Synthèse des données de sondage et des données gravimétriques depuis l'Avesnois jusqu'au méridien de Lens : résultats préliminaires

Bruno MINGUELY (1)
Jean-Louis MANSY (1)
Franck HANOT (2)
Michel EVERAERTS (3)
Frédéric LACQUEMENT (2)
Olivier AVERBUCH (1)

Synthesis of borehole and gravimetric data between Avesnois and the meridian of Lens: preliminary results

Géologie de la France, n° 1-2, 2006, pp. 93-98, 2 fig.

Mots-clés : Puits forage, Anomalie gravimétrique, Tectonique inversion, Carte isoplèthe, Paléozoïque, Carte isopaque, Cénomanien, Turonien, Département du Nord, Pas-de-Calais

Key words: Boreholes, Gravity anomalies, Inversion tectonics, Isopleth maps, Paleozoic, Isopach maps, Cenomanian, Turonian, Nord France, Pas-de-Calais France

Abstract

The aim of this study is to expose the preliminary results concerning boreholes and gravimetric data synthesis from the Avesnois to the meridian of Lens. Our study shows two types of results, the first one is linked to methodology and the second one to geology. Gravimetric and boreholes can be used to emphasize geological structures and lithological changes in rocks. These data must be used cautiously because they may be the cause of several mistakes in interpretation. Our boreholes data show that the well known Artois – Boulonnais inversion structure is probably extended in the south of the Arras – Cambrai Line. The beginning of the inversion phenomenon is not of post - Cretaceous - Tertiary age but seems to be of lower to middle Turonian age. In the west part of the Cambresis area, gravimetric data show a negative anomaly which seems to be in line with three segments. In the Lens – Douai – Valenciennes and Bapaume segments, this gravimetricanomaly comes from namuro-westphalian basins. However, rocks which have caused the anomaly in the third Arras – Cambrai segment remain to be determined.

Introduction

Le Massif ardennais, affleurant en Belgique, plonge sous la couverture méso-cénozoïque au niveau de l'Avesnois. C'est une zone qui a été peu étudiée contrairement au domaine Artois–Boulonnais dont la structuration est bien connue de par les nombreuses études récentes et les différentes campagnes géophysiques des compagnies pétrolières réalisées de 1961 à 1975 (CFP (M) *et al*., 1965).

Au niveau de Lens, les structures de la zone faillée du Midi changent d'orientation. Elles passent d'une orientation N110°-N130° (Bonte, 1969 ; Lamarche *et al*., 1996 ; Everaerts et Mansy, 2001 ; Mansy, 2003 ; Mansy *et al.*, 2005) à une orientation quasi E-W (Becq-Giraudon, 1983) et ne semble pas montrer l'héritage structural présent plus à l'ouest.

Pour mettre en évidence la structuration du Paléozoïque et de sa couverture, plusieurs outils géologiques et géophysiques sont combinés (données de sondages, cartes d'isovaleurs (isohypses et isopaques), cartes d'anomalies gravimétriques), afin de discuter de leurs limites et voir les premiers résultats qu'ils apportent.

Données de sondages

En France, les données de sondages sont recueillies et stockées par le BRGM afin de sauvegarder l'ensemble des informations acquises lors des réalisations de forages. La saisie numérique de ces données est une vaste opération qui a débuté il y a environ 5 ans et qui doit aboutir à la valorisation de toutes les données de sondage

(1) USTL, bât. SN5, 59655 Villeneuve d'Ascq cedex, France. bruno.minguely@ed.univ-lille1.fr
(2) BRGM, 3 avenue Claude Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans cedex 2, France
(3) Observatoire royal de Belgique (ORB), avenue Circulaire, 3, B 1180 Bruxelles, Belgique

de la Banque du Sous-Sol (BSS), avec, en particulier, la réalisation de cartes d'isovaleurs, de coupes et si possible d'un modèle géologique 3D.

Pour la zone d'étude, les sondages de référence utilisés ont d'abord été choisis parmi les quelques 45 000 sondages présents dans la BSS Nord–Pas-de-Calais et dans la banque de données du Service Géologique de Belgique. La sélection des sondages s'effectue sur la base d'une série de critères, qui vont, par exemple de la profondeur du sondage, à la qualité de sa description jusqu'aux formations géologiques rencontrées. Les sondages sont ensuite saisis niveau par niveau et normalisés par trois lexiques. Ces lexiques sont utilisés pour codifier la stratigraphie, le nom de la formation et la lithologie prédominante dans le niveau rencontré. Ils permettent d'une part de garder une certaine homogénéité, lors de la saisie, au sein des différentes régions et, d'autre part, ils offrent à l'utilisateur la possibilité d'effectuer des requêtes sur la base de données. Certains horizons particuliers, n'ayant aucune valeur stratigraphique (les toits et les murs des formations, les failles), sont aussi codifiés.

Pour les cartes proposées ici, 1 548 sondages ont été utilisés pour une surface totale de 8000 km^2, soit environ 5 sondages par kilomètre carré (fig.1A). La répartition n'est pas homogène notamment au sud de la zone d'étude. Ce problème est simplement dû au fait que la sauvegarde des données s'effectue par région administrative. Les données au sud de Bohain, appartenant à la Région picarde, ne sont pas utilisées.

L'un des problèmes inhérents à l'utilisation de ce type de données est la qualité de la description lithostratigraphique des niveaux rencontrés. Dans le Nord–Pas-de-Calais, les données ont parfois plus de cent ans et n'ont souvent pas été décrites par un géologue lors de la réalisation du sondage. Des problèmes de calage et de dénomination des horizons et des niveaux arrivent donc fréquemment. Même si les données sont réinterprétées avant la saisie dans la base de données, il faut être prudent lorsqu'on les manipule.

À partir de ces sondages, quatre cartes ont été réalisées. La première est la carte de profondeur du toit du Paléozoïque (fig. 1B), intégrant les sondages belges. Une telle carte a déjà été proposée en 1965 (CFP *et al.*, 1965). Elle n'était cependant pas aussi précise et ne montrait ni les courbes d'isovaleurs au niveau de l'Avesnois, ni la continuité avec la Belgique. Sur cette carte, nous retrouvons le plongement du massif ardennais vers l'Ouest. On remarque aussi un bassin centré sur Douai qui est délimité par le dôme du Mélantois au nord et par une culmination du Paléozoïque au sud. Cette culmination sépare deux zones où le toit du Paléozoïque s'enfonce et semble être dans la continuité des collines de l'Artois (à l'ouest de Lens, Celet, 1969). Au nord-ouest, nous remarquons l'extrémité sud-est du Bassin de Flandres. Il est dissocié du bassin centré sur Douai par une petite remontée du toit du Paléozoïque alignée sur le linéament Carvin–Lens. Enfin, au nord-est, la carte montre le Bassin de Mons et sa continuité en France (au nord de Valenciennes). Les structures ont des orientations WNW-ESE, comparables à celles du domaine Artois–Boulonnais. On peut aussi noter que certaines s'orientent NE-SW. Ce n'est qu'au niveau du Bassin de Mons que l'on observe un changement dans ces orientations. Elles deviennent quasiment est-ouest.

La carte des isopaques du Cénomanien montre un épaississement général de la série vers le SSW (fig. 1C). Entre Arras et Bapaume, on note une nette variation d'épaisseur d'environ 20 à 30 m. Après vérification des sondages, ce n'est pas un artefact, il ne semble pas y avoir d'erreur dans les limites stratigraphiques choisies. Cette zone se situe au niveau d'un changement d'orientation des courbes du toit du Paléozoïque, à l'est d'Arras. Un épaississement léger est aussi à noter à l'est de Douai (environ 10 à 20 m). Cette variation correspond à l'approfondissement maximum du bassin, centré sur Douai, vu sur la carte du toit du Paléozoïque. La formation du bassin est donc contemporaine du dépôt du Cénomanien. On remarque la même chose à l'extrémité occidentale du bassin de Mons (nord-est de Valenciennes) ou deux maxima d'épaisseur s'individualisent. Cependant, seule la partie ouest s'effondre. Sur cette carte, nous ne retrouvons pas les grandes structures misent en évidence sur les isohypses du toit du Paléozoïque en Artois. Le jeu des failles est donc postérieur à cette série.

La carte des isopaques du Turonien moyen-inférieur est plus intéressante (fig. 1D). Elle montre un épaississement conséquent (40 à 50 m) sur la bande de Lens–Cambrai. Cette bande peut-être suivie vers le nord-ouest jusque Guînes. Elle est une nouvelle fois orientée WNW-ESE. L'épaississement est localisé juste au nord des structures de l'Artois (culmination du Paléozoïque) dont le prolongement, jusqu'à l'ouest de Cambrai, est confirmé par cette carte. Il faut donc prendre en compte l'existence (ou la continuation) d'une (ou plusieurs) faille depuis Arras jusque Cambrai. Il y a deux hypothèses pour expliquer cette structure. La première consiste en un jeu normal des failles de l'Artois. Le bloc au nord s'effondre permettant le dépôt syn-sédimentaire du Turonien moyen-inférieur. Cette hypothèse paraît peu probable aux vues de la géométrie des failles de l'Artois qui sont plutôt à vergence nord. La deuxième hypothèse est que le bloc sud serait surélevé par une ou plusieurs failles inverses. Ce phénomène d'inversion, connu au niveau de l'Artois, serait contemporain ou postérieur au dépôt du Turonien. D'après les cartes géologiques, le Turonien moyen-inférieur est à l'affleurement dans l'Artois. En revanche, il est recouvert par le Turonien supérieur au nord-est d'Arras. Le fait qu'il soit recouvert par le Turonien supérieur et que l'on observe quand même la variation d'épaisseur suggère qu'il y ait soit surrection puis érosion du Turonien moyen-inférieur avant le dépôt du Turonien supérieur soit surrection pendant le dépôt. La deuxième solution semble plus logique. La surrection de la série est donc contemporaine de son dépôt. La phase d'inversion ne serait pas exclusivement post-Crétacé-Tertiaire (Gosselet, 1908 ; Delattre, 1969 ; Mansy et Lacquement, 2002) mais débuterait au Turonien moyen -inférieur. C'est aussi durant cette période que le remplissage du bassin centré sur Douai est le plus

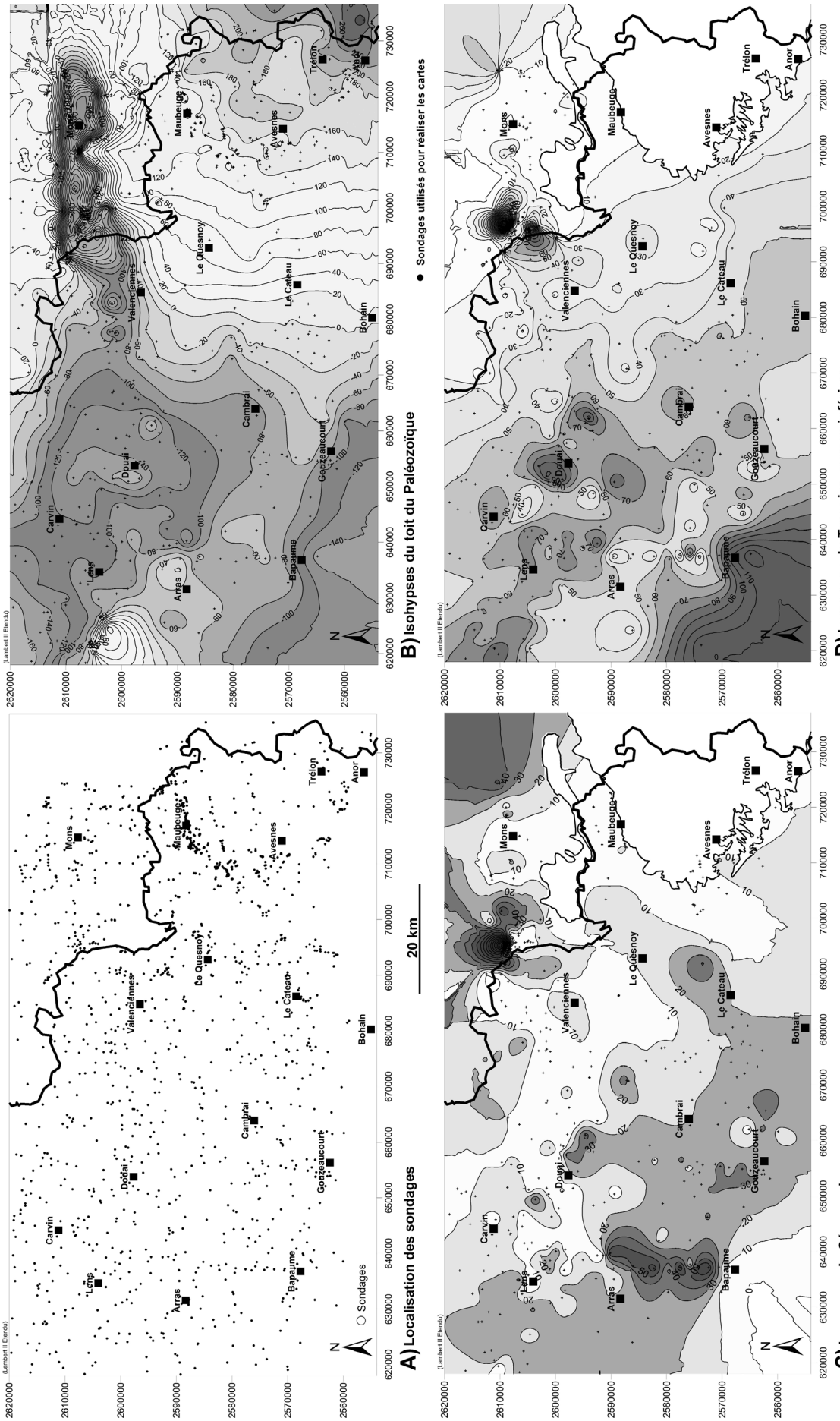

Fig. 1.- A) Localisation et répartition des sondages. B) Isohypses du toit du Paléozoïque. C) Isopaques du Cénomanien. D) Isopaques du Turonien moyen-inférieur.

Fig. 1.- A) Boreholes location and distribution; B) Top of Palaeozoic isohypses; C) Cenomanian isopachs; D) Lower to middle Turonian isopachs.

important. De la même manière qu'au Cénomanien, il n'y a que la partie ouest du Bassin de Mons qui semble s'affaisser. Ces deux bassins qui semblent liés d'après la carte du toit du Paléozoïque, ne connaissent pas la même évolution.

Un fait intéressant est que la majeure partie des structures visibles d'après ces différentes cartes, ont les mêmes orientations que les structures connues et bien décrites en Artois (ligne Arras–Cambrai, bord sud du Mélantois, …). Cependant, c'est aussi au niveau de cette zone que s'effectue le changement d'orientation E-W des structures visibles depuis le Bassin de Mons jusqu'en Belgique (fig. 1B). Pour l'instant, nous n'avons pas d'élément permettant de contraindre ce changement.

Données gravimétriques

Les données gravimétriques ont été compilées par M. Everaerts de l'Observatoire royal de Belgique. Il s'agit de la carte de l'anomalie de Bouguer et des cartes du gradient vertical et horizontal (méthodes de filtrage des données). La méthode du gradient horizontal permet de localiser la limite des blocs de densités différentes et donc la position des failles éventuelles. Une carte du gradient horizontal se lit comme une carte structurale. Le gradient vertical agit, quant à lui, comme un filtre passe haut et amplifie les hautes fréquences ce qui permet d'atténuer voire de supprimer la composante régionale du champ. Elle se lit comme une carte de Bouguer classique mais elle fait ressortir, avec plus de précision, les lithologies proches de la surface, à l'origine masquée par la couverture sédimentaire (Everaerts et Hennebert, 1998 ; Everaerts et Mansy, 2001).

La gravimétrie est une méthode d'analyse indirecte qui utilise les densités pour mettre en évidence leur structuration. L'une des limites de la gravimétrie est que la représentation finale que nous obtenons est le résultat des effets combinés de plusieurs ensembles de roches de densités, de formes, d'épaisseurs et de profondeurs différentes. Il faut alors essayer de déterminer quelle est la part de chaque ensemble géologique dans l'anomalie. Le filtrage des anomalies permet d'amplifier ou d'atténuer certains de ces effets. La gravimétrie doit donc être utilisée avec précaution. Les informations qu'elle apporte sont essentielles mais les erreurs d'interprétation peuvent être multiples.

La partie nord des cartes de l'anomalie de Bouguer et du gradient vertical et horizontal (fig. 2 A, B, C) ont fait l'objet d'études précises (Debeglia et Didoski, 1981 ; Everaerts et Hennebert, 1998 ; CFP *et al.*, 1965). Nous préférons nous concentrer sur la partie sud. L'Avesnois ne ressort pas au niveau des cartes gravimétriques même si le Carbonifère inférieur et le Dévonien supérieur sont à l'affleurement (fig. 2 A, B, C, D), le contraste de densité avec les roches environnantes n'est pas assez élevé. On note cependant l'approfondissement du Paléozoïque (l'épaississement des séries méso-cénozoïques) sur les courbes d'isovaleurs de Bouguer. Plus au sud, le massif de Rocroi ressort bien sur les différentes cartes. Ceci est dû aux roches cambriennes denses qui sont à l'affleurement. La carte du gradient horizontal ne présente pas d'élément marquant. Elle montre plusieurs linéaments (jaune et vert) qui correspondent à des failles ou des contacts stratigraphiques de faible extension latérale.

La carte de Bouguer montre aussi une anomalie négative qui semble se segmenter en trois linéaments (Lens–Douai–Valenciennes ; Arras–Cambrai et sud de Bapaume) dont l'orientation varie entre E-W et N130°. En comparant cette carte avec celle du toit du Paléozoïque, on note que cette anomalie ne correspond pas au bassin centré sur Douai mis à part au niveau de Douai. L'origine de cette anomalie n'est donc pas le remplissage du bassin. C'est la nature du Paléozoïque sous-jacent qui est prépondérante. Sur la carte du gradient vertical (fig. 2C), on remarque que cette anomalie est nettement moins marquée sauf pour les axes de Lens–Douai–Valenciennes et celui au Sud de Bapaume. L'anomalie sur le linéament Lens–Douai–Valenciennes est liée à l'effet combiné du Bassin houiller avec ses puissantes séries namuro-westphaliennes, peu denses (fig. 2D) et au remplissage du bassin à l'aplomb de Douai (fig. 1B). Pour celui au sud de Bapaume, elle correspond aussi à un bassin namuro-westphalien mais de plus faible extension. Pour le dernier linéament (Arras–Cambrai), seules quelques faibles anomalies négatives alignées restent visibles. D'après la carte géologique, elles ne sont pas liées à des bassins (fig. 2D). Leurs origines restent encore à déterminer. Néanmoins, les roches responsables de l'anomalie doivent être d'une part de faible densité (par rapport aux séries environnantes du Dévonien inférieur et Carbonifère inférieur), pour créer l'anomalie négative et d'autre part, peu épaisses (proche de la surface) puisque non visibles sur la carte du gradient vertical.

Conclusions et perspectives

Les conclusions sont de deux ordres, méthodologiques et géologiques. Les sondages et les données gravimétriques permettent de mettre en évidence les structures, leur évolution ainsi que les changements lithologiques du socle Paléozoïque et de sa couverture. Il faut cependant rester prudent vis-à-vis des résultats. Comme nous l'avons dit, ces données peuvent être la source de plusieurs erreurs d'interprétation.

Les données de sondages et plus exactement les variations d'épaisseur des séries montrent que l'inversion tectonique connue au niveau de l'Artois se prolongerait au sud-est d'Arras. Elle ne serait pas datée exclusivement post-Crétacé-Tertiaire mais débuterait au Turonien moyen- inférieur.

Les données gravimétriques soulignent une zone d'anomalie négative qui semble s'orienter selon trois segments. Ces anomalies sont en grande partie dues à la nature du socle Paléozoïque, c'est-à-dire à la présence de bassins namuro-westphaliens dont les sédiments ont des densités plus faibles que celles environnantes (axes Lens–Douai–Valenciennes et sud de Bapaume). Pour l'axe Arras–Cambrai, les roches responsables de l'anomalie sont encore à déterminer.

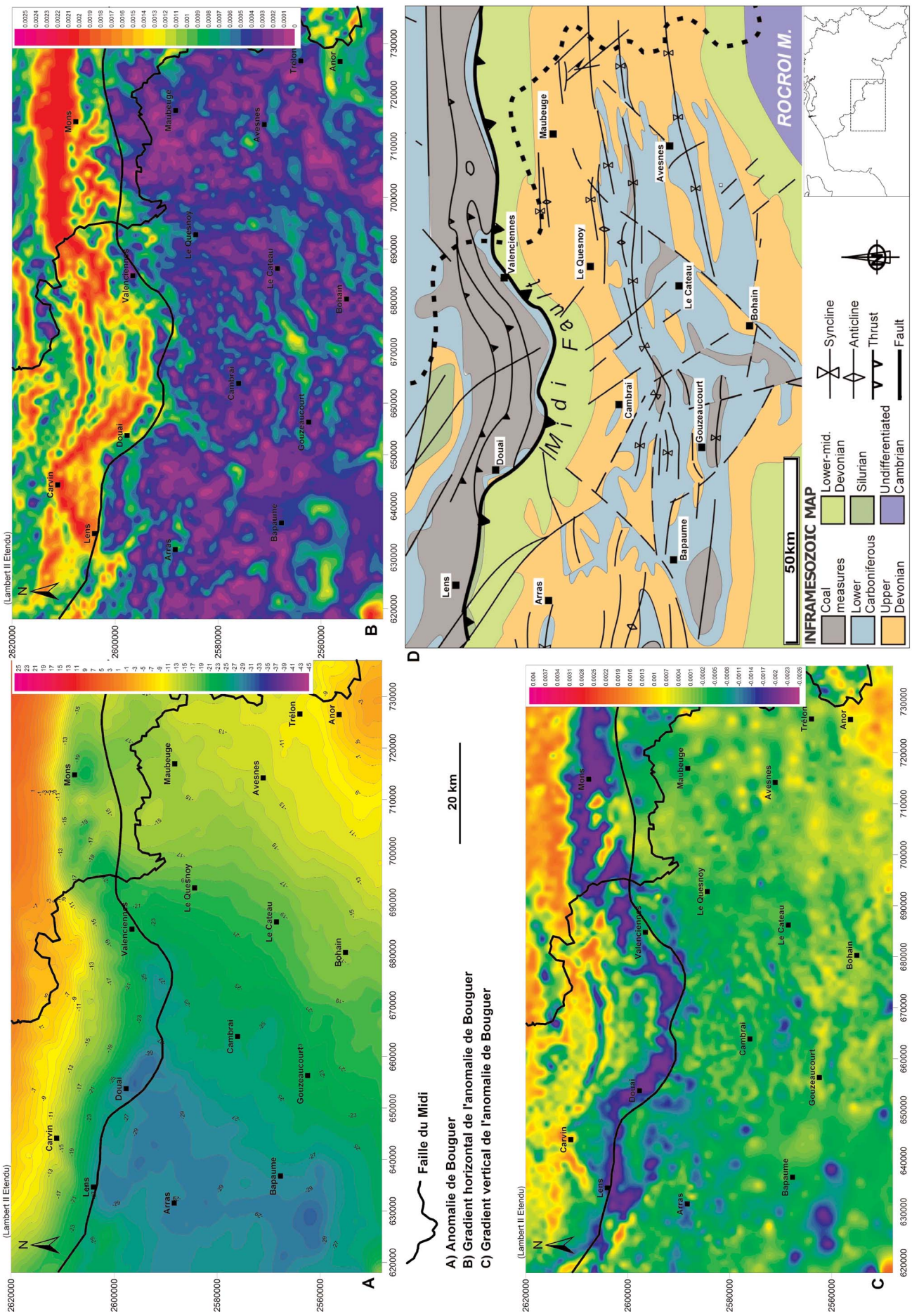

Fig. 2.- A) Anomalie de Bouguer ; B) Gradient horizontal de l'anomalie de Bouguer ; C) Gradient vertical de l'anomalie de Bouguer ; D) Ecorché géologique infra-mésozoïque d'après CFP *et al.*, 1965.

Fig. 2. - A) Bouguer anomaly; B) Bouguer anomaly horizontal gradient; C) Bouguer anomaly vertical gradient; D) Inframesozoic map (CFP et al., *1965).*

L'étude de plusieurs profils sismiques est prévue. Elle devrait permettre de compléter les hypothèses émises ici et de répondre du changement d'orientation des structures. Ces profils seront ensuite comparés et replacés par rapport au profil sismique M146 déjà étudié par Lacquement *et al.* (1999). Des nouvelles données de terrains ont aussi été acquises récemment pour préciser la structuration et l'évolution du Paléozoïque de l'Avesnois. Des coupes seront bientôt disponibles et viendront contraindre la partie est de la zone d'étude.

Cette note s'inscrit directement dans le projet Référentiel Géologique de France (BRGM), projet à plus grande échelle dont le but est la réalisation d'un modèle géologique 3D du Nord de la France.

Références

Becq-Giraudon J.F. (1983) - Synthèse structurale et paléogéographique du Bassin Houiller du Nord. Editions BRGM, Orléans.

Bonte A. (1969) - Le Boulonnais. *Ann. Soc. géol. Nord* **LXXXIX** (1er trimestre), 23-46.

Celet P. (1969) - Géologie du Cambrésis et régions environnantes. *Ann. Soc. géol. Nord* **LXXXIX** (1er trimestre), 91-102.

CFP (M), C, RAP et SNPA (1965) - Contribution à la connaissance des bassins paléozoïques du Nord de la France. *Ann. Soc. géol. Nord.* **LXXXV**(3), 273-283.

Debleglia N., Didoski M. (1981) - Synthèse Nord–Pas-de-Calais, Interprétation gravimétrique. BRGM.

Delattre C. (1969) - Les grands traits géologiques de l'Artois. *Ann. Soc. géol. Nord* **LXXXIX** (1er trimestre), 79-90.

Everaerts M., Hennebert M. (1998) - Interprétation géologique des données gravimétriques de la zone frontalière franco-belge, entre Bailleul et Beaumont. *Ann. Soc. géol. Nord,* **6**(**2**), 55-63.

Everaerts M., Mansy J.L. (2001) - Le filtrage des anomalies gravimétriques ; une clé pour la compréhension des structures tectoniques du Boulonnais et de l'Artois (France). *Bull. Soc. géol. Fr.,* **172(3)**, 267-274.

Gosselet J. (1908) - Note sur quelques failles communes aux terrains crétacique et houiller de l'Artois. *Ann. Soc. géol. Nord,* **37**, 80-109.

Lacquement F., Mansy J.L., Hanot F., Meilliez F. (1999) - Retraitement et interprétation d'un profil sismique pétrolier méridien au travers du Massif paléozoïque ardennais (Nord de la France). *C.R. Acad Sci.,* Fr*.,* **329**, 471-477.

Lamarche J., Bergerat F., Mansy, J.L. (1996) - Tectonique plicative et cassante dans le Jurassique du Boulonnais : une histoire méso-cénozoïque polyphasée. *Ann. Soc. géol. Nord,* **4** (2ème trimestre), 171-179.

Mansy J.L. (2003) - La réactivation du socle paléozoïque au Nord-Ouest de la France. *Ann. Soc. géol. Nord.* **10(2-3)**, 135-146.

Mansy J.L., Lacquement F. (2002) - Le Paléozoïque du Nord de la France et de la Belgique. *In*: Géologues **133-134**, 7-24.

Mansy J.L., Amedro F., Auffret J.P., Guennoc P., Lamarche J., Lefevre D., Robaszynski F., Sommé J., Vidier J.P. (2005) - Carte géologique de Marquise (1/50 000). BRGM, Orléans.