

Avis de Soutenance

Monsieur Roy CHAAYA

Génie Civil

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Couplage entre processus mécaniques et chimiques lors de l'hydratation d'une bentonite en température

dirigés par Monsieur HUGUES RAIMBOURG

Ecole doctorale : Energie, Matériaux, Sciences de la Terre et de l'Univers - EMSTU

Unité de recherche : ISTO - Institut des Sciences de la Terre d'Orléans

Soutenance prévue le **jeudi 29 juin 2023** à 10h00

Lieu : Observatoire des sciences de l'Univers (ISTO) - Campus Géosciences 1A Rue de la Férollerie - 45071
Orléans

Salle : Amphithéâtre ISTO

Composition du jury proposé

M. HUGUES RAIMBOURG	Observatoire des sciences de l'Univers (ISTO)	Directeur de thèse
M. Olivier CUISINIER	Université de Lorraine	Rapporteur
Mme Maria Victoria VILLAR	Ciemat	Rapporteuse
M. Christophe TOURNASSAT	Observatoire des sciences de l'Univers (ISTO)	Examineur
M. Eric FERRAGE	Université des sciences de Poitiers	Examineur
M. Stephane GABOREAU	BRGM	Co-encadrant de thèse
M. Joachim TREMOSA	GEOSTOCK	Co-encadrant de thèse
M. Jean TALANDIER	ANDRA	Invité

Mots-clés : pression de gonflement, température, hydratation, bentonite, minéralogie, stockage de déchets radioactifs

Résumé :

Les matériaux argileux naturels ou ouvragés sont utilisés dans de nombreux environnements sensibles autour de l'usage et de l'exploitation du sol et du sous-sol (stockage d'énergie, de déchets radioactifs, séquestration du CO₂). Les propriétés géochimiques et mécaniques des argiles, notamment les bentonites, font l'objet d'études depuis des décennies pour le stockage à long terme des déchets nucléaires dans des formations géologiques. En effet, la faible perméabilité et le potentiel de gonflement des matériaux argileux assure au moins une partie des fonctions de sûreté pour le confinement des radionucléides. Si l'activité de l'eau ou la chimie de l'eau sont connues pour affecter les propriétés de gonflement des bentonites, très peu d'études ont été menées sur l'effet de la température sur l'hydratation. L'effet de la température sur le comportement gonflant des bentonites reste ainsi un sujet de recherche peu étudié, alors que ces matériaux pourraient être exposés à des températures proches de 100°C au niveau des alvéoles de stockage. Ainsi, cette thèse s'intéresse au gonflement des argiles lorsqu'elles sont hydratées à des températures pouvant atteindre 150°C. Le gonflement des argiles résulte des interactions eau-smectite à différentes échelles, de l'espace interfoliaire à l'espace interparticulaire, et est fonction des conditions physico-chimiques à la surface des feuillets. On cherche ainsi à évaluer expérimentalement l'effet de la température sur l'hydratation à différentes échelles d'interaction eau/argile, à savoir la composante cristalline et osmotique responsables du gonflement des bentonites. Dans ce contexte, des cellules œdométriques miniaturisées ont été développées pour pouvoir réaliser simultanément des mesures de pression de gonflement et des analyses de diffraction de rayons X aux grands angles (WAXS) au cours de l'hydratation à volume constant. On peut ainsi suivre l'évolution de la microstructure à l'échelle sub-nanométrique avec la distribution des couches moléculaires d'eau adsorbées entre les feuillets. Des essais de gonflement drainés à volume constant ont été réalisés sur des échantillons de montmorillonites (Kunipia-G (Na) et Kunipia-G (Ca)) compactés à des densités apparentes sèches de 1,4 ; 1,5 ; 1,6 et 1,8 g/cm³ et hydratées à des températures de 25°C à 150°C. Les résultats montrent qu'une augmentation de la température de 25°C à 100°C provoque une diminution de la pression de gonflement de la Kunipia-Na. Par contre, la pression de gonflement de la Kunipia-Ca demeure quasi constante. Il faut atteindre une température de 150°C pour observer une diminution de la pression de gonflement de la forme calcique alors que la pression s'effondre à 150°C pour la forme sodique. Nos essais montrent également que la pression de gonflement diminue d'autant plus avec la température que la densité est élevée. Ces résultats sont corroborés par des isothermes d'adsorption d'eau acquises, pour des montmorillonites

saturées sodiques ou calciques, à l'état compacté, à 25°C et 42°C qui montrent une diminution de la capacité de rétention d'eau pour la Kunipia-Na avec l'augmentation de la température. Ces données sont confrontées à des modèles thermodynamiques sur l'hydratation des argiles pour expliquer le comportement macroscopique des argiles sous l'effet de la température. L'interprétation de ces résultats suggère que la température impacte principalement le gonflement cristallin des smectites sodiques et calciques pour des milieux compactés ($> 1,2 \text{ g/cm}^3$). Les différences mesurées entre ces matériaux sont potentiellement liées à une affinité à l'eau différente des cations Na^+ et Ca^{2+} avec la température. L'hypothèse que la diminution de la pression cristalline avec la température explique la baisse observée de la pression de gonflement est renforcée par le fait que la température induit une légère augmentation de la pression osmotique.