

Les ondes soniques pour caractériser les roches fracturées dans un forage

El Djamai Arar, Août-2025

L'étude des ondes soniques constitue l'un des outils les plus performants utilisés en géophysique pour l'exploration et la caractérisation des milieux souterrains. Cette étude s'inscrit dans le cadre de la caractérisation des réservoirs rocheux fracturés dans un forage, qui jouent un rôle essentiel dans la gestion durable des ressources en eau souterraine. L'objectif principal du travail est d'évaluer le potentiel des ondes acoustiques comme outil d'exploration et de diagnostic des structures fracturées traversées par les forages. En combinant des expériences en laboratoire et des acquisitions sur le terrain (forages RSBV1, RSBV2 et RSBV3), l'étude propose une approche intégrée permettant de relier les paramètres acoustiques à la nature et à la structure interne des formations géologiques.

Le mémoire débute par un rappel des principes physiques de la propagation des ondes sonores dans les milieux poreux et fracturés, en distinguant les ondes longitudinales (P), transversales (S) et de Stoneley (St). Ces ondes sont influencées par divers facteurs tel que la lithologie, porosité, pression, température et état de fracturation, qui modifient leur vitesse, leur amplitude et leur contenu fréquentiel. Trois paramètres fondamentaux ont été retenus pour l'analyse : la vitesse de propagation des ondes P, S et St, l'atténuation d'amplitude de premier pic des ondes P, et l'évolution du spectre fréquentiel entre deux capteurs (RX1 et RX2). L'approche conjointe de ces indicateurs permet de mieux comprendre les phénomènes de dissipation, de diffraction et de filtrage des ondes acoustiques dans des environnements hétérogènes. Les expériences en laboratoire, menées sur huit configurations représentatives (cas A à H), ont permis de simuler différents milieux : homogènes (eau, boue, tube en béton non armé), fracturés (ouverts, fermés, multiples) et à surfaces variées (lisses ou rugueuses). Les résultats révèlent que la vitesse des ondes P diminue de manière significative en présence de fractures, particulièrement ouvertes ou multiples, avec une baisse pouvant atteindre jusqu'à 50%. Ces résultats expérimentaux fournissent ainsi une base de comparaison fiable pour le diagnostic de milieux fracturés dans des contextes réels.

Les enregistrements des ondes soniques réalisés sur les forages RSBV1, RSBV2 et RSBV3 ont validé ces observations en conditions réelles. Les vitesses obtenues par la détection de premier arrivée des ondes soniques et par la méthode de semblance présentent une très bonne cohérence et permettent de distinguer clairement les zones lithologiques (marnes, calcaires compacts, zones altérées) et les niveaux fracturés. L'intégration de l'analyse fréquentielle à court terme (STFT) a permis d'identifier les zones de perte d'énergie ou de diffusion associées aux discontinuités. De plus, les paramètres élastiques calculés à partir des vitesses des ondes acoustiques (modules de Young, modules de Cisaillement et de Compressibilité, Coefficient de Poisson) ont offert un cadre quantitatif pour estimer la rigidité et la cohésion mécanique des formations traversées. Toutefois, parmi tous les paramètres étudiés, c'est l'atténuation d'amplitude qui s'est révélée être le meilleur indicateur pour la détection des fractures, même fines, fermées ou sub-verticales. Contrairement à la vitesse, qui peut rester élevée en présence de fractures inclinées ou partiellement colmatées, l'atténuation réagit immédiatement à la moindre perte d'énergie acoustique. L'analyse a également démontré que la combinaison des vitesses P, S et St, des fréquences et des paramètres mécaniques offre une lecture multidimensionnelle du sous-sol, chaque paramètre apportant une information complémentaire : la vitesse renseigne sur la lithologie, la fréquence sur la diffusion énergétique, les modules élastiques sur la rigidité du milieu, et l'atténuation sur la présence et la nature des fractures. En conclusion, cette recherche met en évidence la pertinence des méthodes acoustiques pour l'étude des milieux fracturés, tant en laboratoire qu'en conditions de forage. Elle démontre que l'atténuation des ondes soniques, associée à l'analyse fréquentielle et la vitesse des ondes soniques, constitue un outil de diagnostic précis, fiable et sensible, capable de détecter la nature des formations géologiques traversées ainsi la détection des fractures fines, multiples ou remplies de fluides. Les résultats obtenus ouvrent des perspectives prometteuses pour l'exploration et le suivi des réservoirs souterrains, notamment en hydrogéologie, où la caractérisation des roches fracturées est essentielle pour une gestion durable des ressources en eau.

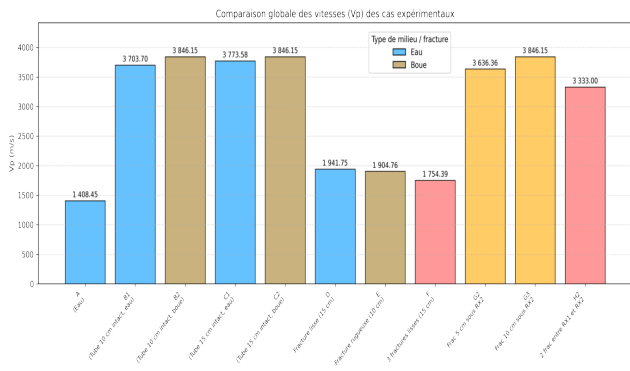


Figure 1: Comparaison globale des vitesses V_p des cas expérimentaux.

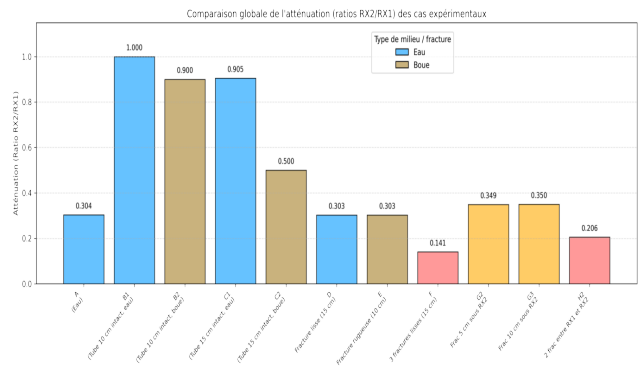
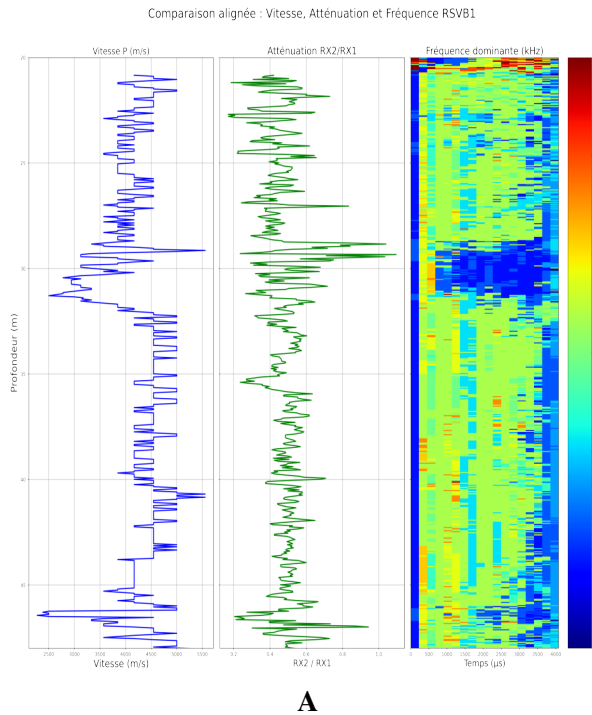
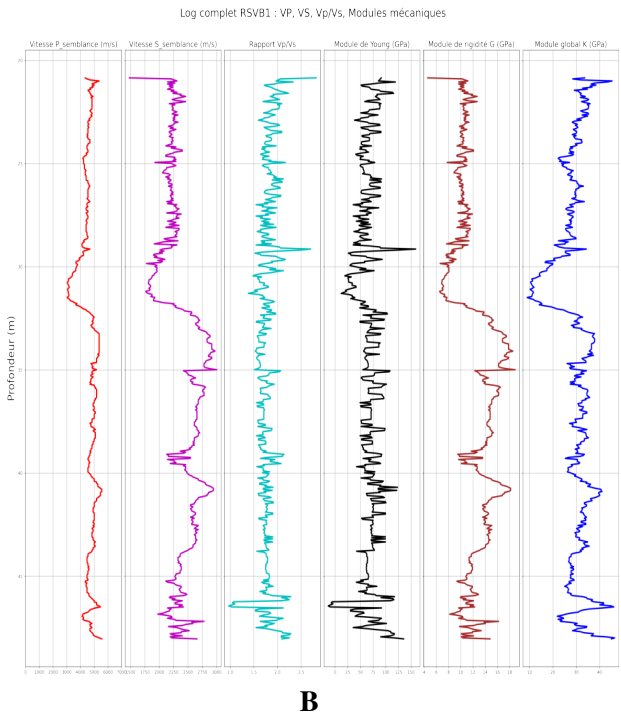


Figure 2: Comparaison globale de l'atténuation ($RX2/RX1$) des cas expérimentaux.

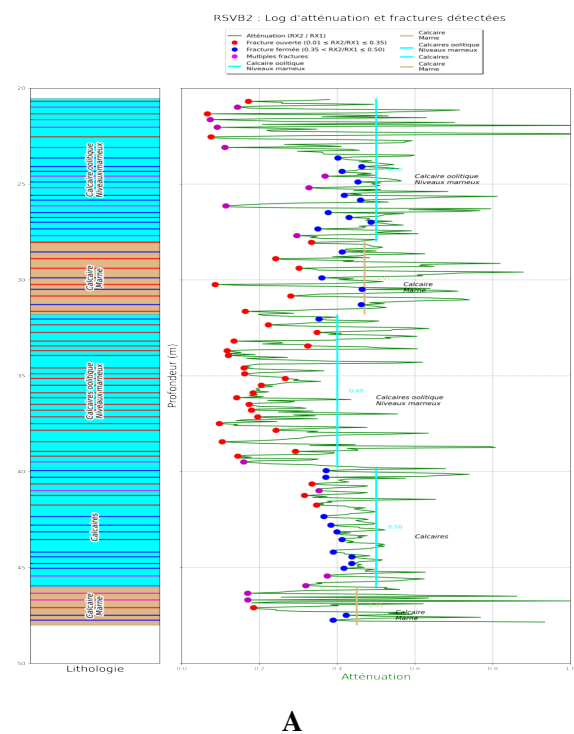


A

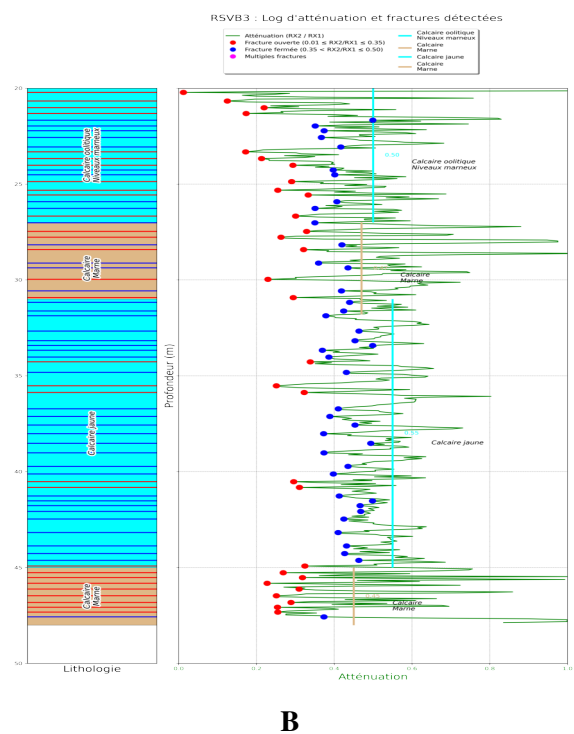


B

Figure 3: A: *RSVB1*: Logs de vitesse P et atténuation es amplitude avec la carte des fréquence dominante moyenne. B: *RSVB1*: Logs de vitesse P , S , modules d'élasticités.



A



B

Figure 4: A: Log du facteur d'atténuation des amplitudes des premiers pics (*RSBV2*). B: Log du facteur d'atténuation des amplitudes des premiers pics (*RSBV3*).