

INTEGRATION DE LA GEOLOGIE DE SUBSURFACE DU BASSIN DE MONS (BE) DANS LE TRAITEMENT DES ACQUISITIONS EN SISMIQUE REFLEXION

CAMPEOL Quentin¹, MIQUELIS Florian², HANOT Franck², DUPONT Nicolas¹, KAUFMANN Olivier¹

¹ University of Mons, Faculty of Engineering, Department of Geology and Applied Geology, 9, rue de Houdain, 7000 Mons, Belgium. Nicolas.dupont@umons.ac.be, Olivier.kaufmann@umons.ac.be, Quentin.campeol@umons.ac.be,

² CDP Consulting, 7, Boulevard Chanzy, 41000, Blois, France.
f.miquelis@cdpconsulting.fr, f.hanot@cdpconsulting.fr

RESUME

Dans la région transfrontalière franco-belge, les variations rapides de vitesses et d'épaisseurs des terrains lents en subsurface impactent l'imagerie sismique réflexion 2D des réservoirs géothermiques profonds. Ce travail vise à améliorer le calcul des corrections statiques et les modèles de vitesse de sommation en intégrant l'effet des terrains méso-cénozoïques. Ces corrections contribuent à améliorer la sommation des réflecteurs profonds et leur migration.

Mots clés : *sismique réflexion, correction statique enterrée, valorisation de données géophysiques, Bassin de Mons*

ABSTRACT

In the France-Belgium border region, rapid thickness and velocity variations of slow subsurface deposits have an impact on 2D seismic reflection imaging of deep geothermal reservoirs. The aim of this work is to improve the calculation of static corrections and summation velocity models by integrating the effect of Meso-Cenozoic deposits. These corrections help to improve the summation of deep reflections and their migration.

Key words: *seismic reflection, deep-seated static correction, data enhancement, Mons Basin*

INTRODUCTION

En Wallonie, la région transfrontalière franco-belge, située à proximité le long du front varisque, est la principale zone où les ressources géothermiques profondes sont prouvées [**Petitclerc and Vanbrabant 2011**]. La ressource géothermique y est située dans le réservoir des calcaires carbonifères. Néanmoins, de nombreuses incertitudes persistent quant à l'extension et la caractérisation de cet aquifère en profondeur.

Pourtant, cette vaste zone d'étude dénombre plusieurs campagnes de sismique réflexion comme Boulogne-Maubeuge (1979-82), BELCORP1986, Hainaut1979, Mons2012 et Hainaut2019. Cependant, l'interprétation de l'imagerie sismique 2D le long du front varisque reste difficile du fait de la faible qualité des sections. En effet, de nombreux facteurs géologiques et anthropiques compliquent l'acquisition et les traitements sismiques [**Dupont, 2021**].

Dans ce travail, l'impact des dépôts méso-cénozoïques du Bassin de Mons, dont l'épaisseur varie fortement, est examiné. Leurs effets sur les corrections statiques et les modèles associés de vitesse de sommation ont été étudiés au travers du retraitement de lignes de la campagne Hainaut2019.

Contexte géologique de la zone d'étude

Dans la partie nord de la région transfrontalière du Hainaut franco-belge, les dépôts du Carbonifère inférieur du Parautochtone brabançon sont peu déformés et affleurent par endroits. Vers le sud, les terrains paléozoïques sont fortement déformés au sein de l'Allochtone ardennais et d'écaillés tectoniques. La zone située entre les unités allochtone et parautochtone est caractérisée par une série de failles de chevauchement dont un accident principal, la Faille du Midi [**Belanger et al. 2012**].

Au centre de la région, ces unités sont recouvertes par des formations méso-cénozoïques plus jeunes formant l'unité du Bassin de Mons. Cette structure en bassin est étirée sur une quarantaine de kilomètres selon une direction est-ouest et s'étend en moyenne sur une dizaine de kilomètres du nord au sud. L'épaisseur très variable des dépôts peuvent atteindre jusque 400 m par endroits et sa base se caractérise par une géométrie singulière constituée de "cuves" et de "dômes" témoignant du résultat d'un processus de subsidence karstiques et tectoniques complexe [Dupont 2021].

Cette géologie particulière de subsurface qui comporte *a priori* des terrains plus lents que ceux des terrains encaissants du Paléozoïque a été représentée sur la coupe géologique détaillée le long d'un profil sismique à la fig. 1. Pour ce faire, les cartes géologiques et géotechniques, ainsi que des sondages belges et français projetés le long des profils (également représentés sur la fig. 1) ont été employés. Cette coupe géologique permet d'illustrer la géologie superficielle et les faciès rencontrés le long de la direction des lignes afin de, par exemple, situer les zones de plaine alluviale où la concentration en alluvions est importante, les poches de sable et de craie ainsi que les limites des unités structurales principales (Bassin de Mons, Parautochtone et Allochtone).

Problématique régionale concernant l'imagerie sismique

Ce contexte géologique complexe impacte fortement l'imagerie sismique et limite le potentiel et l'intérêt des acquisitions. De prime abord, les structures fortement plissées et accidentées rencontrées dans les terrains de l'Allochtone ardennais représenteraient le principal défi pour l'imagerie sismique. Dans les faits, cette imagerie rencontre également des difficultés dans les terrains plus tabulaires du Parautochtone brabançon. En effet, une perte quasi totale du signal est enregistrée dans la zone située au nord de l'émergence de la Faille du Midi sur chacun des profils sismiques 2D des campagnes d'acquisition citées ci-avant.

Selon [Dupont 2021, Dejonghe et al. 1992], cette incapacité à imager correctement les structures profondes situées sous le Bassin de Mons tirerait son origine de la présence en profondeur d'un nombre important d'anciennes exploitations minières et d'une zone fortement urbanisée. Néanmoins, ces deux critères ne sont pas systématiquement rencontrés dans la zone où la qualité des sections sismiques diminue.

Une autre hypothèse étudiée ici est l'influence des terrains méso-cénozoïques superficiels du Bassin de Mons qui engendrerait des problèmes importants de statique et de modélisation des vitesses de sommation sous le *datum* sismique (DP). La présence de ce bassin créerait notamment d'importantes erreurs lors de l'addition entre les rais sismiques ayant traversés, ou non, ces terrains. En effet, la morphologie du Bassin de Mons dont les bordures présentent un fort pendage, ainsi que les forts contrastes de vitesses observés entre les formations méso-cénozoïques du Bassin de Mons et les formations paléozoïques sous-jacentes entraînent des difficultés d'addition dans un traitement en temps classique. La profondeur (oscillant entre la surface et 400 m de profondeur) et la géométrie du Bassin de Mons entraînent une double difficulté dans une approche conventionnelle d'un traitement sismique. Ce problème, déjà observé et étudié dans d'autres contextes géologiques [Miquelis et al., 2016 ; Miquelis et al., 2019], a montré que ces difficultés d'addition ne pouvaient être palliées par des approches de traitement de type PSDM ou FWI, principalement en raison de la tranche de profondeur (faible profondeur/courts offsets) des séries géologiques présentant ces importants contrastes de vitesses. De même, une approche conventionnelle des corrections statiques de surface intégrant LVL, carottages VT ou encore pointé de first breaks, ne permet pas en général de corriger de manière satisfaisante ces contrastes de vitesses. Cela est d'autant plus vrai dans les zones où la profondeur du Bassin de Mons tend à augmenter ou encore sur les zones de bordure du Bassin où la densité des points de contrôle ne permet pas systématiquement d'en préciser la géométrie.

Ces problèmes nécessitent alors d'aborder le traitement sous un autre angle, en essayant d'y intégrer un modèle géologique de vitesse du bassin de Mons sous forme de corrections statiques « profondes » dont la méthode a pu déjà prouver son apport dans des contextes équivalents.

Intégration multiphasée de la géologie de surface dans les étapes de traitement

La construction du modèle de corrections statiques primaires suit une démarche itérative et innovante dans le secteur d'étude, basée sur l'étude géologique détaillée des profils et sur l'analyse de stacks à vitesse constante (CVS), mise en œuvre récemment dans des configurations analogues [Miquelis et al., 2019 ; Do Couto et al., 2024].

Dans un premier temps, une approche classique des corrections statiques [Hanot et al., 1992] vise à corriger les variations de vitesse de proche surface à la faveur d'un modèle géologique multicouche intégrant l'ensemble des informations disponibles (cartes géologiques, forages, LVL). Cette approche permet notamment de maîtriser les poches lentes que peuvent constituer certains dépôts superficiels (poches de sable, alluvions et colluvions, tourbières, etc.). Elle permet également une correction de moyenne longueur d'onde par l'intégration de la partie superficielle des dépôts crayeux du Bassin de Mons dans la limite des profondeurs bien représentée par les forages existants (une centaine de mètres en moyenne).

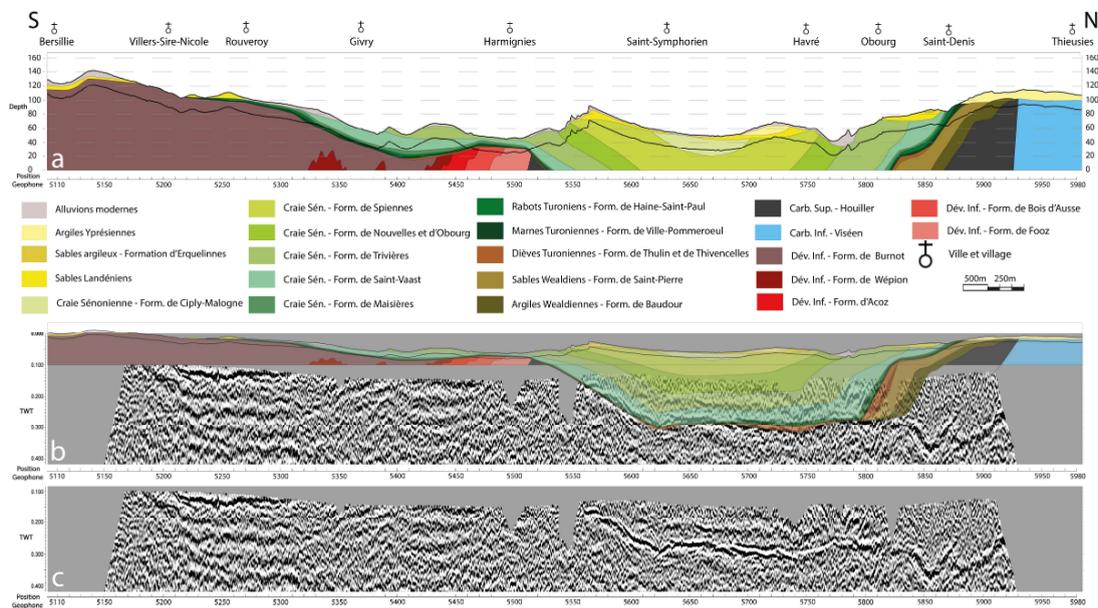


Fig. 1 – Coupe géologique réalisée le long du profil 1905 de la campagne Hainaut2019 (a). Sections sismiques obtenues après addition à vitesse de sommation constante de 2500 m/s en vis-à-vis (b) ou non (c), de la coupe géologique prolongée jusque la base du Bassin de Mons.

Dans un deuxième temps, la mise à jour du modèle de corrections statiques « profondes » vise à intégrer les hétérogénéités verticales et latérales qu'engendrent des dépôts crayeux profonds du Bassin de Mons. Ces statiques « profondes » s'appuient sur une cartographie précise le long des profils 2D de la partie basale du bassin de Mons ainsi que sur les vitesses associées des formations géologiques le caractérisant. Cette étape s'appuie à la fois sur les données de forages rencontrant le toit du Paléozoïque et l'analyse des stacks à vitesses constantes (CVS) mettant en évidence des réflecteurs s'apparentant aux bases du Thanétien et du Mésozoïque du Bassin de Mons (cf. fig. 1). Cette approche a également permis d'observer une différence significative dans les vitesses de tranches de la craie mésozoïque (2500 m/s) et des sédiments thanétiens (1700 m/s) relativement aux formations encaissantes dévono-carbonifères (4000 m/s). De ce travail a donc résulté le calcul de statiques profondes appliquées aux positions points de tirs et géophones, en sus des corrections statiques de surface initialement calculées.

Appliqué à la ligne L1905 et L1903, la construction de ce type de modèle statique a permis d'améliorer fortement le résultat. Sa comparaison avec les stacks construits sur base d'un modèle

topographique avec d'une vitesse de correction unique et d'un modèle reprenant les résultats d'une campagne LVL a permis d'illustrer les zones où la géologie de surface détériore le signal.

Cette approche a permis également d'affiner l'approche des vitesses NMO et de migration et de renforcer la qualité de l'addition. En effet, la construction du modèle de vitesse de sommation s'est à nouveau basée sur l'analyse des CVS et sur les données de forages en accordant une attention particulière à la cohérence du modèle de vitesse avec la géologie profonde et de subsurface. Notamment, les variations d'épaisseur de sables et de craies ont démontré un impact clair sur le champ de vitesse en profondeur et leur prise en compte permet de récupérer la continuité de certains réflecteurs. Il apparaît également que la création d'un tel modèle de vitesse limite l'introduction de bruits de migration lié à des lois de vitesses mal affinées.

CONCLUSIONS

L'objectif principal étant la valorisation des données de sismique réflexion, la prise en compte de la géologie de surface dans les étapes préliminaires de traitement a prouvé son intérêt suite à une nouvelle qualité d'imagerie bien supérieure à celle résultant des anciens traitements. Ces étapes généralement fortement simplifiées, se justifient pleinement ici puisque les faciès sismiques sont bien mieux exprimés sur l'image obtenue. Certains réflecteurs apparaissent d'ailleurs pour la première fois sous le Bassin de Mons tandis que ceux déjà apparents dans les anciens traitements sont désormais plus continus et sur une plus large distance. C'est pourquoi finalement, la prise en compte de la géologie de proche surface est primordiale puisqu'elle permet d'améliorer grandement les résultats après sommation et migration.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BELANGER I., DELABY S., DELCAMBRE B., GHYSEL P., HENNEBERT M., LALOUX M., MARION J., MOTTEQUIN B., PINGOT J., 2012 - *Redéfinition des unités structurales du front varisque utilisées dans le cadre de la nouvelle Carte géologique de Wallonie (Belgique)*. *Geologica Belgica*, 15, 169-175.

DEJONGHE L., DELMER A., HANCE L., 1992 - *Les enseignements d'une campagne sismique conduite en Belgique, dans le Hainaut, selon l'axe Erquelines-Saint-Ghislain*. *Ann. Soc. Géol. Nord*, 1(2) :135-142.

DO COUTO D., CUSHING E.M., MOCOCHAIN L., RUBINO, J-L, MIQUELIS F., HANOT F., FROMENT, B. GELIS C., CAMUS H., BAGAYOKO N., BELLIER O., 2024- *Messinian canyons morphology of the Rhône and Ardèche rivers (south-east France): new insights from seismic profiles*. *BSGF- Earth Science Bulletin* 2024, 195, 19

DUPONT N., 2021 - *Analyse de la structure du socle paléozoïque hainuyer. Implications sur les caractéristiques des réservoirs profonds*. Thèse de Doctorat, Université de Mons, Faculté Polytechnique Service de Géologie Fondamentale et Appliquée, Belgique, 374 pp.

HANOT F., 1992 - *Seismic applications of a Paris Basin shallow geology databases*. *FIRST BREAK VOL 10, NO 5, MAY 1992/175*

MIQUELIS F., HANOT F., VICELLI J., PICORNELL V., 2016 - *Diagénèse de la Craie: application sismique*. *RST Caen*.

MIQUELIS, F., POULIQUEN, S., HANOT, F., 2019- *Apport de la modélisation géologique de corrections statiques profondes dans le traitement sismique en ondes P dans un contexte de paléo-canyon* . *Journées scientifiques de l'AGAP Qualité*

PETITCLERC E., VANBRABANT Y., 2011 - *Développement de la plate-forme Géothermique de la Wallonie. Rapport final. Rapport public*. Direction Générale Opérationnelle de l'Aménagement du territoire, du Logement, du Patrimoine et de l'Energie (DGO4) Département de l'Energie. Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Service Géologique de Belgique, 228 pp.