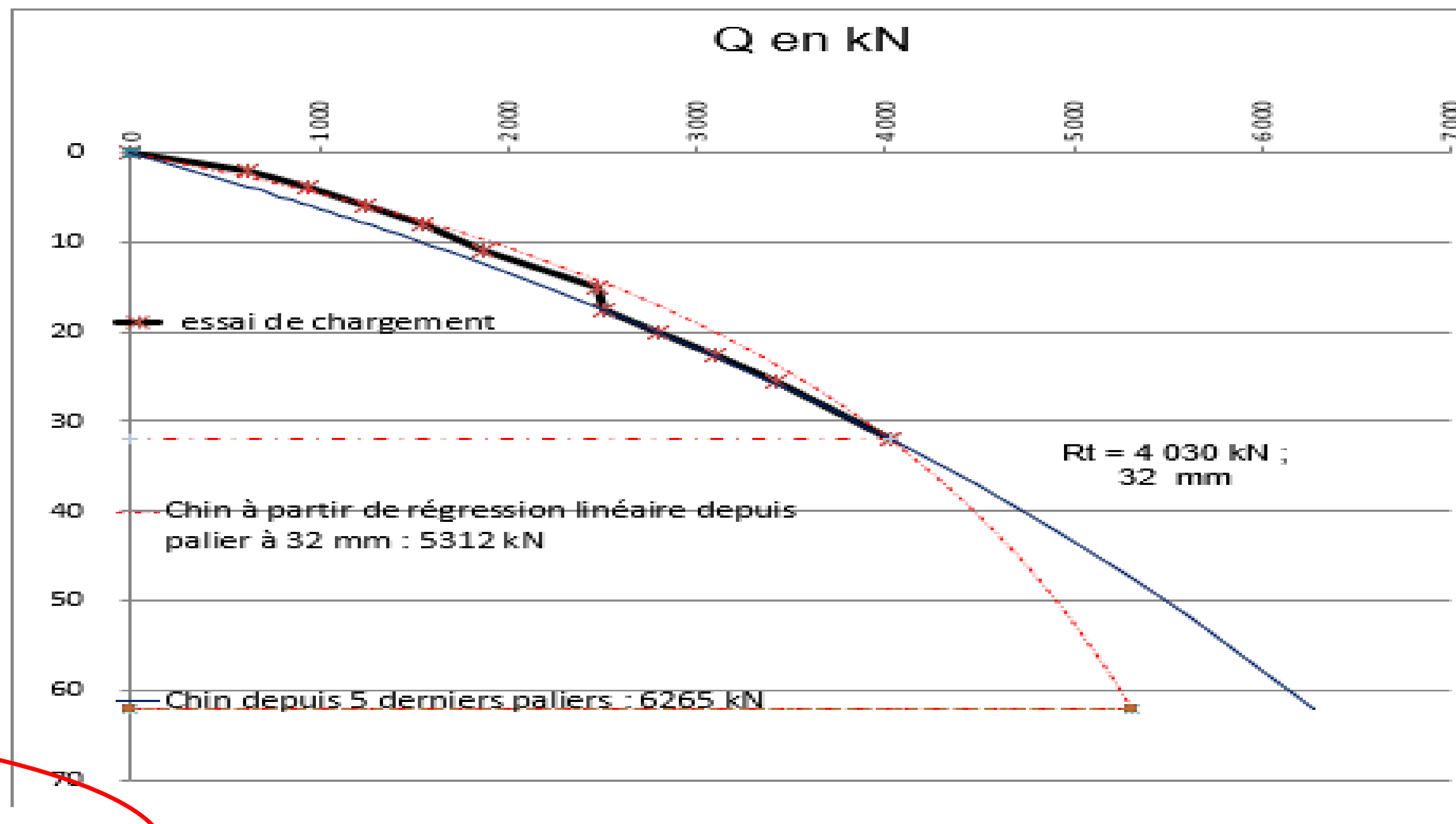
Exemple : Strasbourg 1. A cause d'un palier de fluage de 40 h, la forme de la courbe de chargement n'est plus représentée par la courbe établie selon la méthode de Chin à partir d'une régression linéaire de toutes les valeurs.

La bonne représentation est établie à partir des 5 dernières valeurs.

ISO 22477-1:2018(F)

5.2.1 Généralités

Il convient de réaliser l'essai de chargement en suivant un seul cycle de chargement/déchargement. Plusieurs cycles de chargement/déchargement peuvent également être utilisés.





cfms

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

Calcul du module d'Young du béton

FOCUS SUR LES PIEUX TARIÈRE CREUSE TYPE 3 - STARSOL®
JST DU 23 OCTOBRE 2025

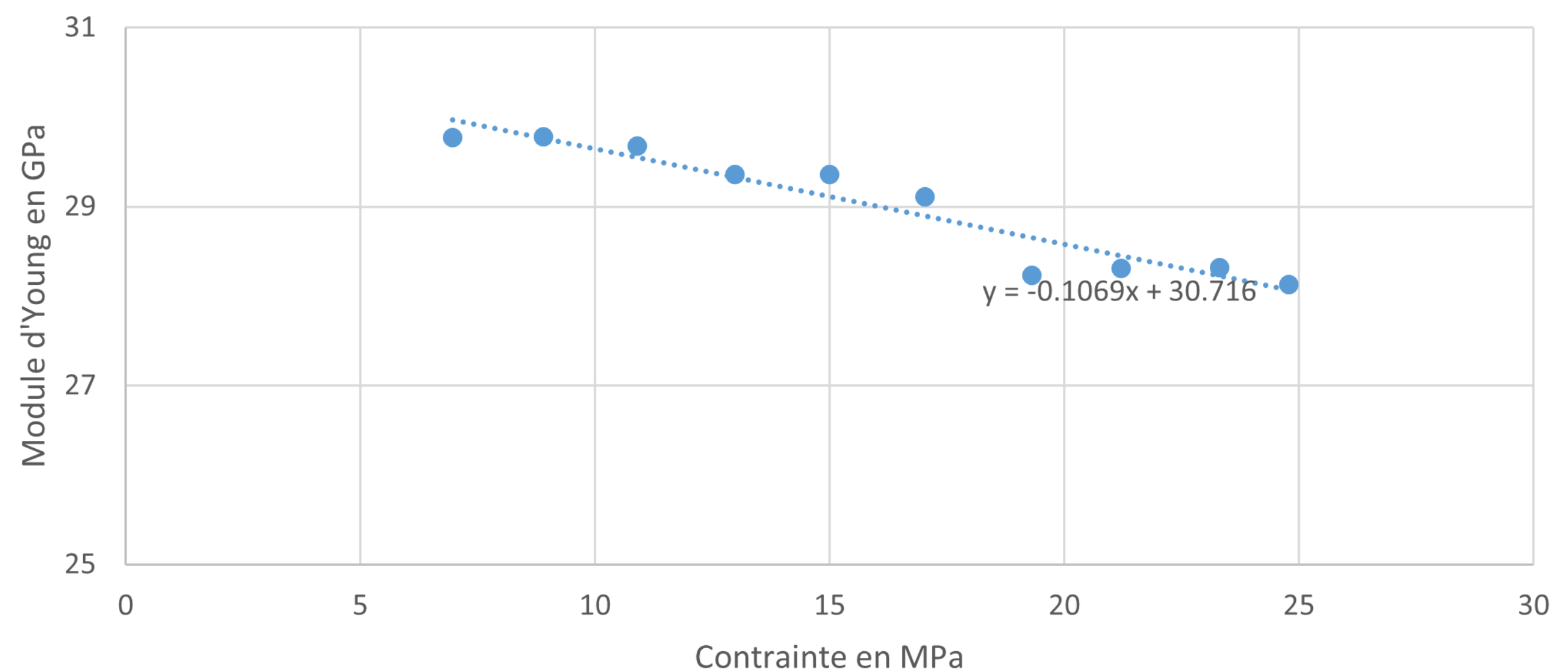
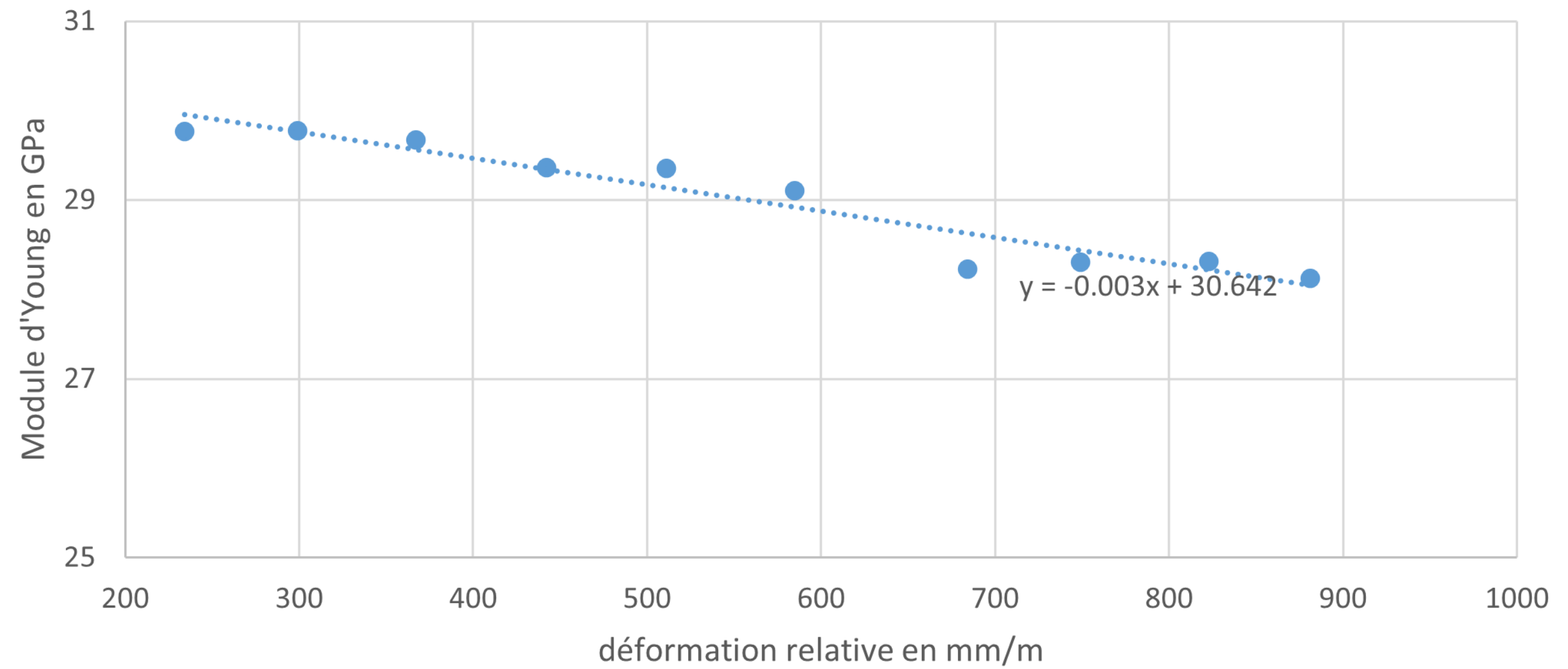


SOLETANCHE BACHY
FONDATIONS SPECIALES

Module d'Young - Exemple de la Défense Tour Saint Gobain

Sous réserve de mesurer dl/l
à 1 m de profondeur et en
considérant que la charge Q
est la même qu'en tête,

$$E = \frac{Q}{A * dl/l}$$





cfms

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

Nous vous remercions pour votre attention

**Merci à Michel Bustamante pour son
implication dans ces essais**

