

Étude des mécanismes de coupe des roches avec couteaux usés

Approche des mécanismes de frottement sous les couteaux par le concept du troisième corps.

Dr Ir Fabrice Dagrain

Un bon outil de destruction de la roche est un outil qui permet d'atteindre des vitesses d'avance élevées et qui a une longue durée de vie. Malheureusement, les phénomènes d'interactions existant entre les outils et les matériaux rocheux sont responsables de l'usure et de la chute des performances des outils. Cette recherche s'est attachée à étudier les mécanismes de destruction des roches en cisaillement, à l'aide d'outils de coupe usés de type PDC⁽¹⁾.

Mots-clés : coupe des roches, PDC, usure, frottement, performances

⁽¹⁾ PDC : Polycristalline Diamond Compact – pastille constituée d'une couche de diamants polycristallins synthétiques agglomérée sous haute pression et haute température sur un substrat en carbure de tungstène. Il s'agit en fait de l'élément constitutif de la majorité des outils de forage utilisés dans le domaine pétrolier.



Figure 1 : La compréhension des mécanismes de destruction des roches par les outils PDC nécessite l'étude locale des pastilles, et la réalisation de test à pastille unique.

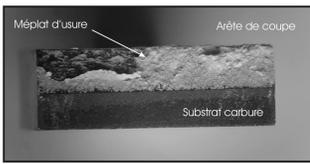


Figure 5 : Illustration de la présence d'un troisième corps adhérant au méplat d'usure dans un matériau calcaire.

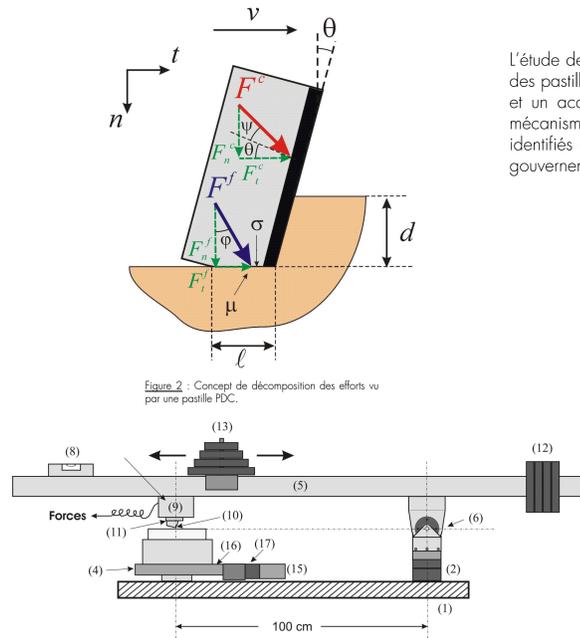


Figure 2 : Concept de décomposition des efforts vu par une pastille PDC.

Figure 4 : Dispositif expérimental à poids constant mis au point dans le cadre de cette recherche.

L'étude de la réponse d'un outil passe par la compréhension des phénomènes au niveau local des pastilles constitutives (Fig 1). Cette approche est classique dans l'étude des outils de coupe et un acquis certain existe déjà dans la littérature (Fig 2). Cependant, il apparaît que les mécanismes de frottement qui contribuent aux mauvaises performances des outils, restent mal identifiés (Fig 3). La motivation essentielle du travail est de comprendre les mécanismes qui gouvernent l'avance des outils usés.

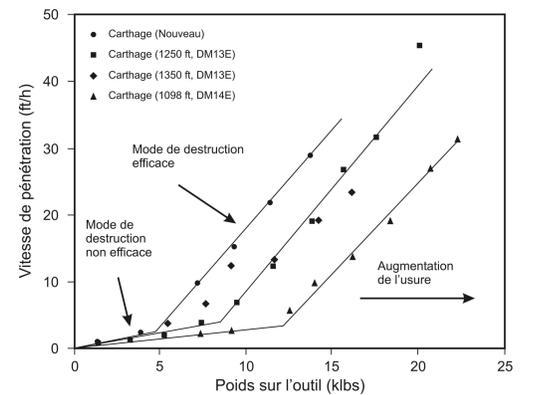


Figure 3 : Courbes d'avance obtenues pour des outils de forage présentant des niveaux d'usure différents. L'usure se traduit par une translation des courbes d'avance vers les poids sur l'outil de plus en plus important.

Une approche expérimentale a mis en évidence, via des expériences de grande qualité, différents phénomènes associés au contact frottant, et a permis d'ébaucher des scénarios d'explications des mécanismes de frottement.

Des essais de coupe à poids constant (Fig 4) ont permis de mettre en évidence l'existence de deux modes de fonctionnement des outils usés (Fig 3) : un mode frottement, non efficace, détruisant le matériau rocheux essentiellement par usure superficielle et un mode coupe caractérisé par la destruction efficace de la roche par arrachement de copeaux.

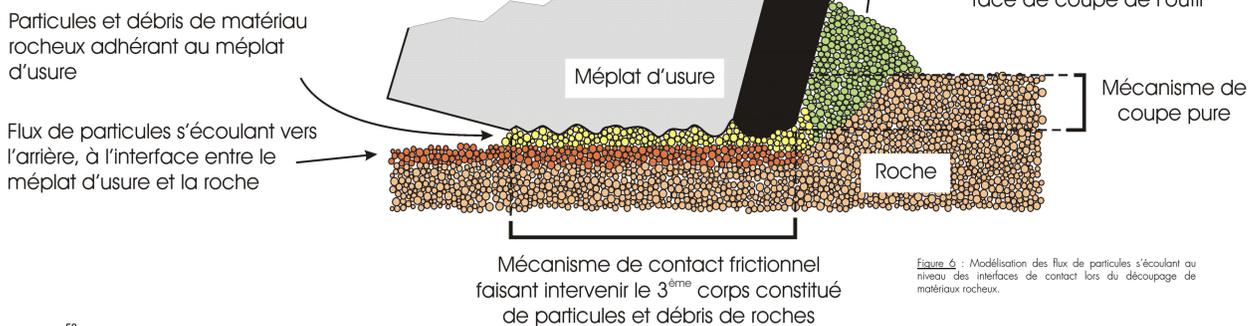


Figure 6 : Modélisation des flux de particules s'écoulant au niveau des interfaces de contact lors du découpage de matériaux rocheux.

En mode coupe, les mécanismes de destruction sont fortement influencés par l'état de surface du méplat d'usure et par la présence d'un troisième corps constitué de particules et débris de roche s'écoulant à l'interface entre le méplat d'usure de l'outil et la roche (Fig 6). Il apparaît que les propriétés du frottement de contact sont essentiellement régies par les caractéristiques du troisième corps. La loi liant la contrainte normale de contact sur le méplat d'usure au coefficient de frottement à l'interface entre le méplat d'usure et la roche, est fortement influencée par la présence du troisième corps. Nous avons pu mettre en évidence que la loi de frottement de contact est identique à la loi de frottement interne des matériaux dont sont issus les particules constitutives du troisième corps (Fig 7).

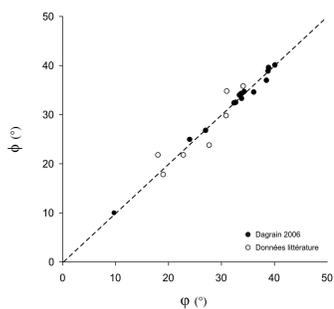


Figure 7 : Corrélation entre l'angle de frottement ϕ à l'interface pastille/roche et l'angle de frottement interne du matériau rocheux ϕ .

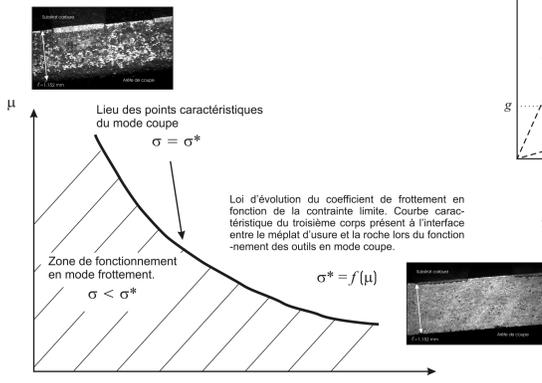


Figure 8 : Loi de contact au niveau de l'interface de contact. Cette courbe est paramétrée par la rugosité du méplat d'usure, et est influencée par la nature de fluide lubrifiant présent dans l'interface.

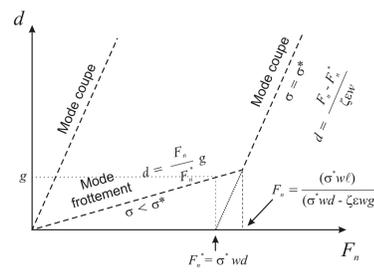


Figure 9 : Expression du modèle phénoménologique en fonction des modes de fonctionnement des pastilles.

Un modèle phénoménologique pour couteaux usés a été formulé sur base des différents résultats expérimentaux. Le modèle global considère l'existence des deux modes de destruction de la roche (Fig 8), et la dépendance de la contrainte de contact à l'angle de frottement à l'interface en mode coupe (Fig 9). L'analyse du modèle a permis de mettre en évidence l'influence du coefficient de frottement au niveau du méplat d'usure, tant sur la vitesse de pénétration des outils que sur leurs performances.

Le modèle a été vérifié lors d'essais de coupe en présence de fluide. Ces essais ont permis de constater qu'il est effectivement possible de modifier la nature de l'écoulement du troisième corps à l'interface de contact, et que le fluide peut avoir une influence néfaste sur les performances des outils.

Conclusions

Les performances des outils de forage ou découpage sont influencées par la présence d'un troisième corps au niveau de l'interface de contact entre le méplat d'usure et de la roche. La loi de frottement de contact est une caractéristique du troisième corps. Cette loi met en évidence que l'optimisation des performances des outils nécessite d'augmenter les coefficients de frottement au niveau du méplat d'usure. Ceci peut se faire physiquement en modifiant la rugosité de contact ou par l'introduction de lubrifiants « agressifs » dans le contact.