

# ESSAIS D'ARRACHEMENT DE CLOUS SPLITSET® DANS UN MATÉRIAUX CRAYEUX

## **PULL TESTS PERFORMED ON SPLITSET® BOLTS IN A CHALKY MATERIAL**

Ludovic DORE<sup>1</sup>, David MATHON<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Cerema Blois, France

**RÉSUMÉ** – Cette étude présente les résultats d'essais d'arrachement effectués sur des clous SplitSet® implanté dans un matériau crayeux. Ils mettent en évidence une augmentation des performances des clous sur le long terme ainsi qu'une forte variabilité des valeurs de résistance à la traction entre des clous identiques.

**ABSTRACT** – This survey presents the results of pull tests performed on SplitSet® bolts in a chalky material. They show an increase of bolts resistance over time, and a strong variability of resistance between identical bolts.

### **1. Introduction**

En 2014, dans le cadre de l'axe 1 de l'opération de recherche PRECAS, le Cerema a mené des essais d'arrachement de clous SplitSet® afin d'observer l'influence de divers paramètres sur la friction développée par un clou dans un matériau typique du Val de Loire : un tuffeau calcaire tendre de la fin de l'ère secondaire (étage géologique du Senonien). Ces essais avaient montré une grande dispersion des valeurs obtenues (Dore et Mathon, 2015).

Afin de préciser ces résultats, une nouvelle campagne d'essais d'arrachement portant sur une vingtaine de clous identiques a été réalisée en 2017. A l'occasion de cette campagne, des mesures sur les 20 clous implantés en 2014 ont également été effectuées, afin d'observer le comportement de ces clous après une longue période en place.

Cette nouvelle campagne d'essais s'inscrit dans l'opération de recherche Cadoroc pilotée par le Cerema Aix en Provence (LRA-SGMS-Muriel Gasc) et financée par la direction Générale des Infrastructures, des Transports et de la Mer du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire.

### **2. Méthode**

#### **2.1. Site d'expérimentation**

Le site choisi pour mener cette expérimentation est une ancienne carrière de calcaire (dite « la Glacière ») située dans la commune de Vendôme dans le Loir-et-Cher. La carrière appartient à la ville de Vendôme.

La formation géologique en place appartient aux calcaires du Crétacé du bassin parisien (ère secondaire). Il s'agit d'une craie Senonienne (étage regroupant Coniacien, Santonien, Campanien et Maastrichtien) hétéroclite, présentant un faciès de craie détritique quartzo-micacée et de craie blanche à silex. Ce faciès correspond à une

sédimentation de haut-fond. Son épaisseur peut varier de 0 à 25 m. Ces terrains sont recouverts par des formations superficielles d'altération : les argiles et argiles sableuses blanches à silex. Leur épaisseur varie entre 2,5 et 13,5 mètres (Dore et Mathon, 2014).

La craie Sénonienne peut être rapprochée de la formation dite Craie de Villedieu, sur laquelle des essais mécaniques ont déjà été réalisés par le Laboratoire Régional de Blois. Ainsi, pour cet étage, les caractéristiques géotechniques suivantes peuvent être retenues :

- Une cohésion  $C_u$  comprise entre 50 et 60 kPa ;
- Un angle de frottement  $\Phi_u$  allant de 10 à 67 degrés ;
- Une résistance à la compression  $R_c$  comprise entre 1 et 11,8 MPa (moyenne : 3,79 MPa) ;
- Un poids volumique sec  $\gamma_d$  compris entre 14,6 et 23,1 kN/m<sup>3</sup> (moyenne : 17,7 MPa).

Des échantillons de matériau prélevé grâce à des carottages réalisés en 2014 ont été soumis à des essais de caractérisation. Le tableau 1 ci-dessous présente les résultats :

n°essai	$\gamma_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	$R_c$ (MPa)	$R_{tb}$ (MPa)
R 1315	1542	3,50	-
R 1316	-	-	0,36
R 1317	1475	3,65	-
R 1318	-	-	0,39
moyenne	1508	3,575	0,375

n°essai	$V_p$ (m/s)	$V_{s1}$ (m/s)	$V_{s2}$ (m/s)
R 1351	1760	836	762
R 1317	1711	924	923
moyenne	1735	880	842

n°essai	$\gamma_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	Porosité connectée	Porosité totale
5041	2595	0,415	0,433

Tableau 1 : Caractéristiques de la craie

On remarque que les valeurs de poids volumique sec et de résistance à la compression sont légèrement plus faibles que les moyennes obtenues pour cette formation géologique.

## 2.2. Le système d'ancrage SplitSet®

Le SplitSet® est un ancrage à friction. Le principe consiste à insérer un tube fendu en acier dans un forage de diamètre légèrement inférieur. Le tube est posé à travers une plaque de répartition bombée collée à la paroi. Lors de l'insertion, le tube est comprimé, ce qui lui permet d'exercer une pression sur les parois du forage une fois mis en place.

La figure 1 présente un clou SplitSet® et sa plaque de répartition.

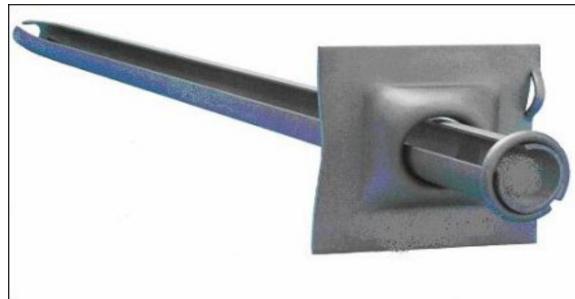


Figure 1 : clou SplitSet et plaque de répartition

La mise en place du Split Set se fait par percussion (une fois le trou de forage réalisé) et ne prend que quelques minutes (la mise en place est quasi instantanée avec un équipement puissant ; elle se fait en 5 à 6 minutes à l'aide d'un marteau pneumatique).

### 2.3. Clous utilisés

Le modèle de clous SplitSet® SS39, de diamètre 39 mm, (cf [www.splitset.fr](http://www.splitset.fr)) a été retenu pour cette expérimentation, car il s'agit des clous les plus fréquemment utilisés dans la région Centre-Val de Loire. En 2014, 20 clous numérotés de 1 à 20 avaient été implantés avec les caractéristiques présentées sur le tableau 1.

Tableau 2 : caractéristiques des clous implantés en 2014

Série de clous	Encastrement	diamètre de forage	Durée avant l'essai	orientation
1,2,3	1 m	classique	60j	vertical
4,5,6	2 m	classique	60j	vertical
7,8,9	2,5 m	classique	60j	vertical
10,11,12	2m	réduit	60j	vertical
13,14,15	2 m	classique	120j	vertical
16,17,18	2 m	classique	180j	vertical
19 et 20	2m	classique	60j	horizontal

Les clous implantés en 2017, numérotés de A à T, partagent les mêmes caractéristiques que les clous 4, 5 et 6 de 2014.

Les essais d'arrachement sont réalisés suivant la norme XP P 94-444. Pour chaque essai, deux cycles sont réalisés. Lors du premier cycle, la traction est appliquée par paliers de 0,1 Tle, où Tle est la traction théorique de rupture de l'ancrage. L'essai est arrêté lorsque la rupture ou la traction Tle est atteinte. Chaque palier est maintenu 5 minutes. La pression et le déplacement de la tête de l'ancrage sont relevés toutes les minutes. Lors du deuxième cycle, la traction est appliquée par paliers de 0,2 Tle jusqu'à atteindre Tle puis par paliers de 0,1 Tle. L'essai est arrêté lorsque la rupture ou la traction 2 Tle est atteinte. Les paliers sont maintenus 5 minutes et la pression et le déplacement de la tête d'ancrage sont relevés toutes les minutes. Le déchargement se fait par paliers de 0,4 Tle maintenus 1 minute. L'effort de traction est appliqué à l'aide d'un vérin et d'une cloche de traction, tandis que le déplacement du clou est mesuré à l'aide d'un comparateur.

### 3. Résultats

#### 3.1. Comportement des clous après 3 ans

La figure 2 ci-dessous présente les résultats obtenus en 2014 et ceux obtenus en 2017.

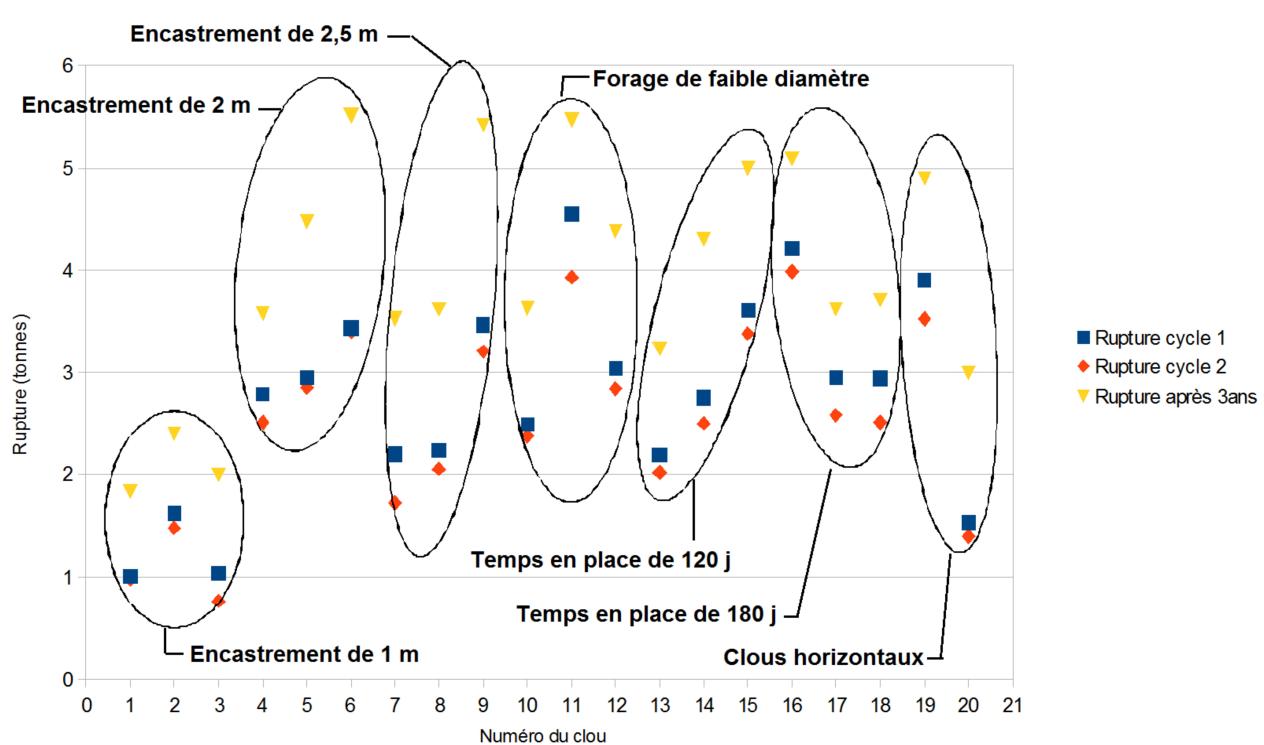


Figure 2 : résultats de 2014 et résultats de 2017 pour les clous 1 à 20

On remarque qu'entre 2014 et 2017, les performances des clous ont été systématiquement améliorées. Cela tend à confirmer que la réorganisation des contraintes dans le massif rocheux améliore la traction d'un SplitSet® sur le long terme. Cette amélioration est cependant assez variable : le gain de performance se situe entre +20 % et +96 % par rapport à la valeur de 2014, pour une moyenne de +50 %. L'importance du gain de performance ne semble pas dépendre des caractéristiques des clous.

La valeur moyenne de traction de rupture par mètre d'encastrement passe de 1,4t en 2014 à 2,1 t en 2017. La dispersion des valeurs reste constante entre les deux séries de mesures : l'écart-type est d'environ 0,4 t dans les deux cas.

#### 3.2. Comportement de la deuxième série de clous

En raison de difficultés rencontrées lors de la mise en place, les essais sur les clous A, B et C n'ont pas pu être réalisés. Les résultats obtenus pour les 17 autres clous (numérotés D à T) sont présentés sur la figure 3 ci-dessous.

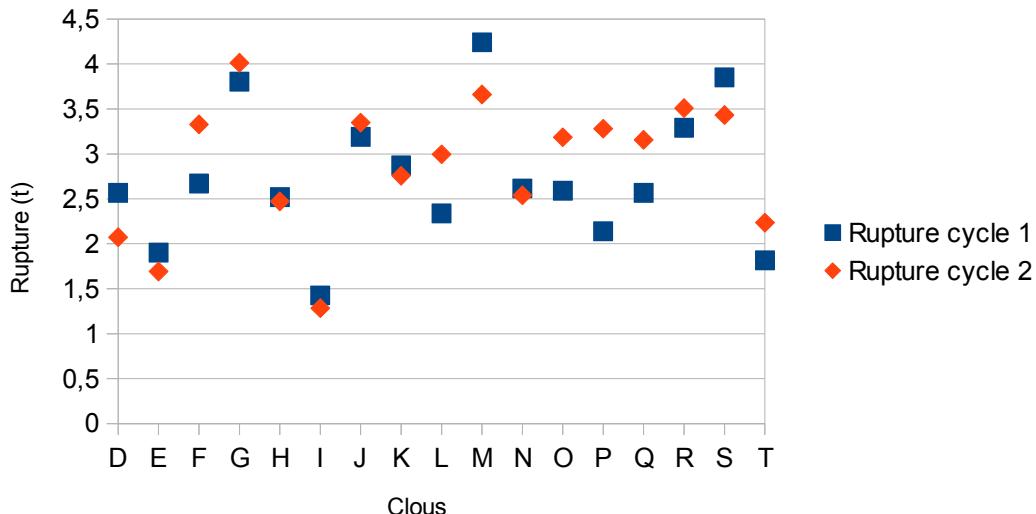


Figure 3 : Résultats pour les clous D à T (implantés en 2017)

Les valeurs obtenues sont en accord avec celles de la campagne de 2014 : La traction moyenne par mètre d'encastrement est d'environ 1,4 t. Elle est comprise entre 0,7 et 2,1 pour le premier cycle et 0,6 et 2 pour le deuxième. La dispersion est sensiblement identique puisque l'écart-type est là encore de 0,4 t. La seule différence importante entre ces résultats et ceux obtenus en 2014 est que, contrairement aux mesures de 2014, la valeur obtenue pour le deuxième cycle n'est pas systématiquement plus faible que celle du premier cycle. Il semble donc légitime d'en déduire que les fortes variations de performance obtenues en 2014 sont inhérentes à ce type d'ancrage dans ce type de milieu. La figure 4 ci-dessous présente la répartition des valeurs de traction par mètre d'encastrement obtenues à court terme sur 37 clous SplitSet® (il tient donc compte des résultats de 2014 pour les clous implantés en 2014 et ceux de 2017 pour les clous implantés en 2017).

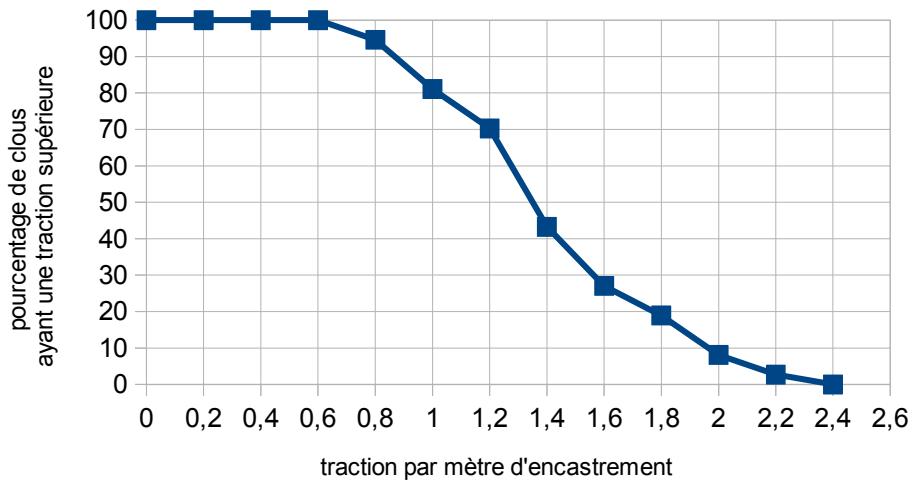


Figure 4 : fréquence cumulée des tractions par mètre d'encastrement

On observe que près de la moitié des clous permettent une résistance à la traction supérieure ou égale à 1,4 t par mètre d'encastrement, mais qu'environ 20 % des clous ne permettent pas plus de 1 t.

### 3.3. Calcul du frottement unitaire sol-clou

Les valeurs de traction mesurées permettent d'obtenir une valeur de frottement latéral unitaire. Les recommandations Tirants d'Ancre 95 donnent la formule (1) ci-dessous.

$$T = \pi * D * La * qs$$

(1)

Avec  $T$  la traction développée dans le clou au moment de la rupture,  $D$  le diamètre du clou,  $La$  la longueur d'encastrement du clou et  $qs$  le frottement latéral unitaire. La figure 5 ci-dessous présente les valeurs de frottement latéral unitaire obtenues par cette formule pour les clous 1 à 20 en 2014 et en 2017.

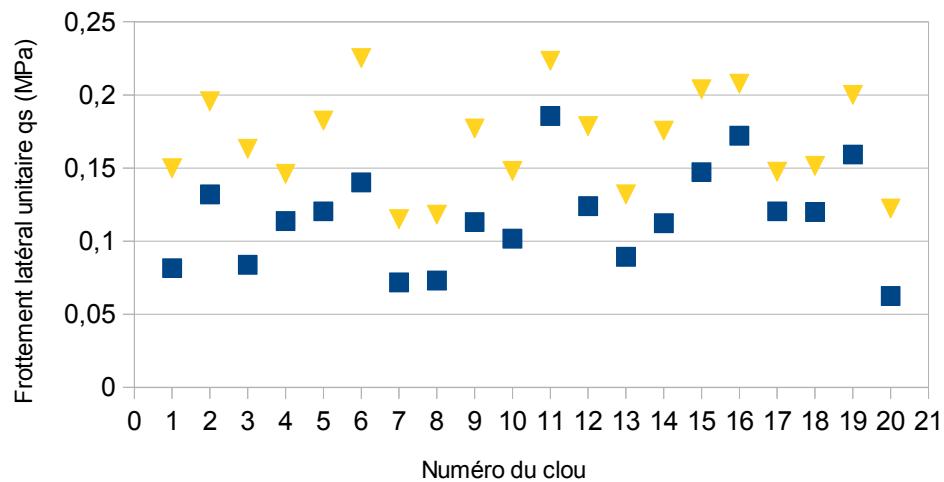


Figure 5 : valeurs de frottement latéral unitaire en 2014 (carrés) et en 2017 (triangles)

Le frottement unitaire moyen passe de 0,12 MPa en 2014 à 0,17 MPa en 2017. Le minimum passe de 0,06 à 0,11 MPa et le maximum de 0,19 à 0,23 MPa. La figure 6 ci-dessous est un abaque de détermination du frottement limite tiré des recommandations Tirants d'Ancre 95, sur lequel les plages de valeurs de traction (rouge pour 2014, vert pour 2017) ont été reportées.

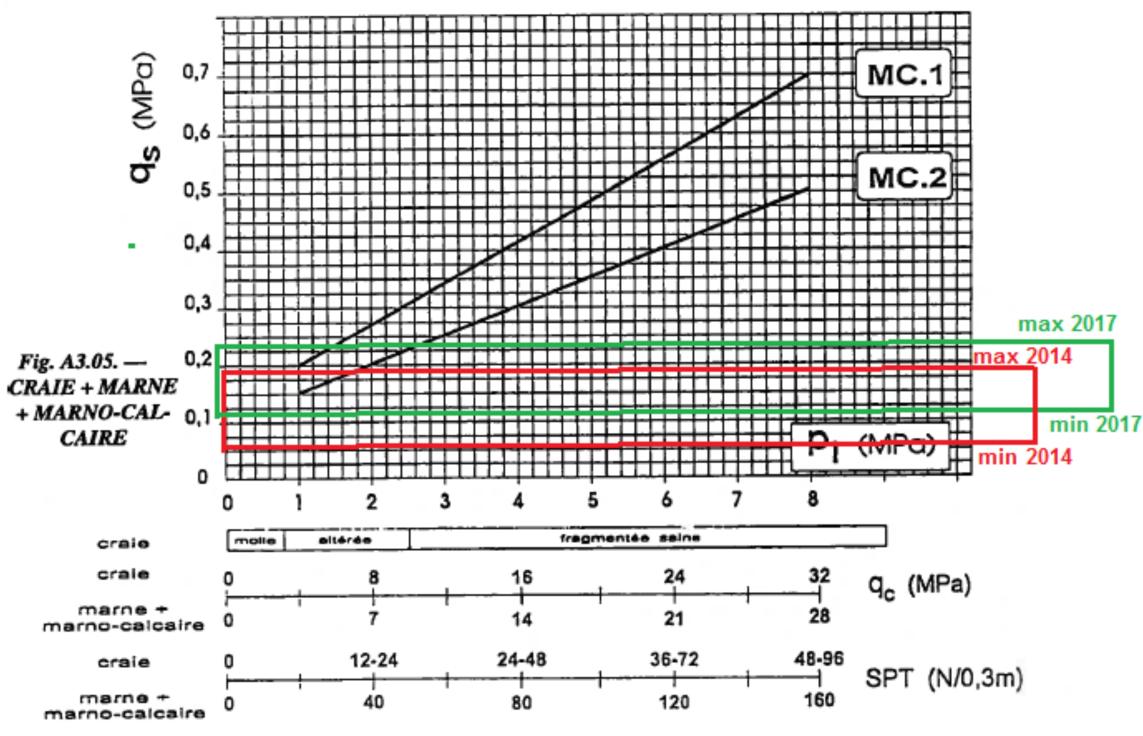


Figure 6 : abaque de détermination du frottement limite (TA 95)

On observe qu'au bout de 3 ans, la valeur réelle de  $q_s$  se rapproche donc de la valeur théorique donnée par la courbe MC.2 en considérant une craie molle à altérée.

#### 4. Conclusion

Les résultats obtenus en pratiquant des essais sur les mêmes clous à 3 ans d'intervalle mettent en évidence une augmentation de la résistance à la traction au cours du temps. Cette augmentation n'est visible que sur le long terme : les essais effectués en 2014 à différentes dates ne montrent pas de différences significatives pour des clous arrachés à 6 mois d'intervalle. Le gain de performance (en termes de résistance à la traction comme en frottement unitaire latéral) est cependant très variable puisque il se situe entre +20 % et +96 % de la valeur d'origine. La valeur moyenne de traction par mètre d'encastrement passe de 1,4 t à 2,1 t, le frottement latéral unitaire moyen de 0,12 à 0,17 MPa.

Par ailleurs, les résultats obtenus sur les 17 clous implantés en 2017 confirment la grande dispersion des valeurs de résistance obtenues : la traction limite la plus faible est de 1,43 t, la plus forte de 4,24 t pour des clous identiques. Les valeurs par mètre d'encastrement sont du même ordre de grandeur que celles obtenues sur les 20 clous implantés en 2014. La variabilité est également identique, ce qui suggère que la traction de ce type d'ancrage dans ce type de matériau est naturellement sujette à de fortes variations.

Il serait intéressant de répéter les mesures sur les premiers clous à plusieurs années d'intervalle afin de voir si cette augmentation des performances se poursuit à plus long terme. Il est également prévu d'effectuer de nouveau essais de traction, en s'appuyant cette fois-ci sur la norme NF P94-153 (habituellement conseillée dans des sols) afin d'observer d'éventuelles variations.

## 5. Références bibliographiques

- AFNOR. Essai statique d'arrachement, sous un effort axial de traction, d'un ancrage scellé dans un massif rocheux. XP P 94-444, 2002. AFNOR 10p.
- Comité français de la mécanique des sols et des travaux de fondation. Tirants d'ancrage. Recommandations concernant la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle (1995). Eyrolles 184p.
- Dore L., Mathon D. Rapport PRECAS Axe 5 – Diagnostic de la Glacière (2014). Cerema, 37p.
- Dore L., Mathon D. Rapport PRECAS Axe 1 – Arrachement de clous SplitSet (2015). Cerema, 26p.
- Metal Service. Spécifications techniques modèle standard SplitSet SS-39. Disponible sur <http://www.splitset.fr/split-set/split-set-ss-39/>