

**Concours G2E
GEOLOGIE
(Eléments de correction)**

EVOLUTION D'UNE MARGE STABLE : LA MARGE GUYANAISE

Le sujet fait essentiellement appel aux parties suivantes du programme de Sciences de la Vie et de la Terre (B.O. n° 3, 26 juin 2003, Hors-Série) :

- 1.3 – *Forme et dynamique du globe terrestre ;*
- 3.3 – *Un exemple de bassin sédimentaire : une marge continentale passive ;*
- TP2 – *L'approche géophysique du globe ;*
- TP4 – *Etude de grandes structures géologiques.*

1. Questions préliminaires (8 pts/20)

1.1. Description évolution crustale des limites de plaques divergentes

- amincissement crustal et lithosphérique engendrés par l'étirement (écartement).
- augmentation du flux de chaleur, variation des vitesses sismiques, anomalie gravimétrique, en liaison avec la remontée de l'asthénosphère dans l'espace généré par l'étirement.
- subsidence tectonique (= subsidence initiale), ajustement de l'équilibre isostatique, suite à l'étirement-amincissement.
- subsidence thermique, en liaison avec le rééquilibrage thermique des péridotites. Les péridotites chaudes de l'asthénosphère se refroidissent peu à peu et s'alourdissent. Il en résulte un enfoncement qui est la subsidence thermique, beaucoup plus lente que la précédente.
- substratum découpé en blocs séparés les uns des autres par des failles normales : blocs basculés.
- éventuellement, magmatisme en liaison avec la fusion partielle de l'asthénosphère.

1.2. Principes de la sismique réflexion

La sismique réflexion sert à explorer le sous-sol en profondeur. Chaque ébranlement, provoqué par une explosion (canon à air comprimé) ou par un camion vibreur, permet de repérer des réflecteurs. Ces réflecteurs sont des surfaces qui réfléchissent les ondes en liaison avec un changement des propriétés physiques (nature, densité, élasticité) du sous-sol. Ces surfaces de discontinuité peuvent être des limites de blocs crustaux, de couches sédimentaires, des zones hétérogènes au sein d'un volume rocheux, ...

Des capteurs dits géophones (ou hydrophones) disposés à la surface du sol (ou de la mer), à proximité du point d'émission détectent les ondes qui remontent en surface. Après chaque mesure, on déplace le site d'ébranlement et les capteurs. En juxtaposant les données obtenues sur une même ligne droite, on obtient un profil sismique.

L'interprétation d'un profil sismique est rendue délicate par le fait que l'on ne sait pas, a priori, quelle est la nature exacte des surfaces qui réfléchissent les ondes, ni leur profondeur précise. Les données recueillies sont les temps d'aller-retour des ondes ("temps double") qui dépendent de la vitesse de ces ondes dans les différentes roches traversées

(Fig. 2). Si l'on en a les moyens, on réalise des forages de place en place pour affiner l'interprétation des profils obtenus. On établit localement des correspondances d'une part entre surface de discontinuité et limite de terrains géologiques, et d'autre part, entre temps de double parcours et profondeur. On extrapole ensuite les résultats pour les zones situées entre les forages.

Un constat : Une coupe sismique n'est pas une coupe géologique. Il est nécessaire d'avoir des données supplémentaires pour l'interpréter.

L'idée générale est aussi de discuter de l'adaptation des moyens (en l'occurrence la fréquence du signal sismique) à la qualité du résultat que l'on recherche, ici la discrimination entre les éléments de la série étudiée. De manière plus générale, il s'agit d'évoquer la problématique du changement d'échelle. En effet, le milieu géologique est structuré selon différents niveaux d'organisation qui s'emboîtent les uns dans les autres. La notion d'échelle d'organisation est donc fondamentale. De plus, le milieu naturel est composé d'éléments hétérogènes. L'hétérogénéité est dépendante de l'échelle d'observation. Par exemple, une formation sédimentaire peut paraître hétérogène si on se place à l'échelle du banc, mais elle sera perçue comme homogène si on la considère à l'échelle du bassin sédimentaire. En d'autres termes, il faut choisir et adapter la méthode utilisée aux objectifs fixés (par exemple, mise en évidence d'un contact socle-couverture sédimentaire, discrimination au sein d'une série fluviatile de chenaux sableux (réservoirs) par rapport aux argiles de plaine d'inondation, ...).

Les Fig. 1a et 1b servent de guide pour évoquer la résolution du dispositif (relations entre fréquence d'un signal, résolution verticale et pouvoir de pénétration).

Pour appréhender les séries de la marge guyanaise (et de manière plus générale l'organisation des structures géologiques), on dispose ici de deux gammes d'outils :

- les outils diagraphiques. Ils permettent une bonne investigation à la verticale du puits (échelle du grain, du litage, du banc), mais n'ont qu'un faible rayon d'investigation dans l'environnement immédiat du puits.
- les outils sismiques. Ils présentent une investigation à l'échelle du champ, mais leur pouvoir de résolution est insuffisant pour suivre les hétérogénéités à l'échelle de la strate.

En résumé, avec une sismique, on a une investigation du sous-sol sur une très grande surface, mais avec une résolution limitée (même si la sismique pétrolière très haute résolution a fait d'énormes progrès dans ces dernières années). A l'inverse, avec une diagraphie, on a une information très détaillée en un point donné (le forage). Par contre, on ne peut pas extrapoler les données de forage à grande distance. Ces deux moyens d'investigation du sous-sol (sismique et diagraphies) sont donc complémentaires. Ainsi, la caractérisation des hétérogénéités géologiques (de toute nature !) implique une démarche résolument pluridisciplinaire (aller-retour entre géophysique et géologie dans les phases de reconnaissance et de hiérarchisation des objets géologiques) tenant compte de la nécessité du changement d'échelle.

2. Interprétation de la marge guyanaise (12 pts/20)

2.1. Description coupes sismiques

On demande l'analyse de trois coupes sismiques (AA', BB' et CC', Fig. 4).

(se limiter ici à la **description**, l'interprétation est à réserver pour les paragraphes suivants).

Il est important de noter (i) la localisation des coupes sismiques dans le contexte physiographique régional (Fig. 3), (ii) la position des coupes les unes par rapport aux autres. BB' et CC' sont parallèles entre elles, tandis que AA' est perpendiculaire aux précédentes (Fig. 3). De plus, remarquer les échelles des coupes (Fig. 4).

Pour les trois coupes, certains marqueurs sismiques sont indiqués et reportés en regard de l'échelle stratigraphique (Fig. 4).

L'analyse de détail des réflecteurs sismiques reste difficile en l'absence des marqueurs précis. De manière simple et rapide, on peut toutefois individualiser deux grandes familles géométriques :

- des ensembles de réflecteurs d'allure plus ou moins chaotique (toute la série située sous « Alb ») ;
- des ensembles de réflecteurs d'allure plus régulière, rectiligne (au dessus de « Alb »), au moins dans certaines parties des coupes.

• Coupe CC' :

La coupe CC' est localisée dans la partie la plus proximale du plateau de Demerara, sous faible bathymétrie (inférieure à 100 m) et approximativement parallèle à la ligne de plus grande pente.

Peu de volume sédimentaire produit (et/ou préservé ?) entre le socle et la base de l'Albien. Le réflecteur albien vient directement en « onlap » sur le réflecteur « socle » dans la partie orientale du profil. L'ensemble de la zone ne présente une série sédimentaire « continue », à l'échelle du profil, qu'à partir du Cénomani (donc tardivement dans l'histoire de la marge).

• Coupe AA' :

La coupe AA' est localisée dans une position intermédiaire du plateau de Demerara (bathymétries comprises entre 500 et 3000 m). Elle recoupe au SE un escarpement de faille. On peut subdiviser le profil en deux parties par rapport au marqueur « Alb » qui est continu (sauf à l'extrémité SE du profil, décalage par la dernière faille individualisée) :

- en dessous, la série est affectée par des failles obliques plutôt planes, délimitant des compartiments faillés correspondant à des blocs basculés. On remarquera la géométrie du remplissage de ces blocs (notamment les deux blocs situés à gauche du profil). On a l'image d'un bassin dissymétrique créé par le jeu de failles normales. On peut illustrer le rejet de ces failles, en se basant sur le réflecteur « socle » entre les deux compartiments faillés situés à gauche du profil. De plus, on peut voir que les réflecteurs correspondant aux couches sédimentaires ne sont pas strictement parallèles entre eux. A l'échelle de chaque bloc, et en allant du NW au SE, on constate que les réflecteurs ont tendance à se rejoindre au niveau du nez des blocs basculés. On observe aussi une disposition des couches en éventail, effet du basculement progressif des blocs. Les premiers sédiments (ici sous « Toa »), initialement déposés en position horizontale, sont les plus inclinés. Les dépôts suivant compensent progressivement le basculement des blocs crustaux. Certains réflecteurs se terminent en « toplap » sous la surface « Alb ».

- au dessus, la série sédimentaire post-albienne est continue (réflecteurs quasi horizontaux). L'allure régulière de la sismique fait penser à des dépôts homogènes (épaisse série argileuse ou carbonatée ?).

On notera l'occurrence de basaltes hauteriviens (*cf.* sondage FG2-1) interstratifiés dans la série sédimentaire.

Une autre caractéristique est la présence de « bosses » localisées dans le secteur SE de la coupe AA'. Elles se localisent au delà du plateau continental de Demerara, au niveau du talus (zone de rupture de pente, augmentation nette et sensible de la déclivité), avant d'arriver dans la plaine abyssale. Au sein de la zone des « bosses », les réflecteurs sismiques sont perturbés : perte de la continuité latérale, augmentation du pendage, allure chaotique. On pourra noter au passage que ce phénomène s'observe aussi au niveau de la coupe BB', mais de manière plus discrète, mais toujours localisé au niveau du talus.

La morphologie ondulée très accusée, engendrée par ces « bosses », est vraisemblablement à mettre en relation avec des phénomènes de déstabilisation de volumes sédimentaires sur la pente (*slumps*, coulées boueuses, glissements, éboulements de blocs,...). Ces phénomènes de grande ampleur et probablement polyphasés (nombreux événements imbriqués ?) peuvent être mis en relation avec le contexte tectonique régional : segment de la marge subissant des déstabilisations et érosions en liaison avec le jeu des failles normales et transformantes. Dans la partie tout à fait distale (plaine abyssale), on ne peut pas exclure le rôle de courants marins profonds (*turbidites*, *contourites*).

• Coupe BB' :

La coupe BB' est localisée en position distale par rapport aux précédentes. Elle se situe à des bathymétries comprises entre 1700 (plateau de Demerara) et 4300 m (plaine abyssale des Guyanes).

Comme pour AA', on peut subdiviser le profil en deux parties par rapport à « Alb ».

Ce qui frappe par rapport aux profils précédents, c'est l'allure générale des faciès anté-albiens. Ils présentent au moins localement une allure « plissée » (plis d'axe NE-SW). De la même manière, certaines failles ont une géométrie courbe.

2.2. Evolution tectonique, sédimentaire, magmatique

- Individualisation d'une histoire en deux phases principales : Trias à Aptien inclus, puis post-Albien.

- « Alb » est une surface de discordance entre la phase de remplissage syn-rift et la phase de remplissage post-rift.

- Remplissage sédimentaire en trois étapes, séparé par deux discontinuités.

- Comment interpréter la coexistence de structures extensives et compressives apparemment synchrones ? Ceci est dû à la position particulière de la marge de la Guyane française au cours de l'histoire de l'ouverture de l'Atlantique. La zone a enregistré un mouvement en décrochement (en plus de l'extension généralisée) par des failles transformantes. On peut avoir des zones où le mouvement des blocs est localement convergent, produisant des déformations par raccourcissement et soulèvement.

Remarque : la différence de style tectonique entre les coupes AA' et BB' est vraisemblablement liée à l'important décrochement ayant affecté la marge du plateau de Demerara pendant le rifting. La marge orientale (coupe AA') ne montre que des blocs basculés car elle correspond probablement à une zone distensive de « pull-apart », tandis

que la marge occidentale (coupe BB') présente des structures de transpression (« structures en fleur »). Il est probable que les failles de la partie centrale du profil BB' soient d'anciennes failles normales ayant joué en inverse durant la transpression.

Pour résumer : présence de plis et failles inverses (structures de raccourcissement), ce qui peut sembler paradoxal sur une marge extensive.

- Les émissions basaltiques hauteriviennes identifiées sur la coupe AA' correspondent non pas à l'expression magmatique du volcanisme de dorsale (la branche SE n'est pas encore active, cf. planche II) mais à du volcanisme fissural lié au rifting initial et volumétriquement restreint.

2.3. Evolution marges stables

On retrouve les trois étapes classiques de l'évolution d'une marge passive, avec :

- le stade pré-rift (situé sous le marqueur « socle ») ; ici peu ou pas de sédiments pré-rifts (signature sismique pas évidente) au dessus du marqueur du socle précambrien ;
- le stade syn-rift (qui s'étend entre le Trias et la base de l'Albien, marqueur « Alb ») ;
- le stade post-rift (au dessus du marqueur « Alb »).

2.4. Ouverture Atlantique

Les caractères physiographiques et structuraux de la marge nord-guyanaise résultent d'influences multiples, mais en particulier :

- de l'ouverture de l'Atlantique nord (ou central) du Toarcien au Callovien, avec pour conséquence un déplacement de ce qui sera le futur plateau de Demerara vers le Nord ;
- du développement au Jurassique supérieur, puis de l'extension vers le SE au Crétacé inférieur, d'un système majeur de failles NW-SE clairement assimilables à des failles transformantes à partir du Kimméridgien. Ce sont ces failles transformantes jouant le rôle de relais et de failles de transfert entre les branches nord (franchement ouverte) et sud (au stade océan étroit) qui modèleront la marge NE de l'Amérique du Sud dans la région du plateau de Demerara au début du Crétacé supérieur. Elles sont en particulier responsables des mouvements du jeu en transpression visible sur la marge NE du plateau de Demerara ;
- de l'ouverture de l'Atlantique sud, laquelle a pour conséquences, (i) un déplacement de la marge vers le sud (avec une légère rotation de celle-ci dans le sens antihoraire ?), (ii) une océanisation très affirmée conférant au plateau de Demerara un caractère de simple diverticule de marge passive, et ce, probablement dès le Maastrichtien voire même un peu avant.

La succession des dépôts littoraux fluvio-marins ou deltaïques, puis de plate-forme carbonatée-terrigène, suit la logique des séquences sédimentaires lors d'une ouverture océanique. Toutefois, la prédominance des dépôts terrigènes sur la plate-forme à partir du Crétacé supérieur traduit un changement dans le bilan sédimentaire global avec une augmentation des apports détritiques provenant de l'arrière pays.

La marge guyanaise illustre une histoire complexe de l'évolution d'une marge stable depuis un stade de rifting initial jusqu'à l'ouverture océanique.

Quelques pistes bibliographiques :

Boillot G. & Coulon C. (1998) - La déchirure continentale et l'ouverture océanique. Géologie des marges passives. - Gordon & Breach Science Ed., 1-208.

Dercourt J., Ricou L.E. & Vrielynck B. (1993) - Atlas Tethys palaeoenvironmental maps. - Gauthier-Villars Ed., 1-307, 14 cartes.

Doyle P. & Bennett M.R. (1998) - Unlocking the stratigraphical record. Advances in modern stratigraphy. - Wiley Ed., 1-532.

Gouyet S., Unternehr P. & Mascle A. (1994) - The french Guyana margin and the Demerara plateau : geological history and petroleum plays. - in « *Hydrocarbon and Petroleum Geology of France* », Mascle A. (Ed.), Springer Verlag, 411-422.

Henry G. (1997) - La sismique réflexion. Principes et développements. - Technip Ed., 1-172.

Loncke L. , Droz L., Gaullier V., Basile C., Patriat M. & Roest W. (2009) - Slope instabilities from echo-character mapping along the French Guiana transform margin and Demerara abyssal plain. - *Marine and Petroleum Geology*, 26, 711-723.