



Lithostratigraphie standardisée du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent basée sur l'étude des diagraphies

RAPPORT FINAL
INRSCO2-2013-V1.4

Par

**Félix-Antoine Comeau
Karine Bédard
Michel Malo**

Soumis au Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs

Juin 2013 – Québec

R-1442

TABLE DES MATIÈRES

PRÉAMBULE.....	5
SOMMAIRE.....	6
1. INTRODUCTION	7
1.1. Le stockage géologique du CO ₂	7
1.2. Contexte géologique	10
1.3. Problématique	14
1.4. Les diagraphies	15
1.5. Les puits types	18
2. LES DIFFÉRENTS TYPES DE DIAGRAPHIES	19
2.1. Diamètreur (<i>caliper</i>)	19
2.2. Rayonnement gamma naturel (<i>gamma ray</i>).....	20
2.3. Potentiel spontané	21
2.4. Neutron	22
2.5. Densité	23
2.6. La combinaison porosité-neutron et porosité-densité	25
2.7. Acoustique (<i>sonic</i>)	26
2.8. Effet photoélectrique (litho-densité)	28
2.9. Résistivité.....	29
3. CARACTÉRISATION DIAGRAPHIQUE DES UNITÉS DES BASSES-TERRES DU SAINT-LAURENT	32
3.1. Shale d’Utica.....	34
3.2. Groupes de Trenton/Black River/Chazy	37
3.3. Groupe de Beekmantown.....	40
3.3.1. Formation de Beauharnois.....	41
3.3.2. Formation de Theresa	42
3.4. Groupe de Potsdam	44
3.4.1. Formation de Cairnside	44
3.4.2. Formation de Covey Hill.....	45
4. CONCLUSION	47
RÉFÉRENCES	49
ANNEXE 1 - DÉTAILS DES PUITES RÉINTERPRÉTÉS	53
ANNEXE 2 - SOMMETS DES FORMATIONS DES PUITES RÉINTERPRÉTÉS	57
ANNEXE 3 - DIAGRAPHIES COMPOSITES DES PUITES RÉINTERPRÉTÉS.....	71

Préambule

Le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) a octroyé une subvention à l'INRS-ETE pour mettre en place une chaire de recherche sur la séquestration géologique du CO₂ au Québec. Le décret n° 714-2008 approuvant l'octroi a été adopté le 25 juin 2008. La subvention d'une durée de cinq ans (exercices financiers 2008-2009 à 2012-2013) provient du Fonds vert. La création de la chaire s'inscrit dans l'action 20 du Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques intitulé « Le Québec et les changements climatiques, un défi pour l'avenir ».

Les travaux de la chaire permettront d'explorer les principales options de séquestration géologique du CO₂ au Québec. Les objectifs principaux sont d'évaluer la capacité de stockage du CO₂ au Québec, de tester quelques sites pour leur potentiel de rétention du CO₂ après injection, et de former une expertise au Québec dans le domaine de la technologie du captage et de la séquestration du CO₂ (CSC). Les objectifs secondaires pour arriver à répondre aux objectifs principaux sont de: 1) faire l'inventaire des réservoirs géologiques potentiels au Québec; 2) faire l'inventaire des sources majeures d'émission de CO₂ au Québec; 3) compiler les travaux réalisés ailleurs dans le monde sur la technologie du CSC; 4) caractériser les paramètres géologiques et géophysiques des réservoirs potentiels; 5) évaluer leur capacité de stockage; 6) choisir des sites potentiels pour réaliser des essais d'injection de CO₂; 7) tester un ou deux sites avec suivi sur une période d'un à deux ans pour évaluer la capacité de rétention du CO₂ et les risques de fuite. En marge de l'atteinte des objectifs mentionnés plus haut, les travaux complémentaires concernent l'évaluation des enjeux socio-économiques de l'implantation de la technologie du CSC au Québec (lois, sécurité, etc.) et des études technico-économiques pour l'implantation d'une usine pilote.

Les cinq volets de recherche suivants permettront d'atteindre les objectifs et de réaliser les travaux complémentaires :

1. Inventaire
2. Caractérisation
3. Capacité de stockage
4. Test-pilote
5. Enjeux socio-économiques

Le présent rapport sur la lithostratigraphie standardisée du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent basée sur l'étude des diagraphies cadre dans le volet inventaire.

Sommaire

Il y a deux sources indépendantes de données lithologiques pour un puits : (1) les retailles de forage et les carottes; et (2) les diagraphies. À ce jour, les informations sur 270 anciens puits d'exploration pétrolière et gazière au sein du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent sont disponibles au Ministère des ressources naturelles du Québec. Alors que chacun contient les descriptions des retailles de forage et/ou des carottes, moins de la moitié contiennent des diagraphies. L'interprétation des unités géologiques en profondeur s'appuie généralement sur l'étude des retailles de forage, alors que les diagraphies sont plutôt utilisées pour identifier les zones poreuses et la présence de réservoirs d'hydrocarbures ou bien pour corrélérer différents niveaux entre les puits.

La lithostratigraphie en surface des Basses-Terres du Saint-Laurent est bien définie et les cartes géologiques ont continuellement été mises à jour. Toutefois, les unités géologiques du bassin rencontrées en sous-surface dans les puits d'exploration d'hydrocarbures n'ont jamais été uniformisées à l'échelle régionale. En effet, la nomenclature lithostratigraphique a évolué avec le temps et les contacts entre les différentes formations géologiques ont changé tandis que l'interprétation géologique de chacun des puits n'a jamais été actualisée.

Étant donné que les unités lithostratigraphiques des Basses-Terres du Saint-Laurent ont chacune une signature diagraphique propre, l'analyse détaillée des diagraphies permet de reconnaître six unités lithostratigraphiques dans les puits : Covey Hill, Cairnside, Theresa, Beauharnois, Chazy/Black River/Trenton et Utica. En plus du rayonnement gamma naturel, qui est la diagraphie indispensable, l'identification avec certitude de ces unités n'est seulement possible qu'avec les diagraphies de la porosité-neutron, de la porosité-densité, de l'acoustique, de l'effet photoélectrique et de la résistivité. Tout comme il existe à la surface des coupes-types pour chacune des unités géologiques, des puits de référence ont été définis afin de guider l'identification de ces unités en sous-surface. Ainsi, 79 puits des Basses-Terres du Saint-Laurent ayant des diagraphies ont été réinterprétés et uniformisés. Ces puits devaient au minimum contenir la diagraphie du rayonnement gamma naturel et également atteindre le Shale d'Utica. Ainsi, un grand nombre de puits ayant des diagraphies n'ont pas été utilisés dans cette étude car ils n'étaient pas suffisamment profonds et s'arrêtaient notamment dans le Groupe de Lorraine.

1. Introduction

1.1. Le stockage géologique du CO₂

Au cours des dernières années, la menace du changement climatique s'est trouvée au centre des débats de l'ensemble des parties prenantes du monde de l'énergie. Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC ou IPCC : *Intergovernmental Panel on Climate Change*), le réchauffement climatique serait très probablement d'origine anthropique (c.-à-d., relatif à l'activité humaine) et aurait comme principale cause l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère (IPCC, 2007). Le dioxyde de carbone (CO₂) est l'un de ces gaz à effet de serre émis par plusieurs types d'industries utilisant la combustion d'hydrocarbures. C'est ainsi que depuis plusieurs années, l'Agence internationale de l'énergie (AIE) soutient qu'une révolution énergétique reposant sur le déploiement généralisé de technologies décarbonées (c.-à-d. conçues pour être le plus faiblement émissives possible en CO₂) est nécessaire afin de s'attaquer au défi du changement climatique.

Après plusieurs années de progrès modestes, le rythme d'amélioration de l'efficacité énergétique au sein des pays membres de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) recommence à s'accélérer. L'investissement public dans les activités de recherche, de développement et de démonstration concernant les technologies à faible teneur en carbone et dans les énergies renouvelables, éolien et solaire en tête, progresse très nettement. Dans les transports, les grands constructeurs automobiles ajoutent des véhicules hybrides, rechargeables et entièrement électrique à leurs gammes de produits traditionnelles, et nombre de gouvernements lancent des programmes encourageant les consommateurs à les acheter. Ces avancées prometteuses ne sont que les premiers pas d'un long cheminement vers la transformation de nos modes de production et de consommation d'énergie. Malgré tout, les tendances qui entraînent la hausse de la demande d'énergie et des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) associés au changement climatique continuent de s'intensifier à un rythme inexorable.

En effet, les évolutions actuelles de la situation énergétique et des émissions de CO₂ vont à l'encontre des mises en garde réitérées par le GIEC. Ce groupe arrive à la conclusion que des réductions d'au moins 50 % des émissions mondiales de CO₂ par rapport aux niveaux de l'an 2000 devront être réalisées à l'horizon de 2050 pour limiter l'augmentation des températures moyennes mondiales à long terme.

L'inquiétude face à la sécurité énergétique, la menace du changement climatique et la nécessité de satisfaire une demande d'énergie grandissante (spécialement dans les pays en développement) sont autant de défis majeurs que les décideurs du monde de l'énergie sont appelés à relever. Faire avancer la révolution vers des technologies à faible teneur en carbone résultera de millions de choix opérés par une multitude de parties prenantes. Il faudra également une panoplie de technologies existantes et nouvelles pour faire face à ces enjeux.

Parmi les mesures d'atténuation visant à stabiliser les émissions anthropiques de CO₂ dans l'atmosphère, on retrouve le captage et le stockage du CO₂ (CSC). Il s'agit de récupérer ce gaz là où il est produit en grande quantité, comme par exemple sur les cheminées industrielles, de le transporter jusqu'à un site de stockage et d'ensuite l'injecter en grande profondeur dans le sous-sol rocheux afin de l'isoler de l'atmosphère à long terme (Figure 1). Le stockage géologique du CO₂ repose sur deux grandes cibles souterraines (Bachu, 2003; IPCC, 2005; IEA, 2008) : (1) les réservoirs de gaz et de pétrole, ainsi que (2) les aquifères salins.

L'application réussie du CSC dans un certain nombre de secteurs industriels à forte intensité énergétique (p.ex. la production d'électricité, la sidérurgie, l'industrie du ciment, l'industrie chimique et pétrochimique ainsi que le secteur des pâtes et papier) est peut-être la principale solution technologique nouvelle permettant de réduire les émissions directes dans l'industrie. En effet, selon l'Agence Internationale de l'Énergie (IEA : *International Energy Agency*), cette option pourrait contribuer à la hauteur de 20% de réduction des émissions de CO₂ dans l'atmosphère d'ici 2050 (Figure 2).

Ainsi, il faut accélérer la démonstration du CSC et mettre au point des approches réglementaires globales pour faciliter son déploiement commercial. À l'échelle mondiale, la recherche de sites potentiels pour le stockage géologique du CO₂ va bon train dans les bassins sédimentaires déjà connus pour la qualité de leurs réservoirs géologiques. La première étape de ces recherches consiste à identifier les bassins offrant un potentiel adéquat pour le stockage du CO₂. Lorsque les bassins appropriés sont identifiés, des études plus poussées peuvent être menées afin de cibler des sites de stockage spécifiques. Au Québec, le bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent a été identifié comme étant celui qui présente le meilleur potentiel de stockage géologique du CO₂ (Figure 3 et Figure 4) (Bédard *et al.*, 2012b; Trần Ngọc *et al.*, 2012).

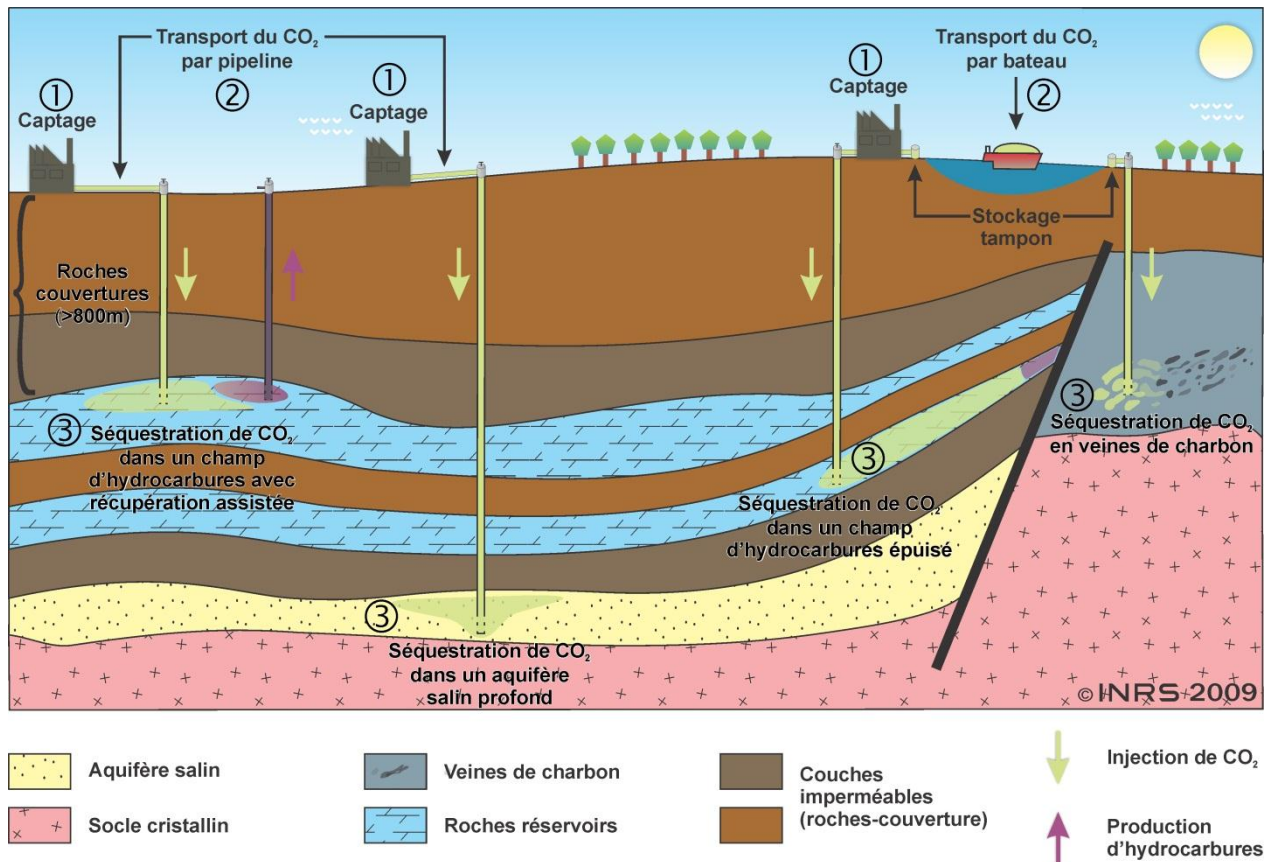


Figure 1 - Les différentes méthodes de stockage géologique du CO₂ en profondeur dans les roches sédimentaires.

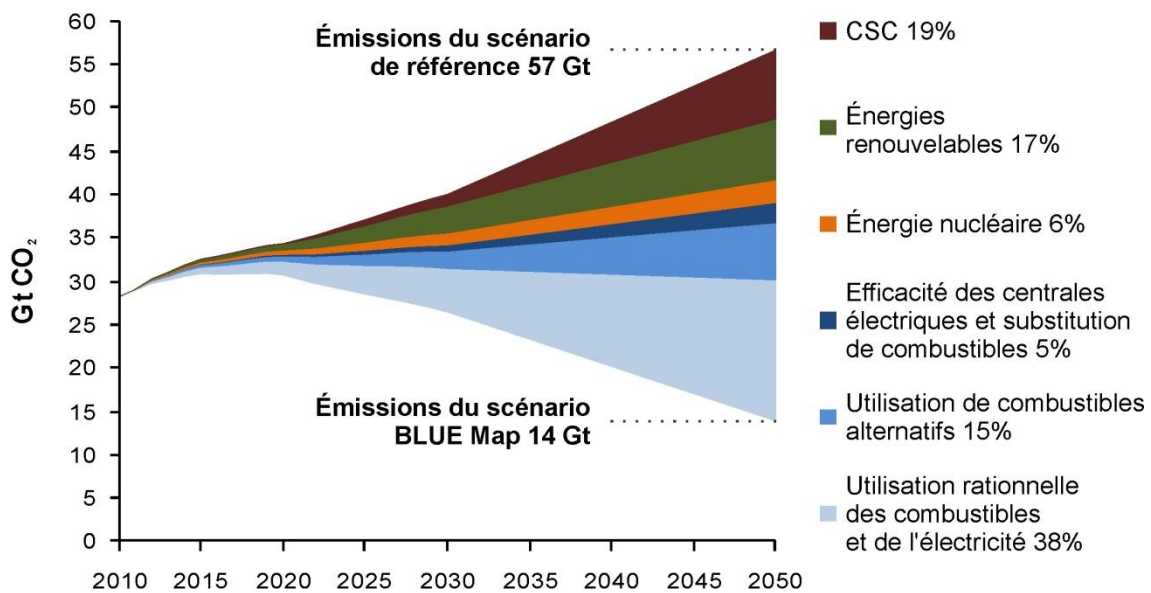


Figure 2 - Prévision des moyens de réduction des émissions de CO₂ dans l'atmosphère, selon l'IEA (2009).

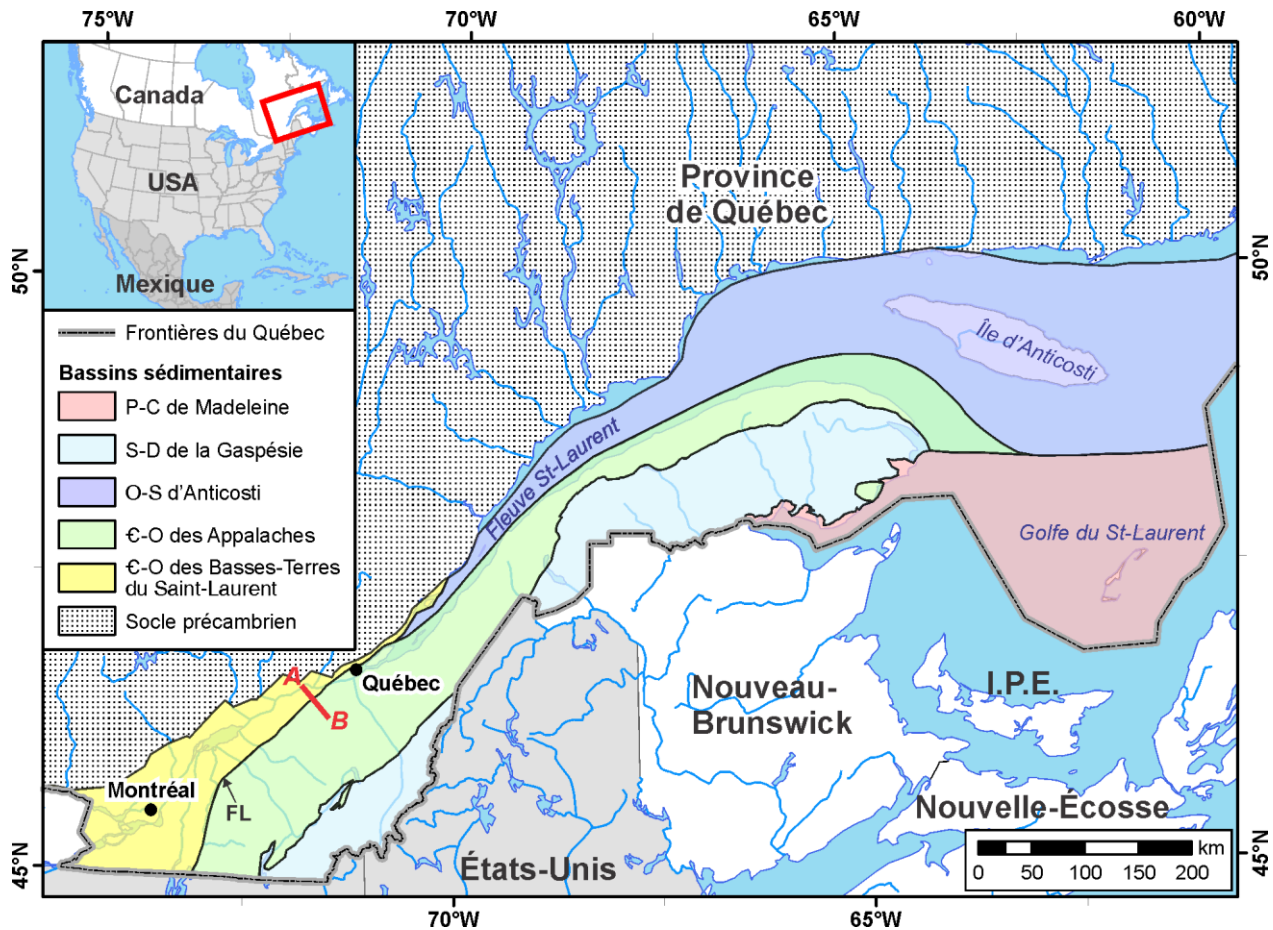


Figure 3 - Bassins sédimentaires du sud du Québec. P-C : permo-carbonifère. S-D : siluro-dévonien. O-S : ordo-silurien. E-O : cambro-ordovicien. FL : Faille de Logan. La ligne AB localise la Figure 4. Modifiée de Bédard *et al.* (2012b).

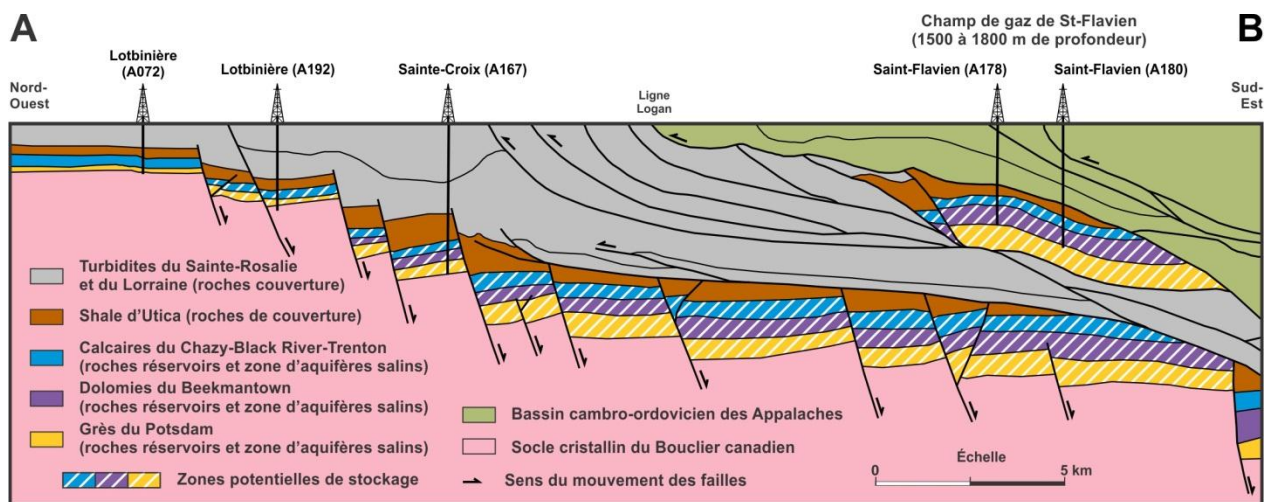


Figure 4 - Coupe géologique AB de la Figure 3 et zones potentielles de stockage du CO₂ en profondeur du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent. Adaptée de Castonguay *et al.* (2010).

1.2. Contexte géologique

Le bassin Basses-Terres du Saint-Laurent, qui fait partie de la province géologique de la plate-forme du Saint-Laurent (Brisebois et Brun, 1994; Bédard *et al.*, 2011), se situe dans le sud du Québec, dans l'axe géographique Québec-Montréal (Figure 3 et Figure 5). Du point de vue géologique, ce bassin repose en discordance sur le socle précambrien du Grenville (Figure 3, Figure 4 et Figure 5). Le bassin est donc limité au nord-ouest par cette discordance tandis que la frontière sud-est du bassin est définie par une importante faille de chevauchement, la faille Logan, qui marque le contact avec le bassin cambro-ordovicien des Appalaches (Figure 3, Figure 4 et Figure 5). Ce dernier est caractérisé par des unités ayant subi plusieurs phases de déformation, dont les orogénèses taconienne et acadienne (St-Julien et Hubert, 1975; Brisebois et Brun, 1994).

La séquence sédimentaire des Basses-Terres du Saint-Laurent (Figure 6) représente un cycle complet de transgression/régression marine et est composée des séries de bassin de rift et de marge passive du Cambrien-Ordovicien inférieur-moyen et des séries de bassin d'avant-pays de l'Ordovicien moyen-supérieur (St-Julien et Hubert, 1975; Globensky, 1987; Lavoie *et al.*, 2003; Comeau *et al.*, 2004). La succession, d'une épaisseur totale pouvant dépasser 3000 mètres à certains endroits, consiste de la base vers le sommet à : des grès du Cambrien - Ordovicien inférieur d'un milieu marin peu profond à subaérien (Groupe de Potsdam); des dolomies et des grès dolomitiques de l'Ordovicien inférieur à moyen (Groupe de Beekmantown) et des calcaires gréseux (groupes de Chazy et de Black River) et argileux (Groupe de Trenton) de l'Ordovicien moyen à supérieur d'un milieu marin peu profond à moyennement profond; des shales noirs (Shale d'Utica) de l'Ordovicien supérieur d'un niveau marin profond; des turbidites syn-orogéniques (groupes de Sainte-Rosalie et de Lorraine) et la molasse post-taconienne (Groupe de Queenston) de l'Ordovicien supérieur (Globensky, 1987; Lavoie, 1994).

En sous-surface, la structure du bassin des Basses-Terres peut être bien visualisée avec l'interprétation de trois profils sismiques régionaux (Figure 7). Ces trois profils sismiques montrent que le socle précambrien du Grenville et les séquences sédimentaires des Basses-Terres du Saint-Laurent ont été affectés par une série de failles normales s'étendant du sud-ouest vers le nord-est et inclinées vers le sud-est (Séjourné *et al.*, 2003; Konstantinovskaya *et al.*, 2009; Castonguay *et al.*, 2010). Ces failles normales, interprétées comme s'étant initiées pendant l'événement du rift dans

l'océan Iapetus au Protérozoïque-Cambrien précoce (Rankin, 1976; Cawood *et al.*, 2001; Thomas, 2006; Hibbard *et al.*, 2007), sont restées actives pendant l'ouverture de l'océan et ont ensuite été réactivées aux différents stades tectoniques de la formation de l'orogène appalachien (St-Julien et Hubert, 1975; Globensky, 1987; Lavoie, 1994; Lemieux *et al.*, 2003).

Les failles normales sont souvent interprétées comme des failles de croissance car elles contrôlent l'épaisseur des séries sédimentaires comme étant le résultat de déplacement le long des failles pendant la sédimentation (Séjourné *et al.*, 2003; Konstantinovskaya *et al.*, 2009; Castonguay *et al.*, 2010). Les failles normales affectent localement les turbidites du Groupe de Lorraine et la molasse du Groupe de Queenston, faisant probablement suite à la réactivation déclenchée par l'emplacement et la charge des écaïlles tectoniques empilées au front des Appalaches (Séjourné *et al.*, 2003). Toutefois, la plupart de ces failles normales affectent seulement les unités inférieures de la séquence des Basses-Terres du Saint-Laurent et n'atteignent pas la surface (Figure 7).

La faille de Yamaska, qui longe la rive sud du Fleuve Saint-Laurent (Figure 5 et Figure 7), est l'une de ces failles normales et aussi l'une des plus importantes. L'épaisseur des séries sédimentaires de la marge passive et du bassin d'avant-pays augmente considérablement au sud-est de la faille normale de Yamaska. Cet épaissement de la séquence sédimentaire au passage de la faille de Yamaska fait suite à la subsidence syn-sédimentaire du bloc du socle précambrien du Grenville au pied de la faille. Selon Konstantinovskaya *et al.* (2010), le socle grenvillien est déplacé verticalement au niveau de la faille de Yamaska sur plus de 800 mètres, dans la région où passe le profil sismique M2002 (Figure 7). Toutefois, elle n'apparaît pas en surface et ne traverse pas les unités plus jeunes, soit les groupes de Sainte-Rosalie/Lorraine et le Queenston.

Le pli synclinal régional de Chambly-Fortierville (Figure 5 et Figure 7) s'étend du sud-ouest vers le nord-est dans le domaine d'avant-pays au front des écaïlles tectoniques des Appalaches. Ce synclinal s'est formé pendant la subsidence du bassin d'avant-pays de l'orogénèse taconienne, la première phase tectonique des Appalaches (Konstantinovskaya *et al.*, 2009; Castonguay *et al.*, 2010).

Les écaïlles tectoniques du front des Appalaches affectent le flanc sud-est du synclinal de Chambly-Fortierville (Figure 7). Les unités des groupes de Sainte-Rosalie et de Lorraine sur le flanc sud-est du pli sont fortement plissées et faillées à vergence nord-ouest. Une zone triangulaire (Figure 7) est distinguée

entre le flanc sud-est du synclinal et le front des écaillles imbriquées de parautochtone et d'allochtone dans les Basses-Terres du Saint-Laurent (Konstantinovskaya *et al.*, 2009; Castonguay *et al.*, 2010).

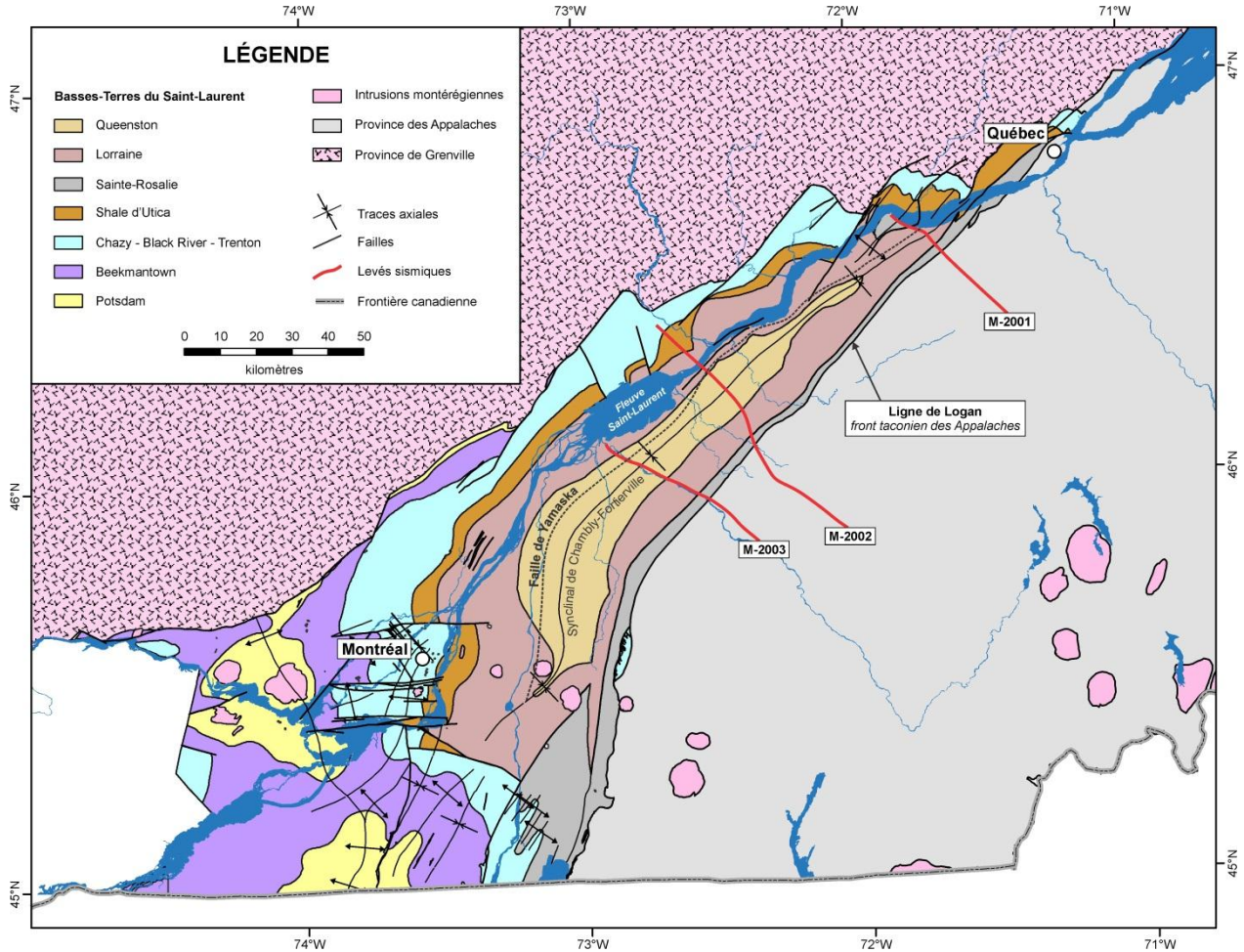


Figure 5 - Carte géologique des Basses-Terres du Saint-Laurent, d'après Globensky (1987). La projection en surface de la faille de Yamaska est en pointillé sur la carte. L'interprétation des lignes sismiques M2001, M2002 et M2003 est représentée à la Figure 7.

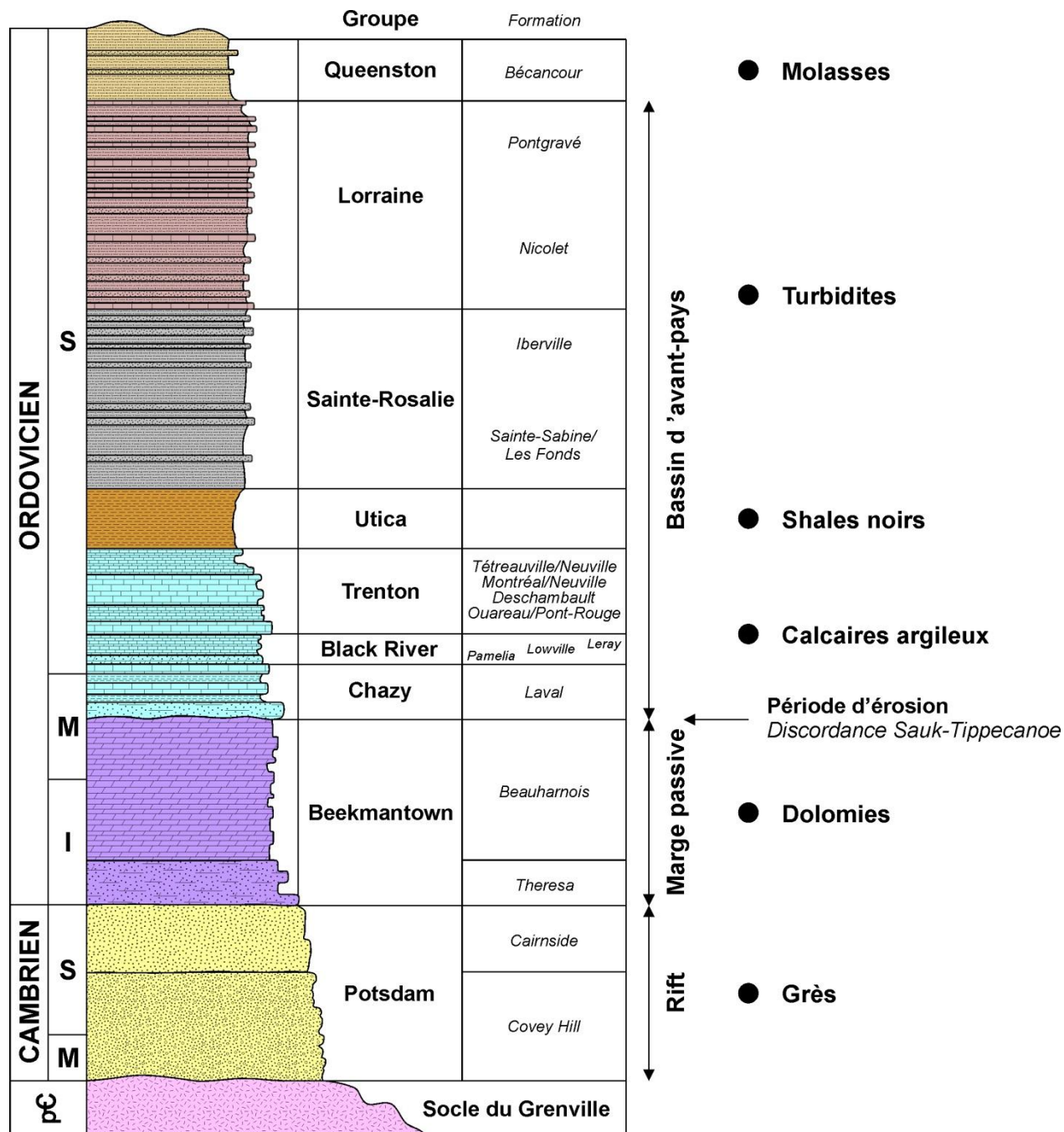


Figure 6 - Colonne stratigraphique des Basses-Terres du Saint-Laurent. Adaptée de Hofmann (1972), Globensky (1987), Salad Hersi *et al.* (2003) et Comeau *et al.* (2004).

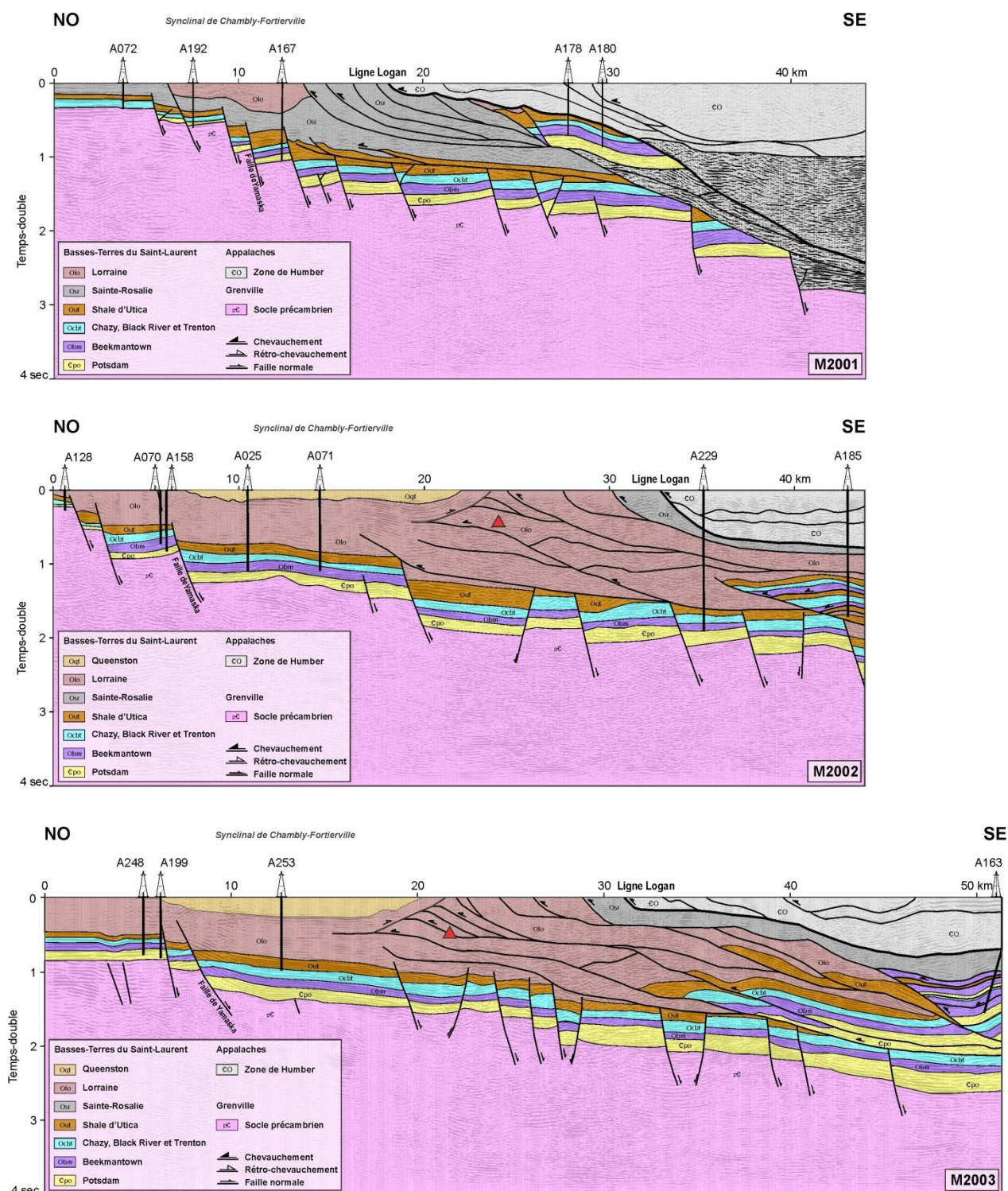


Figure 7 - Profils sismiques M2001, M2002 et M2003 interprétés. Le triangle rouge indique la localisation de la zone triangulaire. La localisation des profils apparaît sur la figure 5. Adaptée de Castonguay *et al.* (2010).

1.3. Problématique

Afin de caractériser le bassin sédimentaire des Basses-Terres du Saint-Laurent en sous-surface, une étude approfondie des données existantes fournies par les anciens puits d'exploration pétrolière et gazière est primordiale. En effet, il est impératif de bien identifier la géométrie et la position des unités géologiques en sous-surface afin de pouvoir identifier les endroits ayant le meilleur potentiel de stockage (Comeau *et al.*, 2012) ainsi que d'évaluer le volume de CO₂ que l'on pourrait stocker à l'échelle du bassin (Bédard *et al.*, 2012a).

Au fil du temps, plusieurs géologues ont étudié le bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent de telle sorte que les cartes géologiques ont continuellement été remises à jour et que la lithostratigraphie en surface est aujourd'hui bien définie. Toutefois, les unités géologiques du bassin rencontrées en sous-surface dans les puits d'exploration d'hydrocarbures n'ont jamais été uniformisées à l'échelle régionale. En effet, la nomenclature lithostratigraphique a évolué avec le temps et les contacts entre les différentes formations géologiques ont changé tandis que l'interprétation géologique de chacun des puits n'a jamais été actualisée. La Figure 8 montre qu'une grande proportion des puits d'exploration pour le

pétrole et le gaz ont été réalisés avant les années 1980, soit bien avant la grande compilation et mise à jour faite par Globensky (1987), dont on peut voir à la Figure 9 les grands changements par rapport à Clark (1966; 1972). C'est donc dire que la nomenclature utilisée par les compagnies n'est plus à jour dans la majorité des puits d'exploration pour le pétrole et le gaz.

Deux sources indépendantes de données lithologiques peuvent être disponibles pour un puits : (1) les retailles et les carottes de forage; et (2) les diagraphies. L'interprétation des unités géologiques en profondeur s'appuie généralement sur l'étude des retailles de forage, alors que les diagraphies sont davantage utilisées dans le but d'identifier les zones poreuses et la présence de réservoirs d'hydrocarbures ou bien pour corréler différents niveaux entre deux puits. À ce jour, les informations sur 270 anciens puits d'exploration pétrolière et gazière au sein du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent sont disponibles au Ministère des ressources naturelles du Québec (MRN). Alors que chacun contient la description des retailles de forage et/ou des carottes, moins de la moitié contiennent des diagraphies. En effet, c'est à partir des années 1960 que cette technologie devient un standard dans l'industrie pétrolière et gazière au Québec (Figure 8).

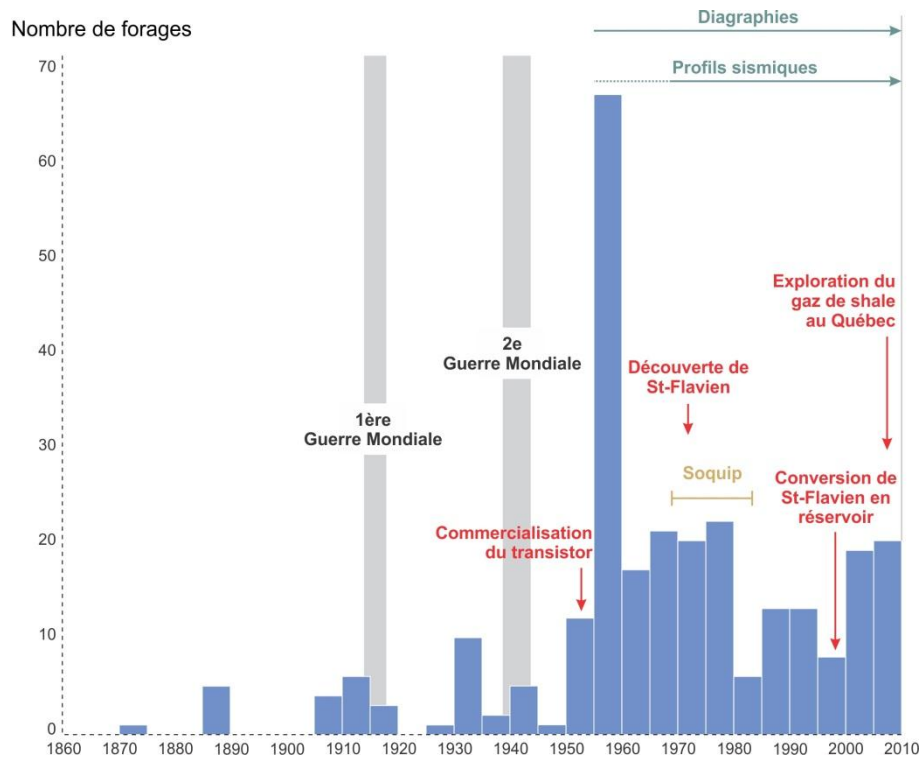


Figure 8 - Historique des puits pétroliers et gaziers au Québec, dans le bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent. Source des données : SIGPEG (2011).

		Globensky, 1987		Clark, 1966; 1972	
		Groupe	Formation	Formation	Groupe
ORDOVICIEN	S	Queenston	Bécancour	Bécancour	Richmond
		Lorraine	Pontgravé	Pontgravé	Lorraine
			Nicolet	Nicolet	
		Sainte-Rosalie	Iberville Sainte-Sabine/ Les Fonds	Lotbinière	Utica
	M	Utica			
		Trenton	Tétreauville/Neuville Montréal/Neuville Deschambault Ouareau/Pont-Rouge	Tétreauville/Neuville Montréal/Neuville Deschambault Mile End	Trenton
		Black River	Pamelia Lowville Leray	Pamelia Lowville Leray	Black River
		Chazy	Laval	Laval	Chazy
		Beekmantown	Beauharnois	Beauharnois	Beekmantown
			Theresa		Potsdam
CAMBRIEN	S	Potsdam	Cairnside	Châteauguay	
			Covey Hill	Covey Hill	
	M				
pc		Socle du Grenville			

Figure 9 - Comparaison de la nomenclature de la stratigraphie des Basses-Terres du Saint Laurent utilisée dans les années 1970 et aujourd'hui. Selon Clark (1966, 1972) et Globensky (1987).

1.4. Les diagraphies

Lorsque l'on a identifié la présence de réservoirs potentiels souterrains par des méthodes de surface, géologiques ou géophysiques, il est impératif d'en étudier les caractéristiques qui conditionnent son rendement: son volume, sa porosité, son taux de saturation, sa perméabilité, les différents fluides qu'il renferme (eau, pétrole, gaz). Pour connaître ces paramètres du réservoir, la première approche consiste à faire des forages. Lorsqu'il s'agit de forages à but hydrogéologique, ils sont le plus souvent carottés. Par contre, en exploration pétrolière et gazière, il s'agit en

général de forages destructifs qui consistent à désagréger la roche à l'aide d'un outil adapté et à remonter vers la surface les débris appelés retailles ou déblais de forage (*cuttings* en anglais) à l'aide d'un fluide (air, eau ou boue).

La reconnaissance des unités géologiques traversées par un forage se fait tout d'abord en exploitant les informations obtenues au cours des opérations en enregistrant les paramètres suivants : poussée sur l'outil, vitesse d'avancement, poussée des fluides de forage, examen des retailles de forage, examen qualitatif et quantitatif de la boue, indices de gaz ou d'huile, etc. Tous ces renseignements sont d'accès pratiquement instantané. Mais on se heurte à un

obstacle inévitable : la dispersion dans le temps et dans l'espace qu'impose le transit par le fluide de forage (air, eau ou boue) de tout échantillon venant du fond du trou, aggravée souvent par la contamination due à l'éboulement plus ou moins important des parois du forage, et pouvant causer une grande confusion sur la provenance des déblais. Ainsi, l'échantillonnage géologique sous forme de retailles au cours du forage laisse une trace très imprécise des unités géologiques rencontrées. Seul le carottage mécanique continu donne l'image exacte de la succession des couches géologiques et certaines de leurs caractéristiques physiques.

Toutefois, pour les forages profonds et donc dans la majorité des cas en exploration pétrolière et gazière, l'extraction de carottes ne se fait que ponctuellement sur de courtes longueurs, en général aux endroits où le réservoir est pressenti. De plus, certaines informations ne peuvent être fournies par le carottage, telles que la valeur et la direction des pendages ainsi que la nature et la quantité exacte des fluides en place. Finalement, les opérations de carottage sont lentes et demeurent surtout très coûteuses. Pour pallier à ces inconvénients, est apparue en 1927 une technique conçue par les frères Schlumberger pour réaliser des enregistrements géophysiques dans les forages : les diagraphies (*well logs*, en anglais).

Une diagraphie (du grec *dia*, « à travers », et *graphein*, « dessiner ») est un enregistrement continu à l'intérieur d'un puits des variations d'un paramètre physique de la roche (Tableau 1) en fonction de la profondeur (Figure 10). Il peut s'agir de mesures de phénomènes spontanés, tels que la radioactivité naturelle, qui nécessite des outils constitués d'un détecteur très sensible aux rayonnements gamma. Les mesures peuvent également être induites, telles que les diagraphies électriques qui émettent un courant électriques dans la roche, ou bien la diagraphie acoustique dans laquelle un outil émet un son dans la roche, puis mesure le temps parcouru pour atteindre le récepteur à une distance définie de l'outil.

Les diagraphies sont enregistrées lors d'un arrêt ou en fin de forage, et les paramètres mesurés ne sont accessibles qu'avec un certain retard sur l'exécution du forage d'où le nom de « diagraphies différées ». Des outils, conçus dans ce but, sont descendus dans le trou de forage à l'extrémité d'un câble qui assure la liaison avec les instruments de surface commandant les opérations (Figure 11). On représente ensuite, comme pour le cas d'un graphique, la valeur de la mesure tracée en continu en fonction de la profondeur dans le puits. Ce graphique offre donc la possibilité de représenter une lecture sur plus de 4 kilomètres, selon le cas (Figure 10).

Bien que la technologie des diagraphies ait évolué étroitement selon les besoins spécifiques de l'industrie pétrolière et gazière afin d'évaluer la présence et les quantités d'hydrocarbures, elle est aujourd'hui tout aussi pertinente dans plusieurs autres champs d'intérêt en sciences de la Terre. En effet, une diagraphie peut signifier différentes choses pour différentes personnes. Pour un géologue, elle est avant tout une technique de cartographie dans le but d'explorer les roches en profondeur. Pour un pétrophysicien, elle est un moyen d'évaluer le potentiel de production d'hydrocarbures d'un réservoir. Pour un géophysicien, elle est une source de données complémentaires pour l'analyse sismique de surface. Pour un ingénieur de réservoir, elle peut fournir des valeurs supplémentaires pour contraindre d'avantage une simulation ou une modélisation (

Tableau 1 et Tableau 2).

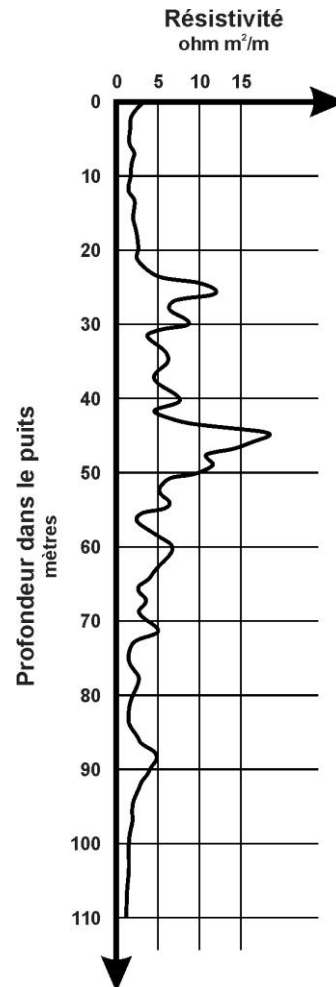
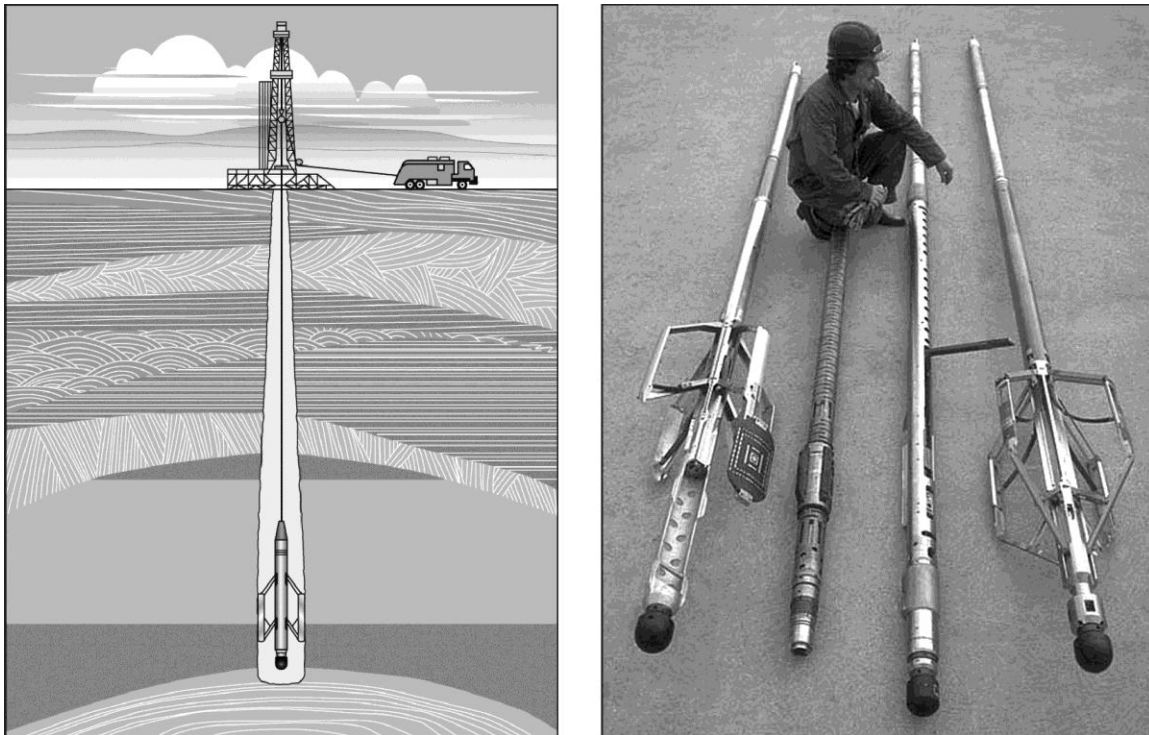


Figure 10 - Représentation graphique d'une diagraphie.

Tableau 1 - Classification des principales diagraphies en fonction des paramètres mesurés.

	Diagraphie	Paramètre mesuré
Mesures mécaniques	Diamètreur	Diamètre du trou de forage
Mesures spontanées	Température	Température au fond du puits
	Potentiel spontané	Différence de potentiel électrique
	Rayon gamma	Radioactivité naturelle
Mesures induites	Résistivité	Résistance à un courant électrique
	Acoustique	Vitesse de propagation d'une onde sismique
	Densité	Réaction à un bombardement de rayons gamma
	Photoélectrique	Réaction à un bombardement de rayons gamma
	Neutron	Réaction à un bombardement de neutron



Diagraphies	Utilités	Géologie générale					Géologie de réservoir		Géochimie		Pétrophysique					Sismique		
		Lithologies communes	Volcanics	Evaporites	Minéraux	Corrélation stratigraphique	Environnement de dépôt	Zones fracturées	Zones sur-pressurisées	Roche-mère	Maturité themrique	Porosité	Perméabilité	Volume de shale	Salinité de l'eau	Saturation en hydrocarbures	Présence de gaz	Vitesse d'intervalle
Température								-		+						-		
Diamètreur								-					-					
Potentiel spontané													-	+	*			
Résistivité	-		-		-	-		+	+	+	+	-		-	*	-		
Rayon gamma	-	-	+	-	-	-			+				+					
Acoustique	+		-		-	-	+	+	+		*					-	*	*
Densité	+	-	-	-		-	+	-	+		*					-		*
Photoélectrique	+	-	-	+														
Neutron	+	-	-	-		-			-		*		-			-		
Pendagemètre					-	-											-	-

Tableau 2 - Les utilités principales des diagraphies communes. -, mesures qualitatives; +, mesures semi-quantitatives; *, mesures quantitatives. Tiré de Rider (2002).

1.5. Les puits types

L'emploi le plus simple des diagraphies, mais d'une importance capitale, réside dans l'identification des unités lithostratigraphiques rencontrées dans un puits. Ces unités divisent le puits en intervalles pouvant être identifiés tout aussi bien dans d'autres puits qu'en affleurement. Une application forte utile de ces unités lithostratigraphiques en sous-surface est de définir des sections ou des coupes types pouvant ensuite être identifiées et corrélées dans plusieurs puits à l'échelle d'un bassin. Tout comme il existe à la surface des coupes types pour chacune des formations géologiques, des puits types de référence peuvent également être désignés afin de guider l'identification des unités lithostratigraphiques en sous-surface.

Par exemple, les différentes unités lithologiques de la Mer du Nord ont été définies par la *British Geological Survey* (Knox et Cordey, 1992) sous forme d'un lexique stratigraphique dans lequel chacune des unités lithologiques est associée à un puits type sélectionné à titre de référence de par les caractéristiques typiques de sa lithologie et de la signature de ses diagraphies. Plus près de chez nous, des travaux similaires ont été réalisés par la *Ontario Geological Survey* (Armstrong

et Carter, 2006, 2010) afin de définir la stratigraphie des roches paléozoïques en sous-surface du Sud de l'Ontario.

C'est dans cette optique que soixante-dix-neuf (79) anciens puits d'exploration pétrolière et gazière des Basses-Terres du Saint-Laurent ont été réinterprétés et uniformisés (Annexes 1, 2 et 3). Ces puits devaient au minimum contenir la diagraphie du rayonnement gamma naturel et également atteindre le Shale d'Utica. Ainsi, un grand nombre de puits ayant des diagraphies n'ont pas été utilisés dans cette étude car ils n'étaient pas suffisamment profonds et s'arrêtaient notamment dans le Groupe de Lorraine.

Ainsi, l'analyse détaillée des diagraphies de ces puits permet de reconnaître dans l'ensemble du bassin six unités lithostratigraphiques ayant chacune une signature diagraphique propre: (1) Utica, (2) Trenton/Black River/Chazy, (3) Beauharnois (Beekmantown), (4) Theresa (Beekmantown), (5) Cairnside (Potsdam) et (6) Covey Hill (Potsdam).

2. Les différents types de diagraphies

Pour autant que l'on sache relier les variations des paramètres mesurés aux propriétés physiques et chimiques des formations géologiques et des fluides connus, on dispose d'un instrument sans égal pour étudier les roches et leur contenu. Il existe, en effet, des relations étroites entre les paramètres physiques enregistrés et les paramètres géologiques. On peut définir un « faciès géophysique » qui est, pour un niveau donné, la somme des caractéristiques vues par les diagraphies. Le « faciès géophysique » reste inchangé pour un même niveau au cours de plusieurs enregistrements successifs avec les mêmes outils, dans le même puits. Il en résulte que la modification d'un paramètre géologique doit se répercuter sur un ou plusieurs paramètres physiques, de même qu'une variation d'un paramètre physique aura une signification géologique.

Les diagraphies sont donc très utiles pour corréler des puits entre eux et donnent des indications très précieuses sur les variations lithologiques à l'échelle d'un bassin sédimentaire. Mais d'abord, une compréhension de chaque type de diagraphies est d'une importance capitale pour la définition de la géologie en sous-surface. Les sections qui suivent sont le résumé de différents ouvrages de référence sur le sujet : (Asquith et Gibson, 1982; Dewan, 1983; Serra, 1984; Doveton, 1986; Serra, 1989; Schlumberger, 1991; Hearst *et al.*, 2000; Rider, 2002; Ellis et Singer, 2007; Serra, 2008).

2.1. Diamètre (caliper)

Le diamètre (universellement appelé « *caliper* ») est un outil qui mesure la forme et la taille du puits à l'aide de bras articulés appliqués contre la paroi du trou (Figure 12). C'est donc un outil qui enregistre la réponse mécanique des formations géologiques au processus de forage.

Un puits ayant la même taille (diamètre) que le trépan (en anglais, « *drilling bit* ») est appelé « *on gauge* », et indique essentiellement que le forage a été réalisé correctement. On utilise les termes « *caved* » ou « *washed out* » pour un trou ayant un diamètre supérieur au trépan. Lors du forage, les parois du trou peuvent s'éroder et s'effondrer dû à la rotation continue des tiges de forage ou à la circulation de la boue. Ce phénomène est particulièrement fréquent

dans les shales et peut ainsi avoir une signification lithologique (Figure 12).

Parfois, le diamètre du trou s'avère être plus petit que celui du trépan. Lorsque le changement de diamètre se fait en douceur sur le profil, cela est principalement dû à un dépôt de matière solide de la boue de forage sur les parois du trou après que la roche ait absorbé l'eau et porte le nom de « *mud cake* ». Lorsque le changement de diamètre se fait abruptement, il peut plutôt s'agir de « *tight spots* » (Figure 12). Cela se produit lorsque les outils de forage restent coincés dans le trou et est fréquemment dû à l'abondance de minéraux de smectite (ou montmorillonite) au sein des argiles de la roche. Ce minéral est une argile qui gonfle lorsque mise en contact avec de l'eau, telle que la boue de forage.

Les zones où le diamètre du puits est irrégulier peuvent grandement influencer la réponse des autres diagraphies, comme la densité et la résistivité. Ainsi, les endroits dans un puits où l'on retrouve un diamètre irrégulier doivent être pris en considération lors de l'analyse des diagraphies car la qualité des résultats peut être mauvaise. C'est ainsi que la principale utilisation du diamètre demeure le contrôle de la qualité générale des diagraphies.

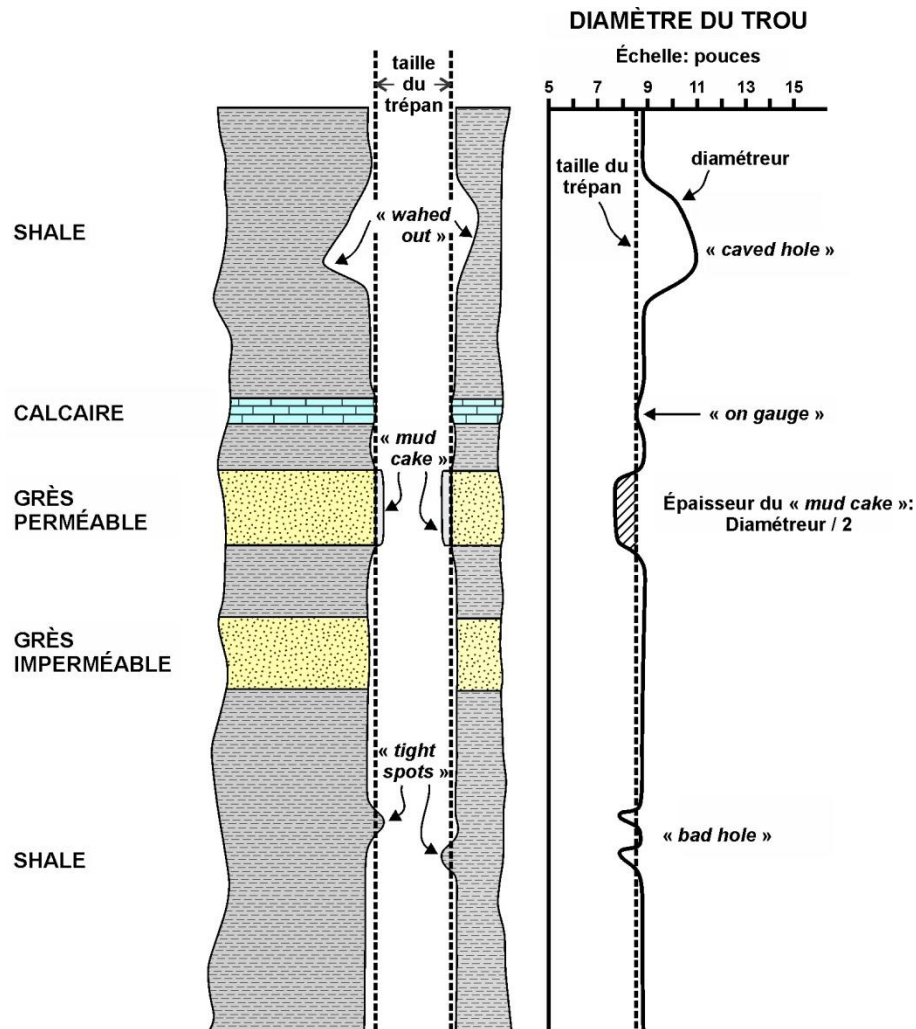


Figure 12 - La diagraphie du diamètre et sa réponse typique en fonction du diamètre du trou de forage. Adaptée de Rider (2002).

2.2. Rayonnement gamma naturel (gamma ray)

La diagraphie du rayonnement gamma naturel (communément appelé *gamma ray*) enregistre la radioactivité naturelle des roches le long du puits. Le rayonnement gamma naturel est émis par certains noyaux atomiques instables. Les trois principaux radioéléments présents dans les roches, et qui sont responsables de ces émissions, sont le potassium (K-40), l'uranium (U-238) et le thorium (Th-232). La mesure du rayonnement gamma naturel enregistre les variations de l'activité totale lorsque l'outil descend ou remonte dans le puits. L'unité de mesure des diagraphies du rayonnement gamma naturel est l'unité API (*American Petroleum Institute*) qui est calibrée à partir d'une formation artificielle dont le contenu radioactif est précisément connue et standardisée par

l'Université de Houston au Texas (Belknap *et al.*, 1959).

Outre son premier rôle d'indicateur lithologique, la mesure du gamma naturel est fréquemment utilisée pour permettre la corrélation entre forages. Les roches ignées et métamorphiques sont les roches contenant le plus d'éléments radioactifs. Parmi les roches sédimentaires, ce sont généralement les shales qui montrent le plus de radioactivité à cause du contenu élevé en minéraux argileux (ex : illite, smectite) pouvant contenir beaucoup de potassium. Le potassium est aussi présent dans certaines évaporites, comme la sylvite, et dans les feldspaths potassiques causant ainsi des valeurs élevées de rayonnement gamma naturel. De ce fait, des unités composées de carbonates ou de grès purs devraient générer, quant à elles, de faibles valeurs de rayonnement gamma naturel car elles ne contiennent que très peu d'éléments radioactifs, les principaux étant les

minéraux argileux et les feldspaths potassiques.

La Figure 13 montre la réponse typique d'une diagraphie du rayonnement gamma naturel traversant différents types de roches. Les grès purs, les calcaires et les dolomies montrent les valeurs les plus basses. On remarque également que la porosité n'a aucune influence sur les mesures de rayonnement gamma naturel. Toutefois, les valeurs deviennent nettement plus élevées en présence de métaux lourds, de

minéraux argileux, de feldspaths potassiques (comme les arkoses) et d'horizons de shale. D'ailleurs, ce sont les shales noirs qui causent les valeurs de rayonnement gamma naturel les plus élevées. Finalement, il est à noter que la diagraphie du rayonnement gamma naturel est relativement sensible aux irrégularités de puits (Figure 13).

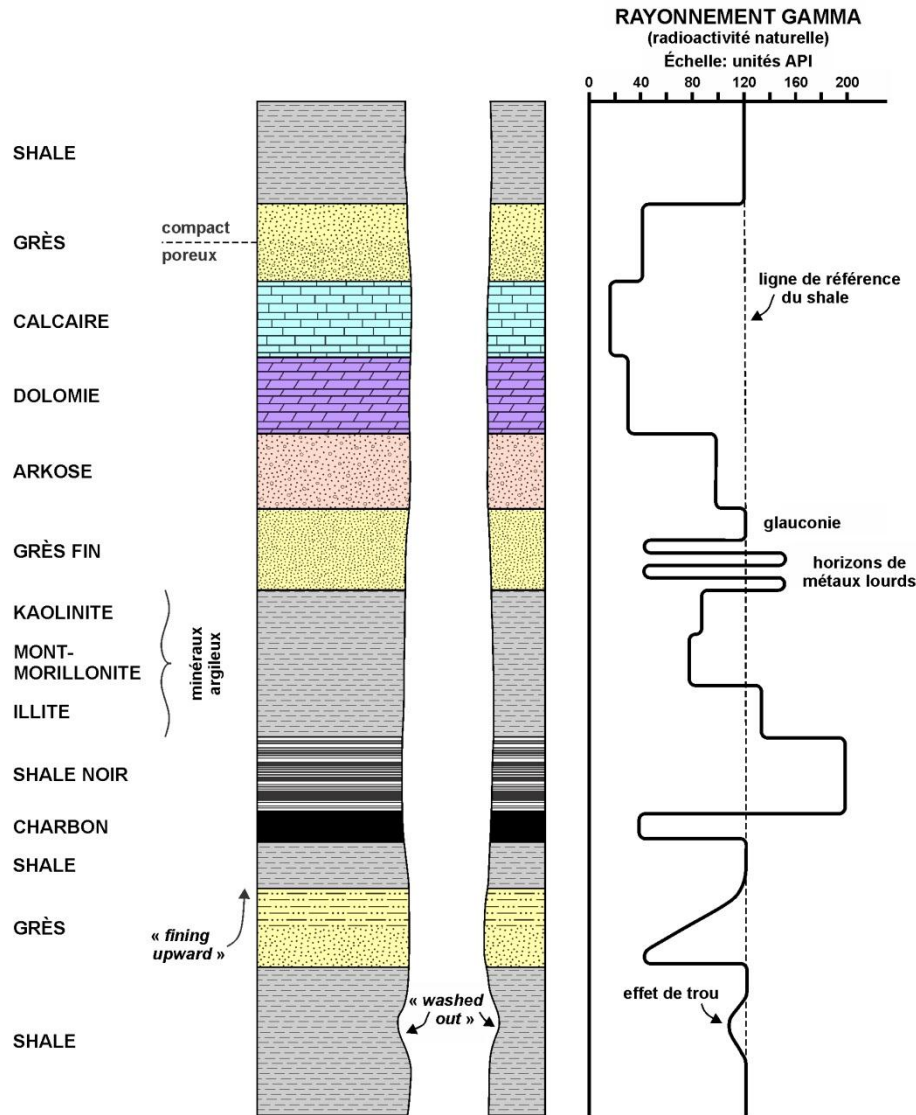


Figure 13 - La diagraphie du rayonnement gamma naturel et sa signature typique pour différentes roches. Adaptée de Rider (2002).

2.3. Potentiel spontané

Cette diagraphie mesure la différence de potentiel électrique entre une première électrode fixée à la surface et une seconde parcourant tout le long du puits. Cette mesure est complètement passive de sorte

qu'aucun courant électrique n'est induit dans la roche. Le potentiel spontané, aussi appelé polarisation spontanée (en anglais, « *self-potential* » ou « *spontaneous potential* », se mesure en millivolts (mV). Trois facteurs sont nécessaires pour provoquer un potentiel spontané : (1) un fluide conducteur présent dans le trou de forage (ex : boue de forage);

(2) une unité géologique poreuse et perméable limitée à son sommet et à sa base par une unité imperméable; et (3) une différence de salinité entre la boue de forage et l'eau de formation contenue dans la roche.

La principale utilité de la diagraphie du potentiel spontané réside dans l'identification de zones perméables et la détermination de la résistivité de l'eau présente dans la roche (Figure 14). Elle peut également être utile afin d'estimer le volume de shale présent dans la roche, pour reconnaître certaines lithologies ou certains faciès et même parfois pour réaliser des corrélations de puits à puits.

La salinité d'un fluide influence étroitement sa résistivité. Plus la salinité d'un fluide est élevée, plus grande sera sa résistivité. Lorsque la résistivité de l'eau de formation (ou sa salinité) est plus élevée que celle de la boue de forage, cela cause une différence de potentiel négative (Figure 14). À l'inverse, lorsque la résistivité de l'eau de formation (ou sa salinité) est plus faible que celle de la boue de forage, cela cause une différence de potentiel positive. La porosité joue également un rôle en accentuant l'effet. Plus une roche est poreuse, plus la différence de potentiel sera élevée, alors qu'elle devient nulle dans une roche imperméable ayant une très faible porosité.

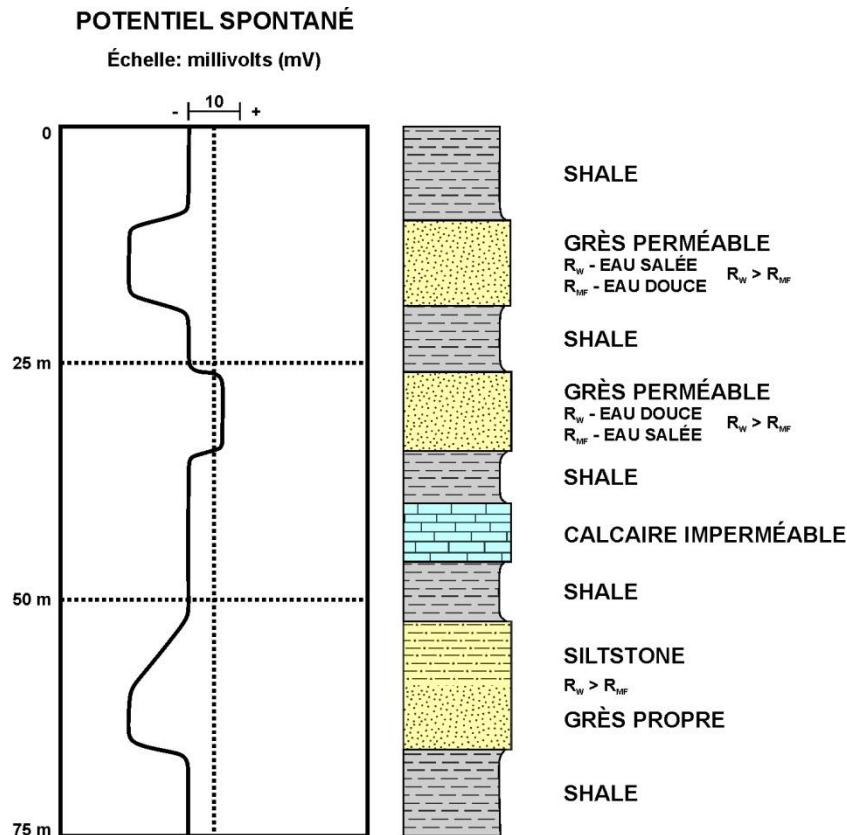


Figure 14 - La diagraphie du potentiel spontané et sa signature typique pour différentes roches et leur contenu en fluide. R_w , résistivité de l'eau de formation; R_{mf} , résistivité de la boue de forage. Adaptée de Rider (2002).

2.4. Neutron

La diagraphie neutron (en anglais, « *neutron log* ») fournit un enregistrement continu de la réaction des roches à un bombardement de neutrons par une source radioactive fixée au bas de la sonde. Ces neutrons pénètrent et interagissent avec la roche et perdent une partie de leur énergie. Ce sont les atomes d'hydrogène qui sont les atomes responsables de cette perte d'énergie. Plus il y a de noyaux d'hydrogène présents

dans la roche, plus forte sera la baisse d'énergie de ces neutrons. Étant donné que les atomes d'hydrogène se trouvent essentiellement dans la composition de l'eau et des hydrocarbures qui remplissent les pores de la roche, la corrélation entre la quantité d'atomes d'hydrogène et la porosité apparente de la roche est étroitement liée.

Le résultat de la diagraphie porosité-neutron est généralement calibrée avec les roches calcaires et dans ce cas, la porosité-neutron correspond ainsi à porosité

réelle dans les roches calcaires (Figure 15). Toutefois, des facteurs de conversion doivent être utilisés pour toutes autres lithologies, telles que les grès et les dolomies. En plus d'être utilisée comme mesure de la porosité apparente, la diagraphie neutron est également très efficace pour discriminer les lithologies lorsque combinée avec une diagraphie de densité. Cette mesure est présentée en termes d'unités de porosité-neutron (en %), qui est une indication de la richesse en atomes hydrogène contenus dans la roche, tandis que les diagraphies neutron non calibrées

utilisent l'unité NAPI (*Neutron American Petroleum Institute*) qui est définie dans un puits de référence à l'Université de Houston au Texas.

Il est à noter que l'échelle de l'index de porosité-neutron (en %) est décroissante (Figure 15), donc les valeurs les plus élevées se retrouvent vers la gauche, tandis que les valeurs les plus faibles se situent vers la droite. De plus, la diagraphie porosité-neutron est insensible aux irrégularités de puits (Figure 15).

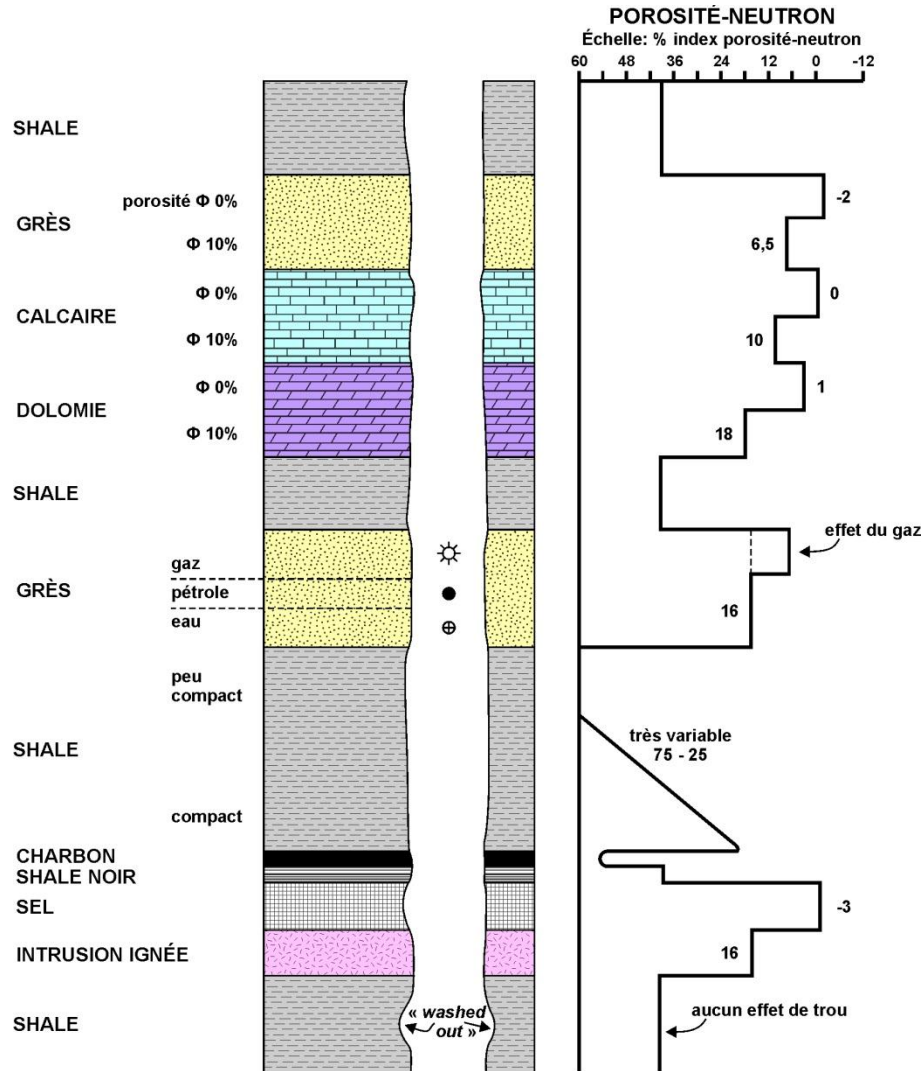


Figure 15 - La diagraphie porosité-neutron et sa signature typique pour différentes roches. Adaptée de Rider (2002).

2.5. Densité

La diagraphie de densité (en anglais, « *density log* ») soumet la roche à un bombardement de rayons gamma au moyen d'une source radioactive fixée au pied de la sonde. Une mesure de densité consiste à comptabiliser

les photons arrivant aux détecteurs lorsque la sonde descend ou remonte dans le forage. Il est possible de convertir les coups par seconde reçus à chaque détecteur en valeur de densité à condition d'avoir une calibration de l'outil très précise effectuée dans des forages avec des matériaux de densité connue.

Le résultat correspond à la densité totale de la roche (ou densité de formation), incluant à la fois la matrice et le fluide remplissant les pores. Ainsi, cette diagraphie varie selon la densité des minéraux composant la roche (la matrice) et des fluides présents dans la roche (la porosité de la roche). Donc, plus la porosité de la roche est élevée, plus faible sera la densité.

C'est ainsi que de façon quantitative, la diagraphie de densité est surtout utilisée pour évaluer la porosité. Toutefois, elle peut également être utilisée pour identifier des lithologies, surtout en la combinant avec une diagraphie neutron calibrée (porosité-neutron). Ainsi, lorsque la diagraphie de densité est calibrée en fonction d'une matrice particulière (grès, dolomie ou calcaire), on parle alors de porosité-densité (Figure

16).

La porosité-densité est proportionnelle à la densité totale de la roche et n'est qu'une façon différente de présenter les résultats. La densité totale de la roche est exprimée en gramme par centimètre cube (g/cm^3) tandis que la porosité-densité est en pourcentage (%).

Il est à noter que l'échelle de l'index de porosité-densité (en %) est décroissante, donc les valeurs les plus élevées se retrouvent vers la gauche, tandis que les valeurs les plus faibles se situent vers la droite. Finalement, la diagraphie porosité-densité est plutôt sensible aux irrégularités de puits (Figure 16).

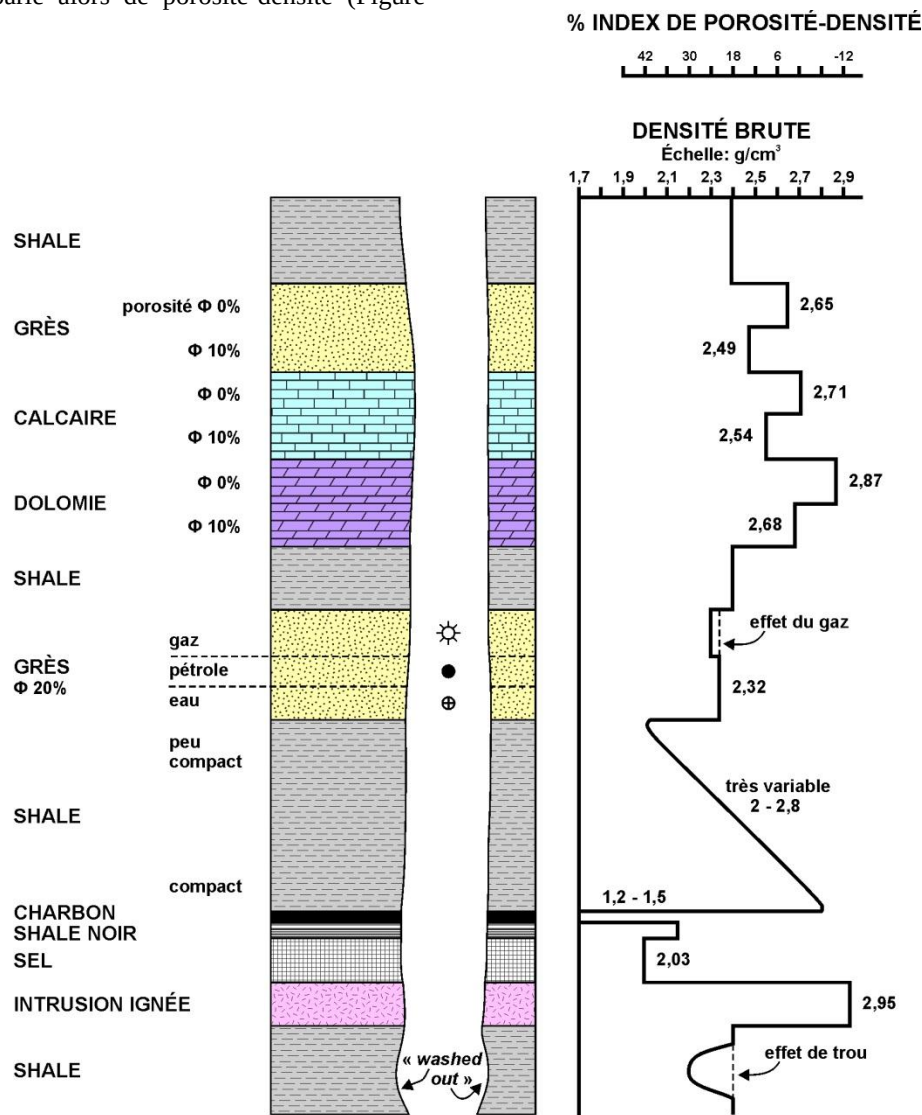


Figure 16 - La diagraphie porosité-densité et sa signature typique pour différentes roches. Adaptée de Rider (2002).

2.6. La combinaison porosité-neutron et porosité-densité

Il est difficile d'identifier les lithologies rencontrées dans un puits en utilisant séparément les diagraphies de densité et de neutron. Toutefois, en les combinant, elles deviennent possiblement un de meilleurs indicateurs lithologiques qui soit.

Les diagraphies de densité et neutron sont fonction d'un paramètre commun : la porosité de la roche. Étant donné que les diagraphies de porosité-densité et de porosité-neutron sont toutes deux communément calibrées en fonction d'une roche pure en calcaire, leurs courbes deviennent identiques et se superposent lorsque transposées sur des échelles de porosité communes. Ainsi, sur un graphique de la porosité-neutron en fonction de la porosité-densité, on observe une relation linéaire dans les roches calcaires (en anglais, « *clean limestone line* »), mais des courbes plus ou moins prononcées dans le cas des grès et des dolomies (Figure 17). L'explication de cette différence réside dans le fait que la variabilité de la matrice au

sein de ces roches, donc de la densité, cause des effets divers sur les diagraphies, selon la lithologie rencontrée.

Ainsi, lorsque les diagraphies sont transposées sur des échelles de porosité commune, cela se traduit par une séparation des courbes, négative ou positive, plus ou moins prononcées, selon la lithologie (Figure 18). Une roche pure en calcaire ne montre aucune séparation des courbes, tandis qu'un grès pur crée une séparation légèrement négative (porosité-neutron plus faible que porosité-densité). À l'inverse, une séparation moyennement positive (porosité-neutron plus élevée que porosité-densité) est typique des dolomies pures. Finalement, les shales créent une séparation fortement positive des courbes (porosité-neutron plus élevée que porosité-densité).

Il est à noter que l'échelle de l'index des porosité-neutron et porosité-densité (en %) est décroissante, donc les valeurs les plus élevées se retrouvent vers la gauche, tandis que les valeurs les plus faibles se situent vers la droite.

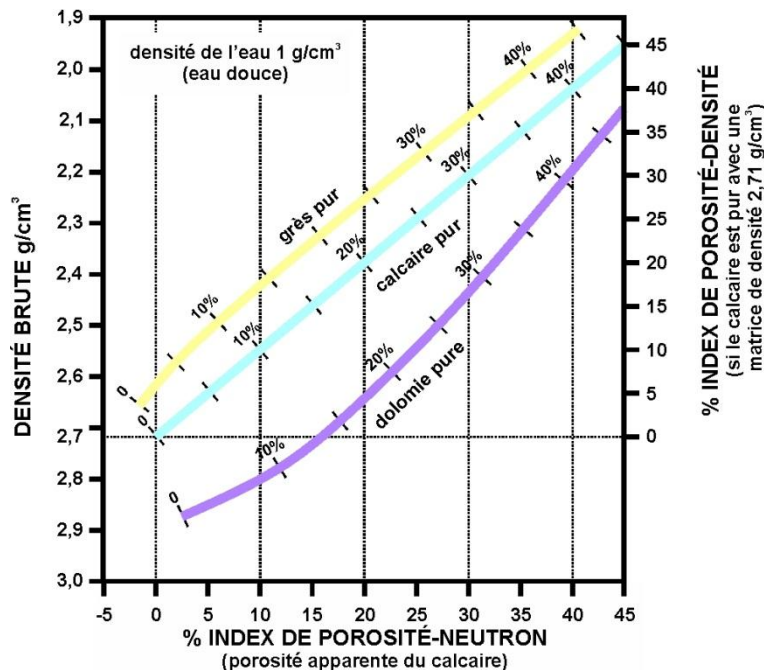


Figure 17 - Graphique de la porosité-densité en fonction de la porosité-neutron. Adaptée de Rider (2002).

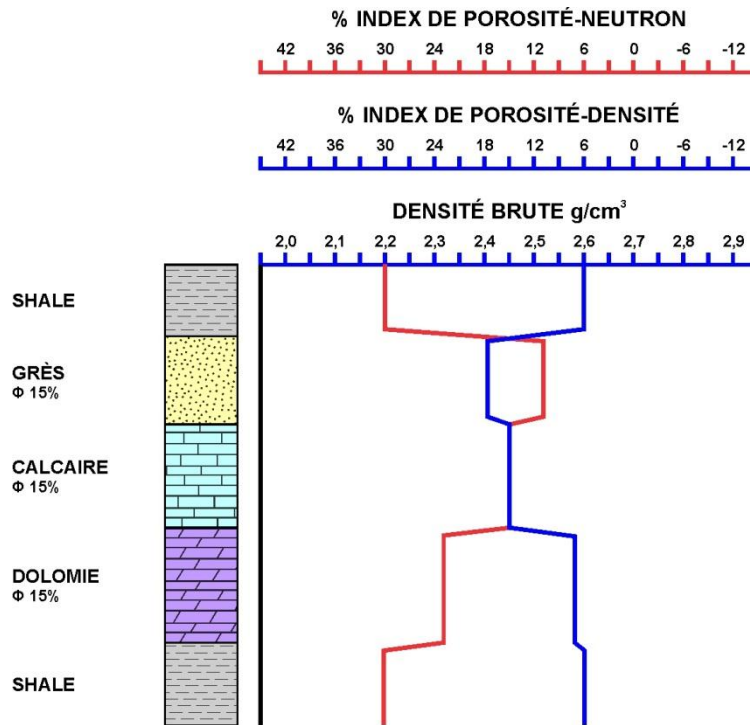


Figure 18 - La combinaison des diagraphies porosité-neutron et porosité-densité et leur signature typique pour différentes roches. Adaptée de Rider (2002).

2.7. Acoustique (sonic)

La diagraphie acoustique (en anglais, « sonic ») est basée sur l'étude de la propagation dans les roches d'ondes acoustiques générées par un outil le long d'un puits. La mesure de la vitesse de propagation de ces ondes et de leur atténuation apporte des renseignements sur les propriétés mécaniques des roches traversées (lithologie, porosité, fluide de formation). La propagation d'ondes acoustiques dépend en effet des propriétés élastiques des unités géologiques. Le paramètre mesuré est la vitesse de propagation des ondes P et est mesurée en microsecondes par mètre ($\mu\text{sec/m}$) ou en microsecondes par pied ($\mu\text{sec/pi}$).

À partir d'un transmetteur qui émet une onde acoustique, la diagraphie acoustique traditionnelle enregistre la différence de temps d'arrivée des ondes de compression (ondes P) entre deux récepteurs. Une nouvelle génération de diagraphies acoustiques permet aujourd'hui d'enregistrer des ondes de compression, de cisaillement et de Stoneley (Figure 19).

Parfois, la première arrivée (ou l'onde de compression P), bien qu'assez forte pour arriver au premier récepteur, peut devenir trop faible quand elle arrive au deuxième récepteur, celui-ci peut alors être excité par une arrivée trop tardive. Le temps de transit sera alors

trop grand, c'est ce que l'on appelle le phénomène de « *skipping* ». Les mesures de la diagraphie montrent alors un décrochement abrupt vers les hautes valeurs. Le « *skipping* » peut être très important quand le signal est très atténué par, comme par exemple : des zones fracturées, la présence de gaz, etc.

La diagraphie acoustique est utilisée pour faire des corrélations entre puits, pour estimer la porosité, pour aider à l'interprétation sismique et finalement pour créer des sismogrammes synthétiques. Elle peut aussi aider à différencier certaines lithologies comme les shales et les grès (Figure 20). Les dolomies sont la lithologie dans laquelle les ondes acoustiques traversent le plus lentement, suivies des calcaires puis des grès. À l'inverse, les shales sont un milieu dans lequel les ondes acoustiques parcourent à une vitesse beaucoup plus élevée, parfois jusqu'à deux fois plus rapidement que dans les dolomies, les calcaires et les grès. La porosité joue également un rôle important dans la propagation des ondes acoustiques. En effet, plus la porosité est élevée, plus l'onde acoustique circule rapidement dans la roche.

Il est à noter que l'échelle de la diagraphie acoustique est décroissante, donc les valeurs les plus élevées se retrouvent vers la gauche, tandis que les valeurs les plus faibles se situent vers la droite. De plus, la diagraphie acoustique est relativement peu sensible aux irrégularités de puits.

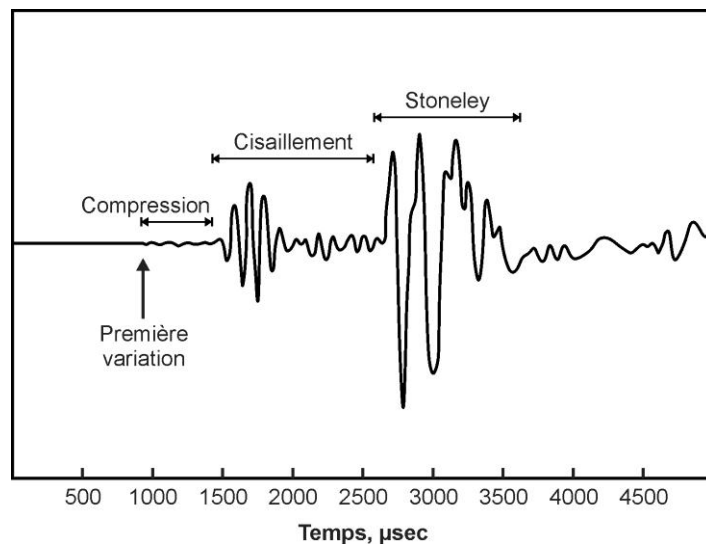


Figure 19 - Forme d'onde acoustique typique enregistrée dans un puits. Trois temps d'arrivée distincts sont identifiés. Modifiée d'Ellis et Singer (2007).

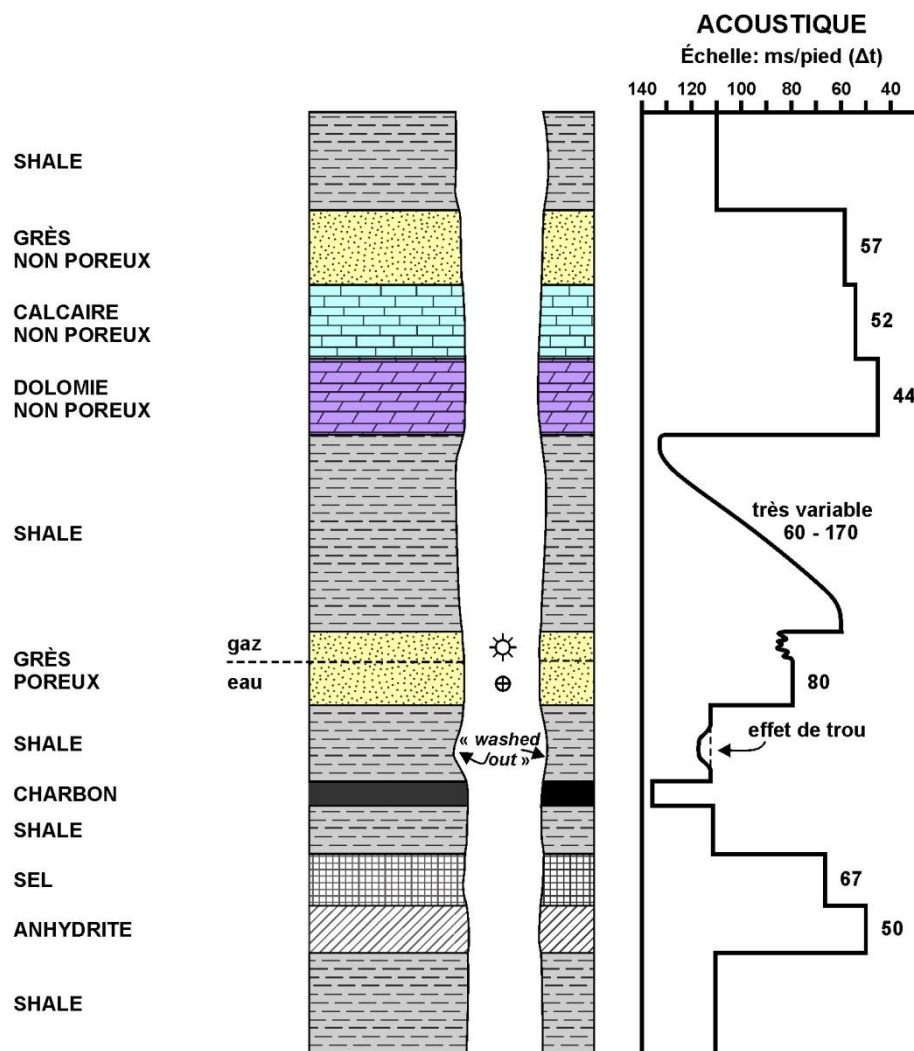


Figure 20 - La diagrapie acoustique et sa signature typique pour différentes roches. Adaptée de Rider (2002).

2.8. Effet photoélectrique (litho-densité)

La diagraphie de l'effet photoélectrique (en anglais, « *photoelectric factor* ou *PEF log* » ou bien « *litho-density tool* ou *LDT* ») mesure l'indice d'absorption photoélectrique de la roche le long d'un puits en émettant des rayons gamma. Étant donné que l'indice d'absorption photoélectrique est étroitement lié à la densité d'électrons présents, cet indice est par le fait même associé au numéro atomique moyen. En termes géologiques, l'indice d'absorption photoélectrique dépend de la composition de la roche, ce qui en fait un bon indicateur lithologique (Figure 21), car chaque minéral possède une valeur d'effet photoélectrique qui lui est propre. Par exemple, l'effet photoélectrique est

de 1.81 pour le quartz, 5.08 pour la calcite et 3.14 pour la dolomie, dont l'unité de mesure est le barn par électron (barn/électron). Ainsi, les grès sont les roches affichant généralement les valeurs les plus faibles sur la diagraphie de l'effet photoélectrique, suivis par la suite par les dolomies, les shales puis les calcaires.

La porosité et les fluides de formations ont peu d'effet sur l'index d'absorption photoélectrique, car leur complexité atomique est très. En effet, la Figure 22 montre que la densité de la roche varie grandement en fonction de la porosité, tandis que l'effet photoélectrique demeure quasi-constant. Finalement, les irrégularités de puits peuvent influencer grandement les mesures de la diagraphie de l'effet photoélectrique (Figure 21), dépendamment de la boue de forage utilisée.

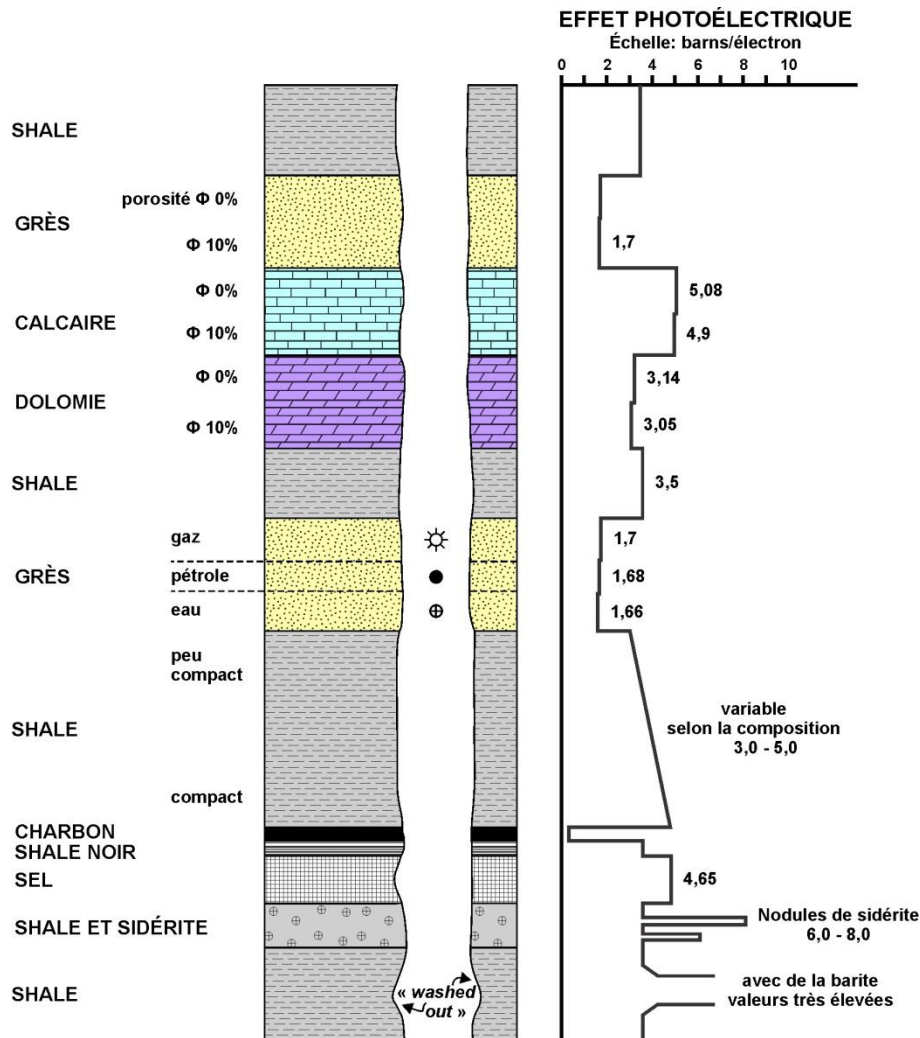


Figure 21 - La diagraphie de l'effet photoélectrique et sa signature typique pour différentes roches. Adaptée de Rider (2002).

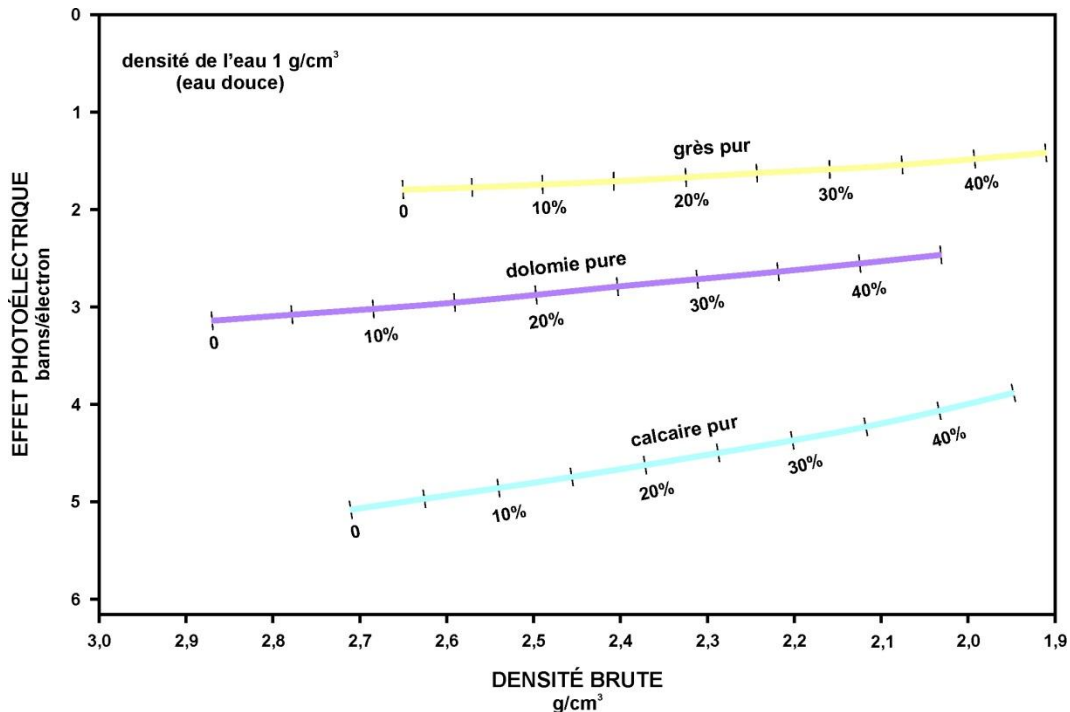


Figure 22 - Graphique de l'effet photoélectrique en fonction de la densité brute. Adaptée de Rider (2002).

2.9. Résistivité

La diagraphe de résistivité enregistre la résistance spécifique d'une roche au passage d'un courant électrique. La conductivité peut aussi être enregistrée mais elle est habituellement convertie en résistivité. La résistivité est mesurée en ohm-mètre (ohm-m) et est représentée sur une échelle logarithmique.

Dans la plupart des cas, la diagraphe de résistivité est de type électrolytique, c'est à dire que les roches conduisent le courant électrique grâce au fluide qu'elles contiennent. En effet, la plupart des roches sont considérées comme des isolants électriques tandis que les fluides contenus dans leurs pores agissent comme conducteurs électriques. Les hydrocarbures font exception de telle sorte qu'ils sont au contraire extrêmement résistifs. Ainsi, des roches poreuses remplies d'eau salée donneront une signature faible en résistivité, alors que si les pores de cette même roche sont occupés par des hydrocarbures, la résistivité sera très élevée (Figure 23). C'est pour cette raison que l'utilité première de la diagraphe de résistivité est l'identification des zones contenant des hydrocarbures.

La résistivité est essentiellement mesurée à l'aide de deux méthodes selon les conditions du puits. Si le puits contient une boue conductrice, on fait passer un courant électrique entre deux électrodes et on mesure

la baisse de potentiel entre les deux électrodes. Dans le cas d'un puits rempli de boue non conductrice (à base d'huile, par exemple) le courant électrique est induit à partir d'un champ magnétique qui est généré directement dans le puits par une bobine (en anglais, « coil »).

Les conditions idéales pour la diagraphe de résistivité est que les roches ne soient pas influencées par les opérations de forage. En pratique, la boue de forage utilisée lors des opérations pénètre cependant à différents degrés dans la roche, influençant ainsi sa résistivité. Selon la quantité de fluide d'origine ayant été expulsé de la roche et remplacée par la boue de forage, on parle de différentes zones d'invasion. Dans la région immédiate du puits, lorsque le fluide d'origine est presque complètement remplacé par la boue de forage, on utilise le terme de zone lessivée (en anglais, « flushed zone »). Ensuite, la boue de forage diminue graduellement au profit du fluide d'origine jusqu'à la roche vierge n'ayant pas été contaminé par la boue de forage et ne contenant que le fluide d'origine. Cette transition est appelée zone envahie (en anglais, « invaded zone ») (Figure 24).

Les changements de fluides influencent donc la résistivité en fonction de la distance du puits. Plusieurs instruments de résistivité permettent ainsi d'obtenir des résultats avec un rayon d'influence différent. On parle d'une investigation profonde (en anglais,

« *deep* » ou « *focused* ») quand la résistivité est mesurée loin du puits et d'une investigation peu profonde (en anglais, « *shallow* ») quand elle est mesurée près du puits. Habituellement, ces deux diagraphies sont présentées conjointement afin de faciliter les comparaisons et même qu'une troisième, l'investigation intermédiaire (en anglais, « *medium* »), peut aussi être couplée.

Les diagraphies de résistivité ont été développées dans

le but de découvrir des réservoirs d'hydrocarbures. Elles sont cependant aussi utilisées qualitativement pour faire des corrélations géologiques ainsi que pour obtenir des informations sur la lithologie (Figure 25). D'une manière générale, les grès sont les roches qui affichent habituellement la résistivité la plus faible, suivis par les shales. À l'inverse, les roches calcaires ainsi que les dolomies montrent une résistivité très élevées.

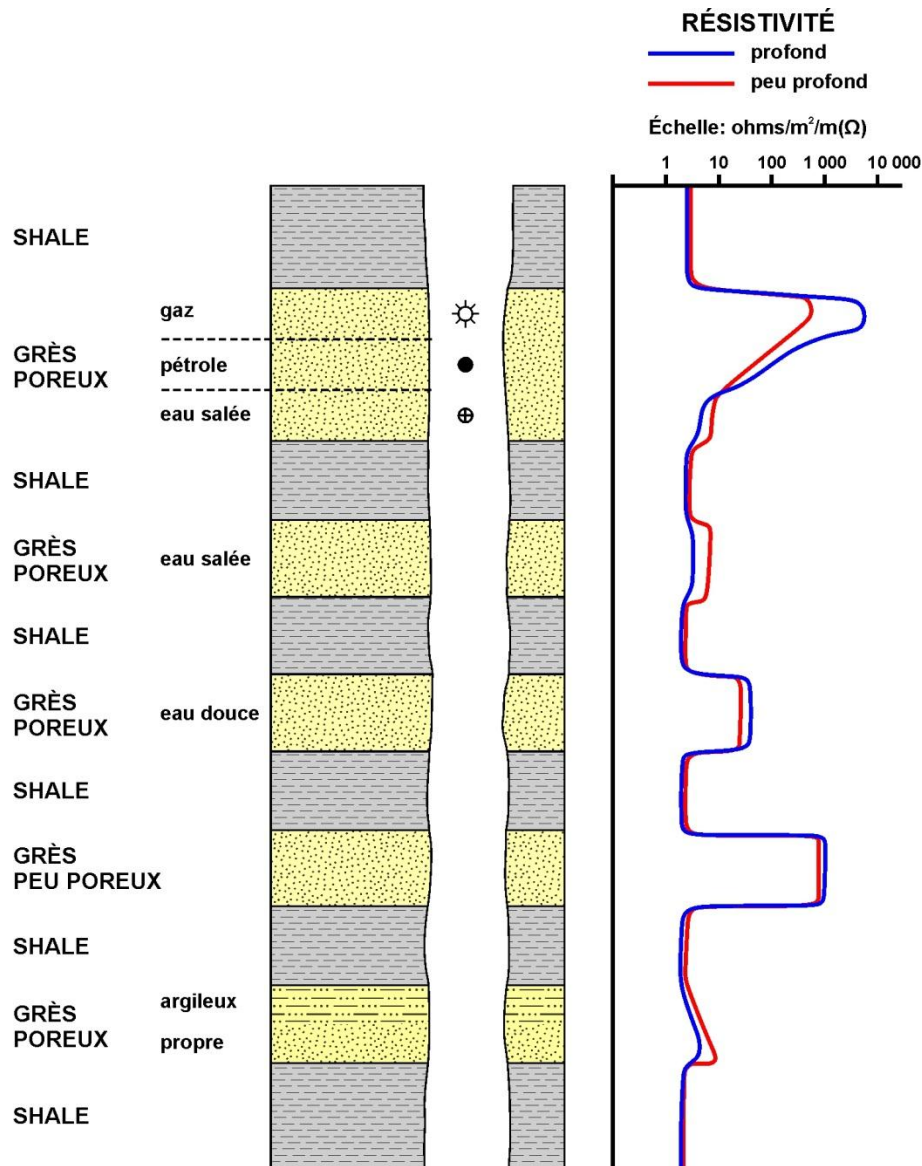


Figure 23 - La diagraphie de la résistivité et sa signature typique pour différentes roches et leur contenu en fluide. Adaptée de Rider (2002).

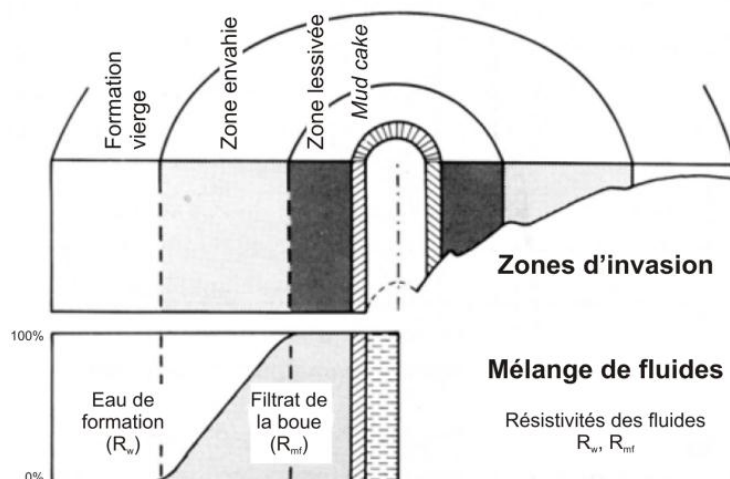


Figure 24 - Zones d'invasion lors d'un forage et représentation schématique du mélange des fluides. R_w : résistivité réelle de la formation. R_{mf} : résistivité du filtrat de la boue. Modifiée de Rider (2002).

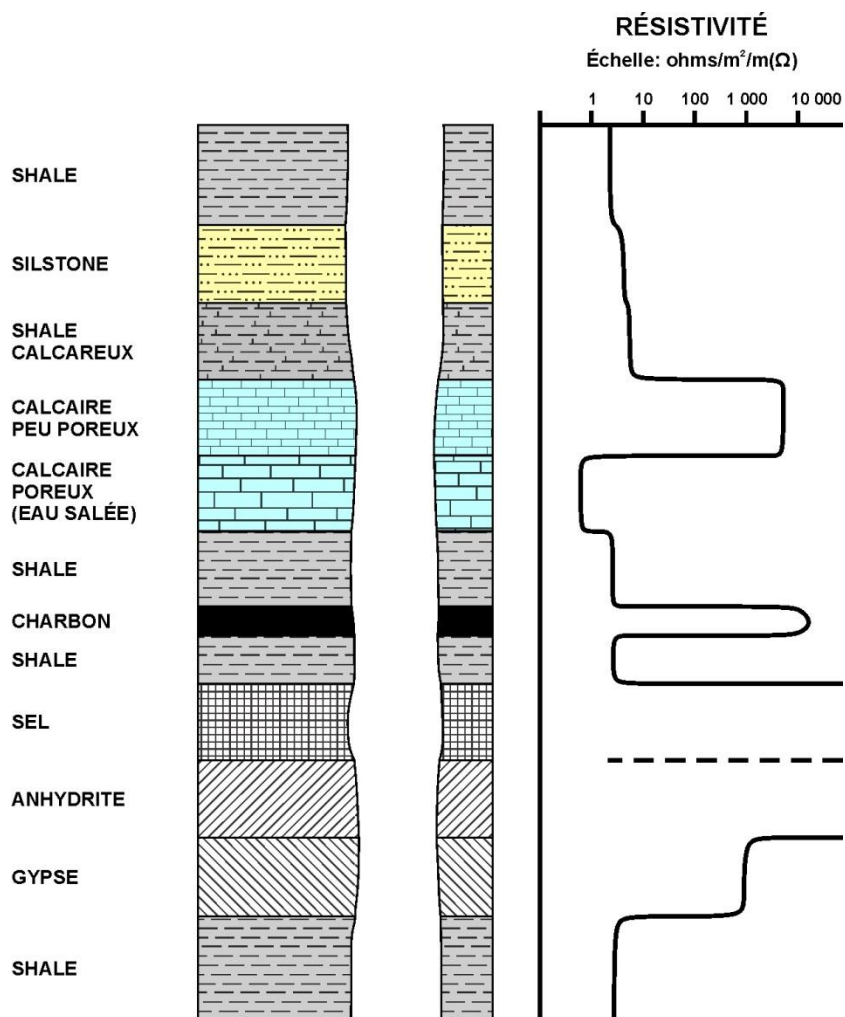


Figure 25 - La diagraphie de la résistivité et sa signature typique pour différentes roches. Adaptée de Rider (2002).

3. Caractérisation diagraphique des unités des Basses-Terres du Saint-Laurent

La reconnaissance des patrons ou de la signature des diagraphies enregistrées dans un puits joue un rôle crucial dans la corrélation et l'extrapolation des unités géologiques en profondeur. Évidemment, les lithologies et les faciès évoluent verticalement et latéralement, mais étant donné que leur signature diagraphique est habituellement similaire, il est ainsi possible de corréler ces lithologies et ces faciès sur de grandes distances en utilisant des marqueurs diagraphiques propres à ces lithologies et ces faciès. En fait, ce sont les hétérogénéités géologiques qui sont particulièrement intéressantes et utiles avec l'utilisation des diagraphies. En effet, les limites des formations géologiques, les discordances et les failles sont toutes des hétérogénéités qui sont primordiales dans la corrélation et l'extrapolation de la géologie en sous-surface et qui peuvent être reconnues à partir de l'étude des diagraphies.

En s'inspirant essentiellement des travaux antérieurs réalisés en affleurement sur les différentes unités géologiques du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent, nous avons revu et uniformisé la stratigraphie de soixante-dix-neuf (79) puits basée sur l'étude de la signature de leurs diagraphies (Figure 27 et Annexes 1 et 2). Chaque puits se présente sous forme de diagraphie composite en tenant compte des informations des puits, de la description lithologique des retailles de forage, des indices survenus au cours du forage, de la position des coffrages et des carottes de forage, des intervalles des essais aux tiges (« *Drilling Stem Test* ou *DST* »); le tout couplé avec les diagraphies enregistrées dans le puits (Annexe 3).

Nous nous sommes toutefois limités à la séquence allant du Groupe de Potsdam jusqu'au Shale d'Utica (Figure 6). Ainsi, les groupes de Sainte-Rosalie, Lorraine et de Queenston ne font pas partie de ce travail de compilation.

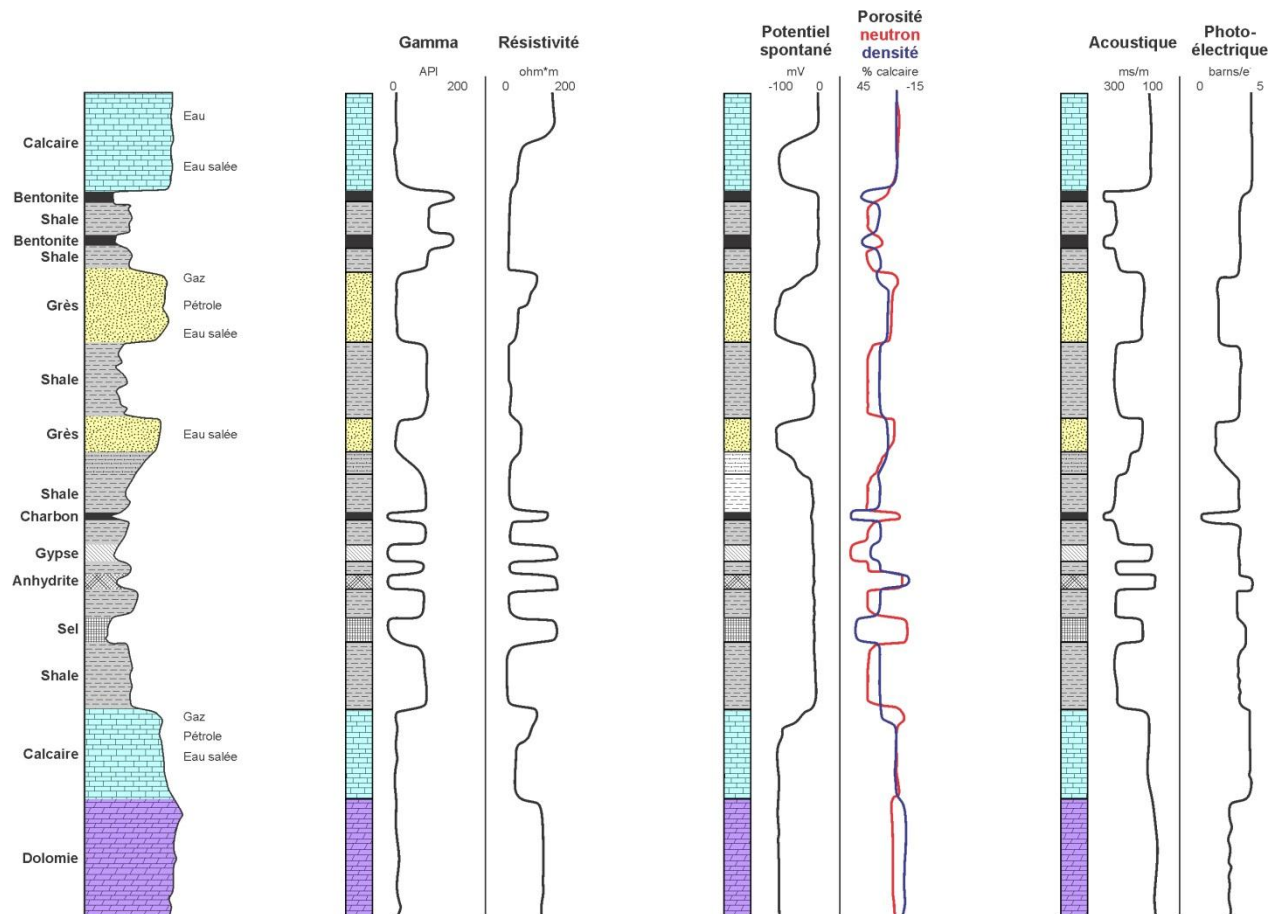


Figure 26 - Les diagraphies et leur signature en fonction des lithologies rencontrées. Adaptée de Rider (2002) et Evenick (2008).

L'étude des logs composites a permis de définir les caractéristiques lithologiques et diagraphiques des unités géologiques du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent rencontrées dans les puits. À partir de ces caractéristiques, les limites entre les unités stratigraphiques ont été définies de façon uniforme pour chacun des puits étudiés (Annexes 1, 2 et 3). Les puits étudiés possèdent des diagraphies qui aident à bien identifier les sommets des formations. Il est relativement facile de faire la distinction entre les formations lorsqu'au minimum, les diagraphies du rayonnement gamma naturel, du neutron, de la densité et de l'acoustique sont disponibles.

Dans les années 1950-1960, l'enregistrement des diagraphies se limitait généralement à celle du rayonnement gamma naturel couplé à celle du neutron et parfois de la densité, ces deux dernières généralement non calibrées. Dans ce cas, il est plus

difficile de distinguer la limite des formations, notamment à l'intérieur du Groupe de Beekmantown. La description des retailles de forage faite par le géologue de l'époque, que l'on retrouve parmi les documents publics sous forme de rapports de fin de forage, est alors essentielle afin de discriminer les grandes tendances lithologiques au sein d'un puits.

Dans certains puits, des formations ont été regroupées lorsque les distinctions étaient trop difficiles à faire à l'aide des données de forage afin d'assurer une uniformité des interprétations dans tous les puits analysés. C'est d'ailleurs le cas pour les groupes de Trenton, de Black River et de Chazy, dont non seulement les formations ne sont pas différenciées, mais qui forment également une unité commune et dont les limites entre ces groupes ont été abandonnées, et ce dans tous les puits revus et uniformisés dans ce travail.

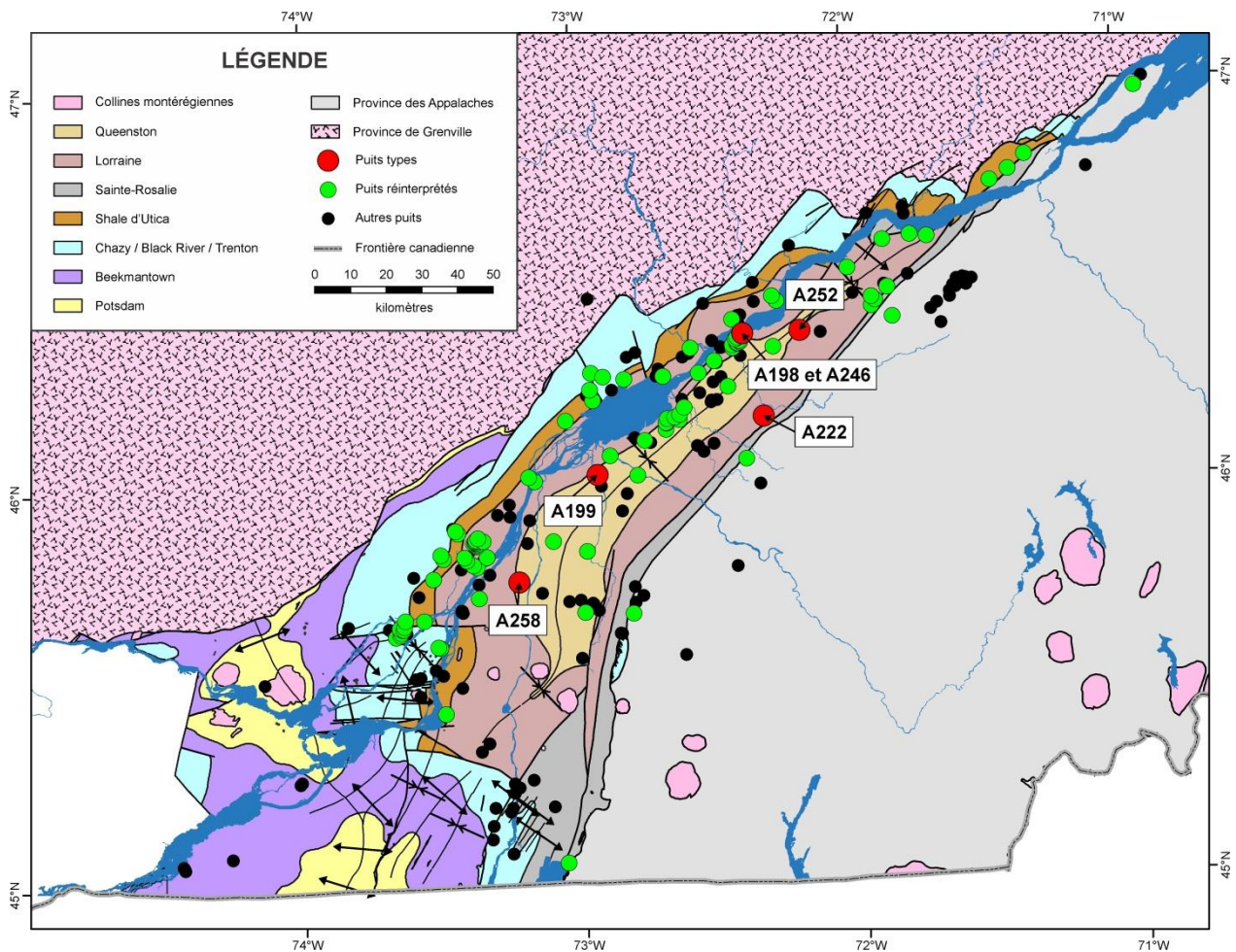


Figure 27 - Carte géologique (Globensky, 1987; SIGPEG, 2008) et localisation des puits réinterprétés (en vert) basés sur l'étude des diagraphies. Les puits-types (en rouge) choisis pour ce rapport sont aussi identifiés conformément à leur numéro attribué par le MRN (SIGPEG, 2011).

3.1. Shale d'Utica

Nomenclature

Le nom d'Utica a été utilisé pour la première fois par Emmons (1842) et Vanuxem (1842) pour désigner des affleurements de shale noir de la ville d'Utica dans l'État de New York. Au Québec, Logan (1863), Ami (1892; 1900) et Raymond (1913) utilisèrent le nom de « shale d'Utica » pour une séquence de roches analogue. Clark (1947) introduisit le terme « Groupe d'Utica », dans lequel il plaça la Formation de Lotbinière, située entre le Groupe de Trenton et la Formation de Leclercville, à la base du Lorraine. Clark et Globensky (1973) appelèrent Formation de Lotbinière l'ensemble des shales de la région de Lotbinière, à Pointe-Platon, aux Chutes Montmorency ainsi que dans la région de Beaupré, et aux alentours de la ville de Québec. Aujourd'hui, ces roches font maintenant partie du Groupe de Sainte-Rosalie. Dans la région de Montréal, le Shale d'Utica était auparavant appelé Formation de Lachine (Hofmann, 1972; Clark et Globensky, 1976a, b).

Dans l'État de New York (Goldman *et al.*, 1994; Baird et Brett, 2002), le Shale d'Utica est subdivisé en trois formations, soit: (1) la Formation de Flat Creek, située à la base et en contact avec le Trenton sous-jacent; (2) la Formation de Dolgeville, située dans la partie médiane; et (3) la Formation d'Indian Castle, au sommet et en contact avec le Groupe de Lorraine sus-jacent.

Lithologie

Dans la partie supérieure du Groupe de Trenton, les calcaires deviennent de plus en plus argileux, dû à l'approfondissement du bassin, pour faire suite aux shales noirs plus ou moins calcaireux de l'Utica (Figure 6). Le Shale d'Utica consiste en un shale calcaireux gris foncé à noir brunâtre ayant une odeur de pétrole, contenant de minces interlits de grès à grains fins et de dolomie. Des concrétions aplaties et carbonatées sont aussi présentes par endroits.

Au-dessus du Shale d'Utica, des roches terrigènes de teinte grise, comprenant de shales silteux, des interlits de grès et des lentilles de calcaires, forment les unités turbiditiques du bassin d'avant-pays des groupes de Sainte-Rosalie et de Lorraine (Figure 6 et Figure 9).

Sur le terrain ou en forage, il devient très difficile, cependant, de distinguer avec précision la limite entre les groupes d'Utica et de Sainte-Rosalie ou de Lorraine. L'imprécision des indices lithologiques entraîne une certaine incertitude dans le tracé de la limite entre les deux unités. Mis à part la couleur plus foncée des Shales d'Utica, un contenu en fossiles

restreint à des graptolites et un pourcentage moindre d'interlits de grès et de siltstone, il devient impossible, en certains endroits, de séparer les deux unités avec certitude. Dans ces cas-là, le critère de distinction demeure souvent le pourcentage d'interlits de grès et de siltstone: s'il y a moins de 50% d'interlits il s'agit de l'Utica, s'il y en a plus de 50%, il s'agit du Lorraine. Toutefois, la limite entre ces unités est facilement identifiable à partir des diagraphies.

Puits-type

Les puits A258 (Junex, Saint-Antoine-sur-Richelieu No 1) et A252 (Talisman Energy, Gentilly No 1) fournissent deux exemples classiques et très différents de contact entre le Groupe de Lorraine et le Shale d'Utica (Figure 27). Le premier montre un contact brusque (Figure 28), tandis que le second est plutôt graduel (Figure 29). Ces cas semblent s'observer systématiquement de part et d'autre de la faille de Yamaska. En effet, un contact net entre le Groupe de Lorraine et le Shale d'Utica s'observent sur les diagraphies au nord de la faille de Yamaska, tandis qu'un contact plutôt graduel s'observe au sud de celle-ci.

Caractéristiques diagraphiques

Les caractéristiques diagraphiques du Shale d'Utica sont les suivantes :

- 1A - Baisse du rayonnement gamma naturel au passage des roches du Groupe de Lorraine vers le Shale d'Utica (Figure 28 et Figure 29). Cette observation est caractéristique de l'apparition du contenu calcaireux du Shale d'Utica, tandis que les roches du Groupe Lorraine contiennent plus d'argiles. En effet, la Figure 13 montre le rayonnement gamma naturel devient très faible dans les roches calcaires, tandis qu'il est très élevé dans les roches argileuses telles que les shales. Le contact est net vers le nord-ouest (Figure 28) mais plus graduel vers le sud-ouest du bassin (Figure 29). Lorsque le passage est graduel, le contact est placé au sommet de la zone de transition.
- 1B - Diminution marquée de la porosité-neutron (en rouge) au passage du Groupe de Lorraine vers le Shale d'Utica, s'approchant ainsi de la courbe de la porosité-densité (en bleu), signe de la présence de calcaire au sein de la roche (Figure 28 et Figure 29). Comme le montre la Figure 18, la courbe de la porosité-neutron diminue lorsqu'elle passe des shales vers les calcaires pour venir se confondre avec la courbe de porosité-densité.
- 1C - Baisse de l'acoustique (en rose) et hausse de l'effet photoélectrique (en vert) au passage du Groupe de Lorraine vers le Shale d'Utica, indice de l'arrivée de roches plus calcaireuses (Figure 28 et

Figure 29). La Figure 20 montre en effet que les valeurs de la diagraphie acoustique sont très faibles dans les roches calcaires, tandis qu'elles sont élevées dans les shales. À l'inverse, la courbe de l'effet photoélectrique montre à la Figure 21 que les valeurs sont plus élevées au sein des roches calcaires qu'en présence de shales.

- 1D - Résistivité plus élevée, résultat d'un contenu plus calcaire au passage du Groupe de Lorraine vers le Shale d'Utica (Figure 28 et Figure 29). La Figure 25 montre que c'est au sein des roches calcaires que la résistivité affiche les valeurs les plus élevées. À l'inverse, les valeurs deviennent très faibles dans les shales.

Subdivisions lithostratigraphiques

Thériault (2012a, b) sépare le Shale d'Utica en deux sous-unités, inférieure et supérieure, sous la base de critères géochimiques (Rock-Eval) et minéralogiques (diffraction-X). En effet, l'unité supérieure est caractérisée par des valeurs plus élevées en carbone organique total (COT) et une composition plus faible en calcaire que l'unité inférieure.

En tenant compte strictement des critères diagraphiques, il est également possible de subdiviser le Shale d'Utica en deux sous-unités basées selon quatre observations, tel qu'observées dans le puits A252 (Talisman Energy, Gentilly No 1) (Figure 29) :

- 1E - Le rayonnement gamma naturel est stable au sein de l'Utica supérieur et augmente en s'approchant de l'unité inférieure.
- 1F - Hausse de la porosité-neutron, s'éloignant ainsi de la courbe de la porosité-densité.
- 1G - Augmentation de l'acoustique, tandis que l'effet photoélectrique demeure stable.
- 1H - Baisse de la résistivité en s'approchant de l'unité inférieure.

Ainsi, le Shale d'Utica a été subdivisé en deux sous-unités dans les puits où il a été possible d'observer ces caractéristiques. Lorsque cela n'était pas possible, le Shale d'Utica a été laissé intact et n'a tout simplement pas été subdivisé, tel que nous l'observons dans le puits A258 (Junex, Saint-Antoine-sur-Richelieu No 1) (Figure 28).

A258 - Junex, Saint-Antoine-sur-Richelieu No 1

Profondeur totale : 1475,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 22,0 / 20,0 m

Année de forage : 2008

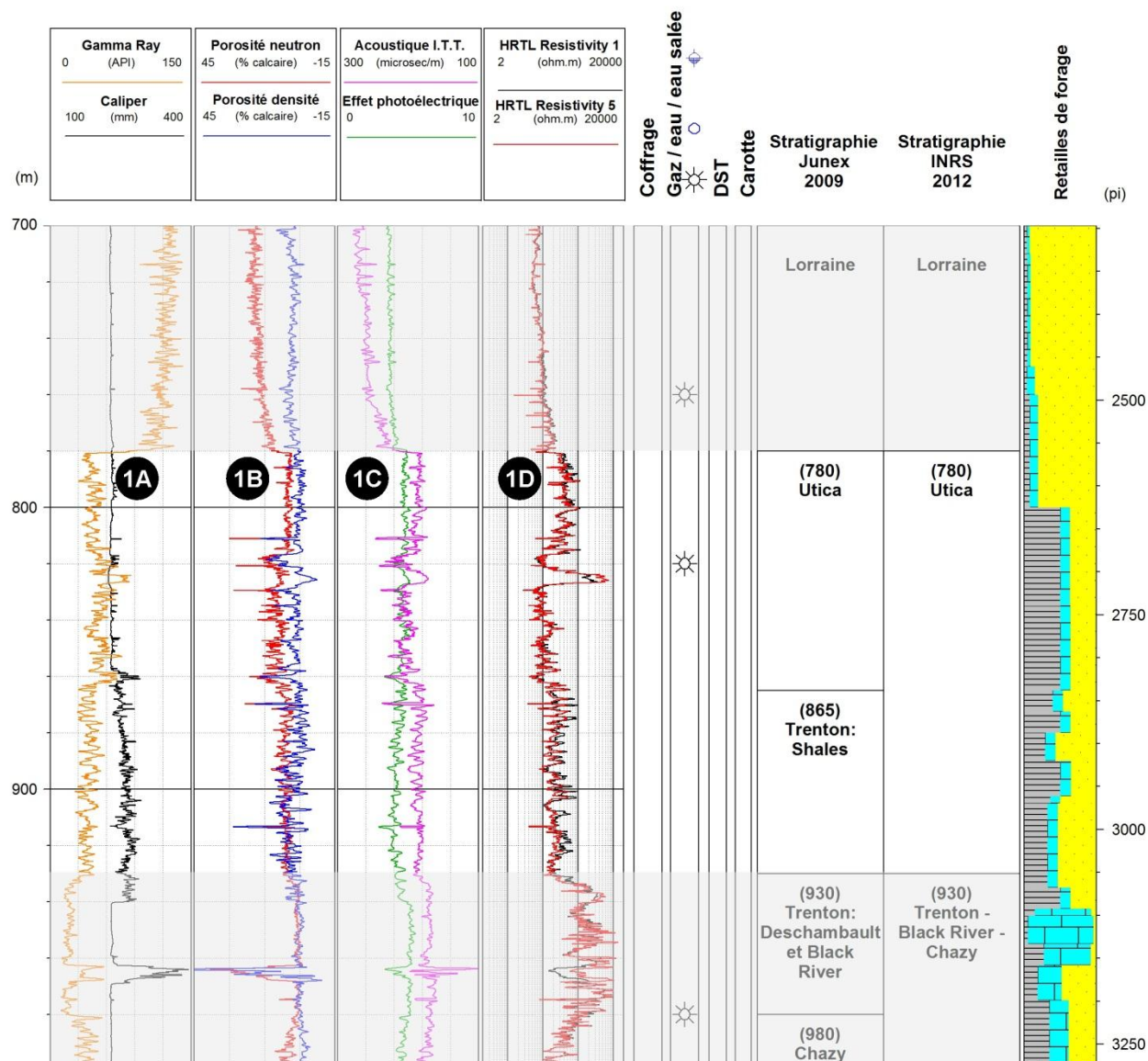


Figure 28 - Transition brusque entre le Shale d'Utica et le Groupe de Lorraine. Une légende explicative des éléments figurant dans les diagraphies composites se retrouve à l'annexe 3.

A252 - Talisman Energy, Gentilly No 1

Profondeur totale : 2530,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 42,4 / 38,0 m

Année de forage : 2006

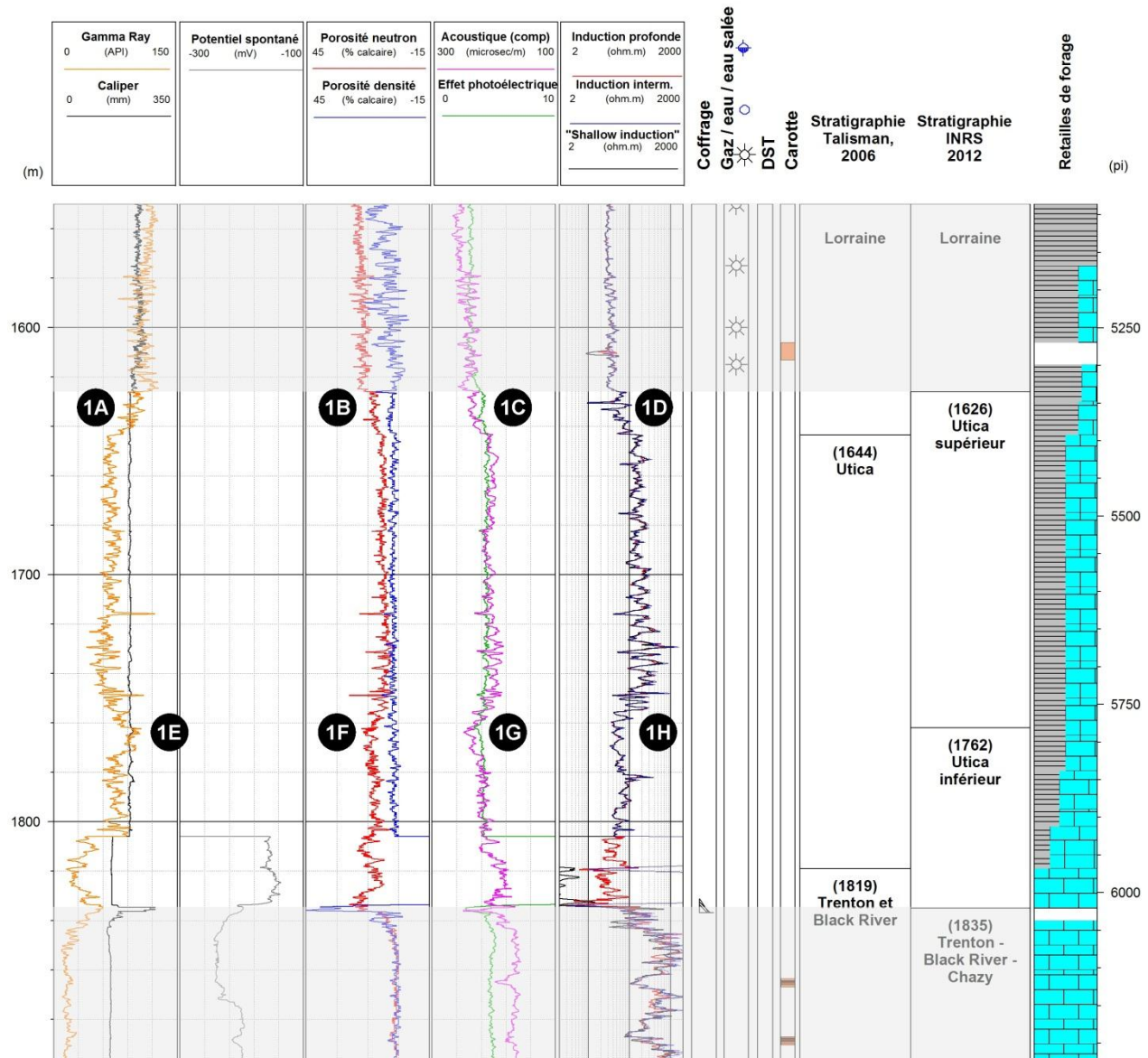


Figure 29 - Contact graduel entre le Shale d'Utica et le Groupe de Lorraine. Une légende explicative des éléments figurant dans les diagraphies composites se retrouve à l'annexe 3.

3.2. Groupes de Trenton/Black River/Chazy

Nomenclature

Le Groupe de Trenton a été nommé par Conrad (1838) et par Vanuxem (1838) pour désigner une succession stratigraphique située entre le calcaire du Black River et les shales noirs de l'Utica. Le nom est tiré des

chutes Trenton (dans l'État de New York), où la coupe-type est exposée. Dans les régions d'Ottawa et de Montréal, Raymond (1913), Clark (1944) et Wilson (1946) apposèrent tour à tour des noms géographiques aux subdivisions du Trenton. Par la suite, les différents travaux qui suivirent dans les Basses-Terres du Saint Laurent par notamment Clark (1972) et Globensky (1987) ont permis de compléter la nomenclature du

Trenton comme suit : (1) Formation de Tétreauville ou Neuville (au sommet); (2) Formation de Montréal ou Neuville; (3) Formation de Deschambault; et (4) Formation de Ouareau ou Pont-Rouge (Figure 6 et Figure 9).

Vanuxem (1842) a groupé sous le nom de « *Black River Limestones* », toutes les strates de l'État de New York comprises entre les groupes de Beekmantown et de Trenton, qui furent redéfinies un peu plus tard par Hall (1847). Cushing *et al.* (1910) a introduit officiellement le terme de Groupe de Black River, réunissant ainsi toutes les strates comprises entre le Chazy et le Trenton. Okulitch (1936), dans son étude du Groupe de Black River pour la région de Montréal et de ses environs, a subdivisé ce groupe en trois formations: (1) Formation de Leray (sommet); (2) Formation de Lowville; et (3) Formation de Pamelia (base). Cette nomenclature fut reprise par la suite par Clark (1952) et demeure aujourd'hui la même (Globensky, 1987) (Figure 6 et Figure 9).

Le Groupe de Chazy a été nommé par Emmons (1842) pour désigner un ensemble de strates calcaires entre le Beekmantown et le Black River situé dans le village de Chazy, dans l'état de New York. Logan (1863), Ami (1900) et Adams et Leroy (1904) en firent la description dans la région de Montréal. Raymond (1905; 1913) proposa le nom de Formation de Aylmer pour les roches du Groupe de Chazy de la région d'Ottawa. Un peu plus tard, Wilson (1937) subdivisa cette même unité en formations de Rockliff et de Saint-Martin. Dans la vallée du lac Champlain, Cushing (1905) donna plutôt les noms de Valcour, Crown Point ainsi que Daypoint. Au Québec, Clark (1952) introduisit le terme de Formation de Laval ainsi que les membres de Sainte-Thérèse et de Saint-Martin pour les parties basale et médiane du Groupe de Chazy. Hofmann (1963) réduit le Saint-Martin au rang de faciès et ajouta le Membre de Beaconsfield pour désigner les roches au sommet de l'unité, et cette nomenclature fut par la suite officialisée par Globensky (1987).

Lithologie

Le Groupe de Trenton est composé de calcaires argileux gris, gris-bleu ou même noirs, variant de microcristallins à cristallins et, en général, très fossilifères et bien stratifiés. Vers la partie supérieure du groupe, ces calcaires sont interstratifiés avec des interlits de shale variant d'une fraction de cm à quelques cm d'épaisseur. Le calcaire cristallin se rencontre, en général, à la base du groupe et se présente en lits épais pouvant atteindre jusqu'à 3 m d'épaisseur. Les calcaires du Groupe de Trenton se formèrent en milieu marin, de profondeur moyenne,

sur une plateforme carbonatée. Le Groupe de Trenton se divise en quatre unités principales (Globensky, 1987), qui correspondent aux formations de: Rockland (aussi appelé Ouareau ou Pont-Rouge), Deschambault, Montréal et Tétreauville (ou Neuville) (Figure 6 et Figure 9).

Le Groupe de Black River se divise en trois formations (Figure 6 et Figure 9) : le Pamélia qui contient des mudstones non calcaires et de la dolomie ; le Lowville contenant des calcaires lithographiques à « yeux d'oiseaux » et le Leray contenant des calcaires gris-noir. La sédimentation du Black River fut suivie d'une grande subsidence du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent et, ensuite, du dépôt des calcaires du Groupe de Trenton.

Le Groupe de Chazy repose en discordance sur le Groupe de Beekmantown. Un contraste net existe entre les deux groupes dénotant un autre épisode de régression-transgression de la mer ordovicienne. Ceci amena le dépôt de nouveaux sédiments terrigènes (sable et argile) au début; par la suite, des calcaires se déposèrent lorsque la mer devint plus profonde. Le Groupe de Chazy ne comporte qu'une seule unité, la Formation de Laval (Figure 6 et Figure 9), comprenant les membres de Sainte-Thérèse (grès), de Saint-Martin (calcarénite) et de Beaconsfield (calcisiltite argileuse).

Puits-type

Le puits A198 (SOQUIP Pétrofina, Bécancour No 2) a été choisi à titre de référence pour l'ensemble Trenton/Black River/Chazy (Figure 27 et Figure 30). Les limites entre ses trois groupes sont très difficiles à identifier de par leurs très grandes similitudes lithologiques, de sorte que ces trois unités ont été regroupées en une seule, une pratique généralement suivie dans l'industrie. En effet, ce sont plutôt sous des critères paléontologiques que les limites ont été tracées entre ces trois unités, donc des critères qui ne sont pas basées sur des caractéristiques physiques de la roche.

Caractéristiques diagaphiques

Les caractéristiques diagaphiques typiques de l'ensemble Trenton/Black River/Chazy, sont les suivantes :

- 2A - Le rayonnement gamma naturel est très faible et constant (Figure 30), typique des roches calcaires. En effet, telle que démontré à la Figure 13, les valeurs du rayonnement gamma naturel sont très faibles au sein des roches calcaires. Toutefois, le passage des calcaires du Groupe de Trenton aux shales calcaires de l'Utica semble graduel et le contact est placé au sommet de la zone de transition, là où la montée du rayonnement gamma naturel

s'arrête (Figure 30).

- 2B - Les courbes de la porosité neutron et porosité densité se superposent de la base au sein de l'ensemble Trenton/Black River/Chazy (Figure 30). Cette caractéristique diagaphique signifie un contenu calcaire, telle qu'il est expliqué à la Figure 18.
- 2C - L'acoustique diminue au passage du Shale d'Utica au Groupe de Trenton, ce qui devrait normalement arriver quand la roche change du shale aux calcaires (Figure 30). En effet, la Figure 20 montre que les valeurs de la diagraphie acoustique sont très faibles au sein roches calcaires, tandis qu'elles sont plus élevées dans les shales.
- 2D - La résistivité est très élevée au sein de l'ensemble Trenton/Black River/Chazy (Figure 30), ce qui est caractéristique des roches calcaires, telle que le montre la Figure 25.

Subdivisions lithostratigraphiques

Les grès du Membre de Sainte-Thérèse, à la base du Groupe de Chazy, sont facilement identifiables sur les diagaphies. En effet, cette unité représente les roches ayant été déposées après la discordance de Sauk-Tippecanoe, soit la plupart du temps au-dessus des dolomies de la Formation de Beauharnois (Groupe de Beekmantown). Toutefois, là où ces roches reposent

directement sur le socle précambrien du Grenville, cette unité a longtemps été confondue avec les grès du Groupe de Potsdam, en particulier dans la région de Trois-Rivières., ce qui explique les variations importantes du Chazy, telles que rapportées dans plusieurs rapports de forage (Roliff, 1967).

Cette sous-unité est facilement identifiable sur les diagaphies. Toutefois, nous n'avons pas jugé bon d'en faire une unité formelle, car son épaisseur est trop restreinte, de l'ordre d'une vingtaine de mètres localement. Cette sous-unité est toutefois un excellent marqueur afin d'identifier la base de l'ensemble Trenton/Black River/Chazy :

- 2E - La base de l'ensemble Trenton-Black River-Chazy est marquée par l'augmentation du rayonnement gamma (Figure 30), associée au grès de base (Membre de Sainte-Thérèse du Groupe de Chazy) déposé au-dessus du Groupe de Beekmantown. Ce grès étant un produit de la période d'érosion correspondant à la discordance de Sauk-Tippecanoe, des minéraux accessoires ou argileux peuvent y être contenus et causer ainsi cette augmentation du rayonnement gamma, comme il est illustré à la Figure 13.

A198 et A198-R1 - SOQUIP Pétrofina, Bécancour No 2

Profondeur totale : 1265,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 11,6 / 6,3 m

Année de forage : 1981 et 1999

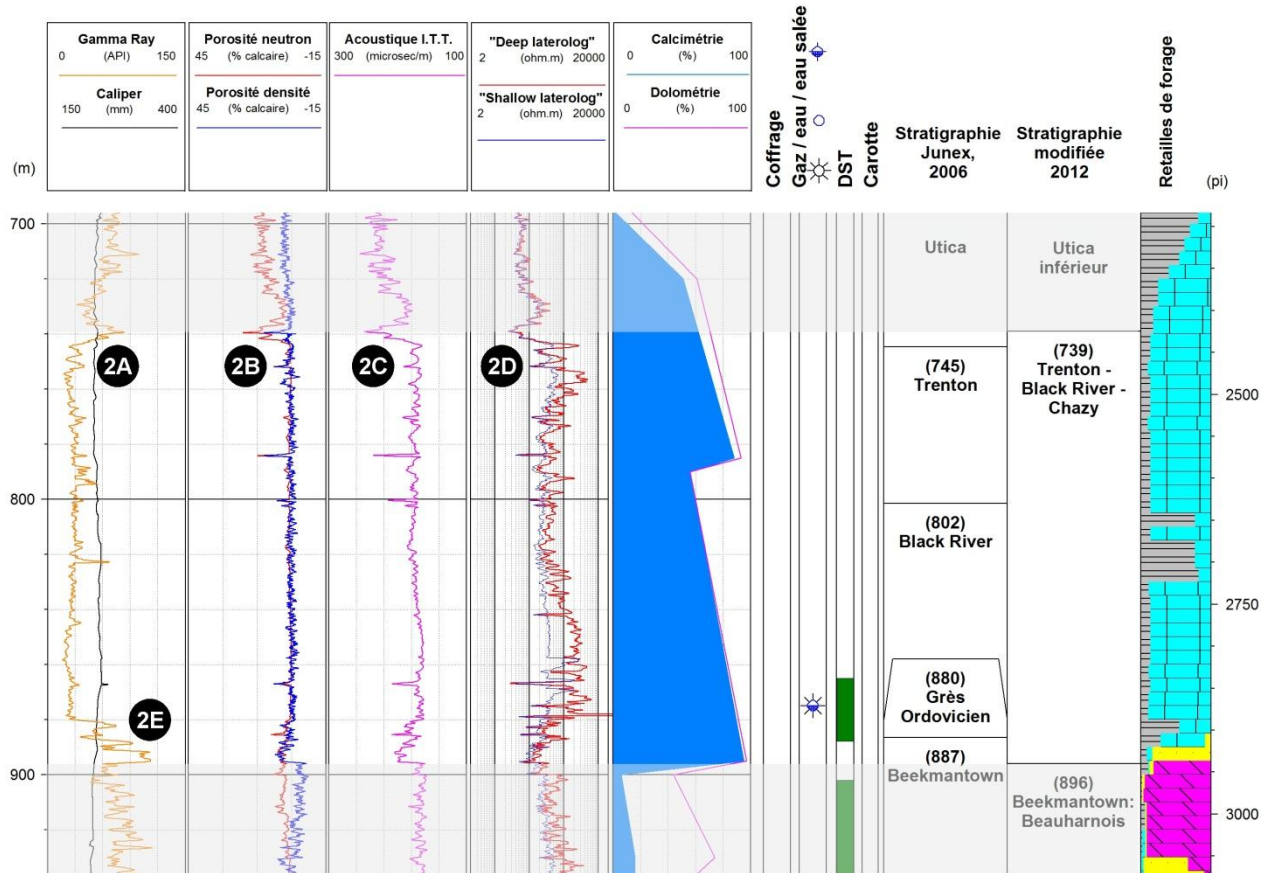


Figure 30 - Signature diagramme typique de l'ensemble Trenton/Black River/Chazy. Une légende explicative des éléments figurant dans les diagrammes composites se retrouve à l'annexe 3.

3.3. Groupe de Beekmantown

Nomenclature

Vanuxem (1842) réalisa le premier travail important sur les roches de l'Ordovicien inférieur du Nord-Est des États-Unis et y reconnut notamment une unité de grès carbonatés. Logan (1863) reconnut par la suite ces mêmes roches au Québec puis en Ontario. Par la suite, Clarke & Schuchert (1899) furent les premiers à utiliser le nom de Beekmantown pour les couches carbonatées affleurant près cette ville de l'état de New York. Ces couches de transition entre le grès de base du Potsdam et les séries carbonatées sus-jacentes ont toujours été sujettes à controverse. Van Ingen (1902) avait établi, en bordure nord des Adirondacks dans l'État de New York, que la division supérieure du

Potsdam était constituée d'une alternance de lits de grès et de dolomie. Cushing (1908) fut le premier à distinguer ces couches et les sépara des couches de grès purs de la base. Il leur a donné le nom de Formation de Theresa.

Raymond (1913) fut le premier à utiliser le terme de Beekmantown au Canada. Suggérant de mettre à part les couches inférieures de transition qu'il associait au Theresa de Cushing (1908), il donna le nom de Formation de Beauharnois à la masse restante du Beekmantown, basée sur une localité-type en bordure d'un ancien canal de la région de Châteauguay.

Au Québec, Parks (1930, 1931) et Clark (1934, 1952) ont adopté la terminologie de Raymond (1913). En Ontario, Wilson (1946) appela « *Nepean* » les grès du Potsdam et remplaça les termes de Theresa et de

Beauharnois par ceux de « *March* » et d'« *Oxford* ». Pour bien délimiter ces formations, le contact Nepean-March fut placé à la base du premier lit de dolomie apparaissant dans la succession et le contact March-Oxford, au sommet du dernier lit de grès observé dans la séquence de transition.

Beleya (1952) a tenté, à partir de forages de la région de Montréal et des environs, de subdiviser la Formation de Beauharnois en trois parties soit: supérieure, médiane et inférieure, cette dernière correspondant au Theresa. Byrne (1958) a proposé, surtout à partir de carottes de forages, de subdiviser la Formation de Beauharnois en: 1) Membre de Sainte-Clothilde à la base, 2) Membre de Huntingdon au centre, et 3) Membre de Châteauguay au sommet.

Clark (1966), dans la région de Châteauguay, a retenu la subdivision de Byrne (1958) avec certaines modifications. Selon sa nomenclature, le Membre de Sainte-Clothilde de Byrne (1958) correspond plutôt au Membre du Ruisseau Norton. Il retient cependant ce nom pour désigner les lits inférieurs de la Formation de Beauharnois, bien visibles dans la région de Sainte-Clothilde. Il adopte toutefois le Membre de Huntingdon tel quel. Quant au Membre de Châteauguay, qui pouvait porter à confusion avec la Formation de Châteauguay, il utilisa plutôt le terme de Membre de Saint-Lin. Pour éviter toute confusion, Globensky (1982c) préfère s'en tenir à la définition de Wilson (1946) en utilisant les noms équivalents au Québec, tels que définis par Clark (1966).

Dans le sud-ouest du Québec et l'est de l'Ontario, Bernstein (1992) conserve le terme Theresa et divise la Formation de Beauharnois en deux membres : à la base l'Ogdensburg et dans la partie supérieure l'Huntingdon. Il introduit également une troisième formation au sommet du Groupe de Beekmantown : la Formation de Carillon. Salad Hersi *et al.* (2003) raffine quelque peu la nomenclature de Bernstein (1992) en intégrant une unité inférieure et supérieure à la Formation de Theresa, mais conserve la division tripartite pour tout le reste du Groupe de Beekmantown. Toutefois, aucune coupe de terrain ne laisse voir une succession complète de ces trois unités et n'a été rendue possible que par les corrélations effectuées à partir des carottes de forage disponible au ministère des Ressources naturelles du Québec.

Nous avons décidé de conserver la nomenclature établie par Globensky (1982c, 1987, 1993). Ainsi, le Groupe de Beekmantown ne comprend que deux unités: 1) la Formation de Theresa à la base; et 2) la Formation de Beauharnois au sommet (Figure 6 et Figure 9). Les roches de ce groupe consistent principalement en des grès dolomitiques à la base puis des dolomies pour tout le reste de la séquence.

3.3.1. Formation de Beauharnois

Lithologie

La Formation de Beauharnois surmonte de façon transitionnelle la Formation de Theresa. Le contact inférieur de la Formation de Beauharnois est fixé au sommet du dernier lit de dolomies gréseuses, au-dessus duquel les grès dolomitiques deviennent beaucoup moins abondants (Globensky, 1987, 1993; Salad Hersi *et al.*, 2003). Elle consiste en des dolomies de différentes variétés qui se présentent en couches massives homogènes et parfois en couches fortement laminés. Certains niveaux contiennent des vacuoles remplies de calcite et même parfois de gypse ainsi que de halite (Globensky, 1982a, b), mettant ainsi en évidence que l'environnement de déposition atteignait sporadiquement des conditions évaporitiques. La partie inférieure de la formation consiste ainsi en dolomies propres, cristallines et granulaires, accompagnées de quelques lits de calcaire. La partie supérieure, de couleur foncée, est composée de couches de calcaire argileux, de dolomie, de dolomie silteuse, de siltstone dolomitique et de siltstone calcaireux. De véritables lits de shale sont aussi présents dans toute l'unité, mais plus abondants vers le sommet. La Formation de Beauharnois résulte d'un environnement restreint, lagunaire, intertidal et supratidal (Globensky, 1987; Bernstein, 1992).

Puits-type

Le puits A199 (Texaco, Yamaska-Est No 1) montre une séquence typique de la Formation de Beauharnois (Figure 27 et Figure 31).

Caractéristiques diagaphiques

Les caractéristiques diagaphiques typiques de la Formation de Beauharnois sont les suivantes :

- 3A - La base de l'ensemble Trenton-Black River-Chazy est marquée par l'augmentation du rayonnement gamma naturel (Figure 31), associée au grès de base (Membre de Saint-Thérèse du Groupe de Chazy) déposé au-dessus du Groupe de Beekmantown.
- 3B - Le rayonnement gamma naturel est très variable (Figure 31) et plutôt élevé pour des roches dolomitiques typiques, telles qu'observées à la Figure 13. Cette caractéristique s'observe sur l'ensemble du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent.
- 3C - Les valeurs de la courbe de porosité neutron sont plus élevées que celles de la porosité densité (Figure 31), signe d'un contenu majoritairement dolomitique. En effet, cette caractéristique est typique des roches dolomitiques et s'observe très bien à la Figure 18.

A199 - Texaco, Yamaska-Est No 1

Profondeur totale : 1348,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 14,0 / 9,0 m

Année de forage : 1981

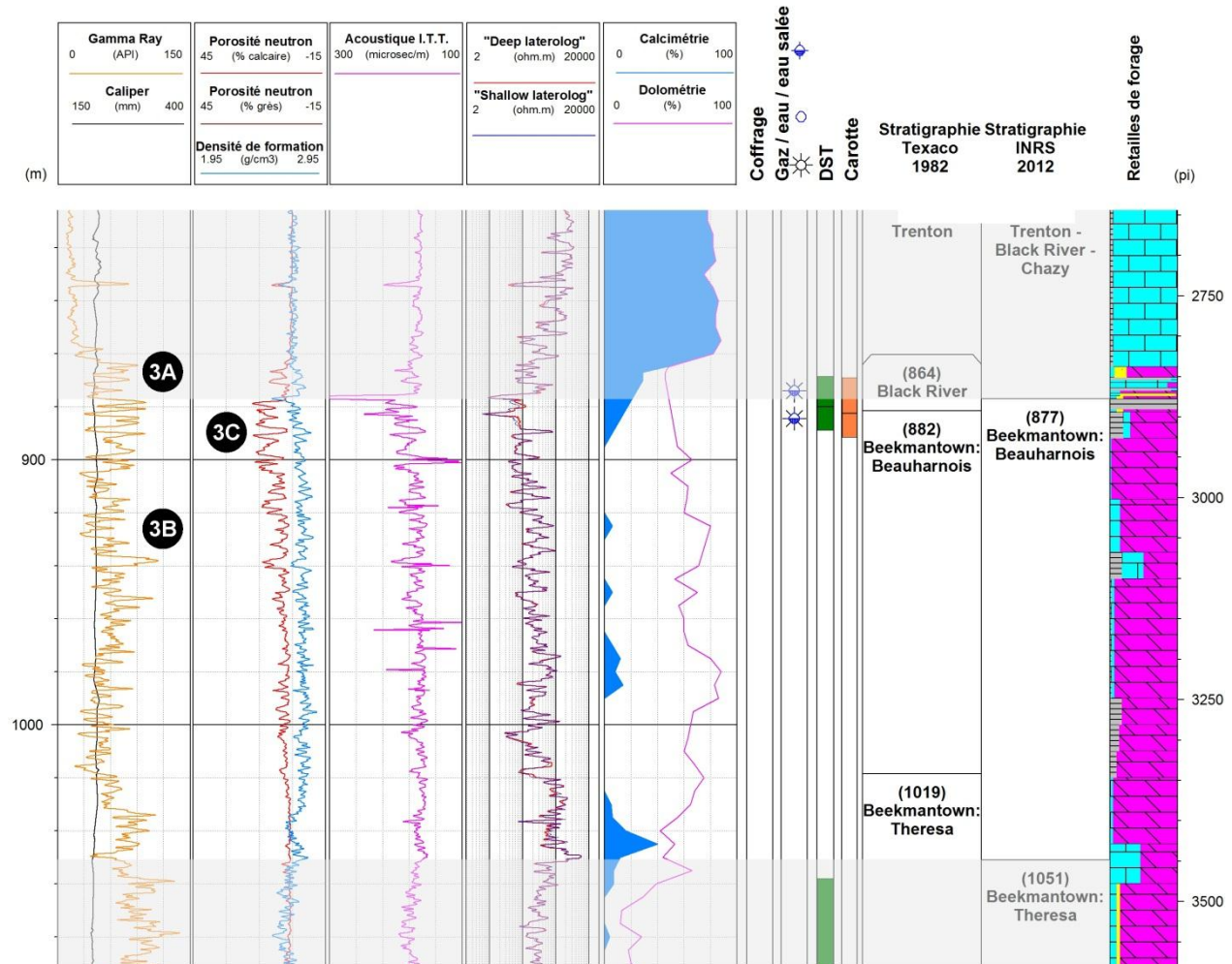


Figure 31 - Signature diagraphique typique de la Formation de Beauharnois (Groupe de Beekmantown). Une légende explicative des éléments figurant dans les diagraphies composites se retrouve à l'annexe 3.

3.3.2. Formation de Theresa

Lithologie

La Formation de Theresa repose en discordance d'érosion sur le Groupe de Potsdam (Salad Hersi *et al.*, 2002). Le contact sépare les grès purs de la Formation de Cairnside des grès dolomitiques de la Formation de Theresa. Cette formation est composée d'une interstratification très variable, à l'échelle métrique ou centimétrique, de lits de grès et de dolomie. À la base, la dolomie est arénacée, tandis que le grès est dolomitique. Vers le sommet, le grès diminue en importance et la dolomie devient plus

pure, ce qui suggère une succession transgressive (Globensky, 1987).

Puits-type

Le puits A222 (BVI *et al.*, Saint-Wenceslas No 1) contient un exemple caractéristique de la Formation de Theresa (Figure 27 et Figure 32).

Caractéristiques diagraphiques

Les caractéristiques diagraphiques typiques de la Formation de Theresa sont les suivantes :

- 4A - Les courbes de la porosité neutron et celle de la porosité densité se superposent (Figure 32). Ceci est causé par deux choses et peut ainsi porter à confusion : (1) la base de Formation de Beauharnois montre généralement une proportion plus élevée en calcaire; et (2) le mélange de dolomies et de grès de la Formation de Theresa. Comme on le voit à la Figure 18, les courbes de la porosité neutron et de la porosité densité se confondent au sein des roches calcaires, tel qu'observée à la base de la Formation de Beauharnois (Figure 32). À l'inverse, en présence de dolomies ou de grès, les courbes se distancent. Toutefois, la courbe de la porosité-neutron se retrouve à gauche en présence de dolomies, tandis qu'elle se retrouve à droite en présence de grès (Figure 18). Ainsi, le mélange de grès et de dolomies de la Formation de Theresa annule ces deux effets et

explique pourquoi les deux courbes se confondent au sein de l'unité. Bref, lorsque les courbes de la porosité neutron et celle de la porosité densité se superposent, cela signifie que l'on se situe soit à la base de la Formation de Beauharnois, soit au sommet de la Formation de Theresa.

- 4B - L'acoustique augmente légèrement tandis que l'effet photoélectrique diminue au passage du contenu beaucoup plus gréseux de la Formation de Beauharnois par rapport au contenu plutôt dolomitique de la Formation de Beauharnois (Figure 32). En effet, les valeurs de la diagraphie acoustique montrées à la Figure 20 sont plus élevées au sein des grès que dans les dolomies. À l'inverse, l'effet photoélectrique est plus faible dans les grès qu'au sein des roches dolomitiques (Figure 21).

A222 - BVI et al., Saint-Wenceslas No 1

Profondeur totale : 3454,3 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 98,1 / 90,5 m

Année de forage : 1993

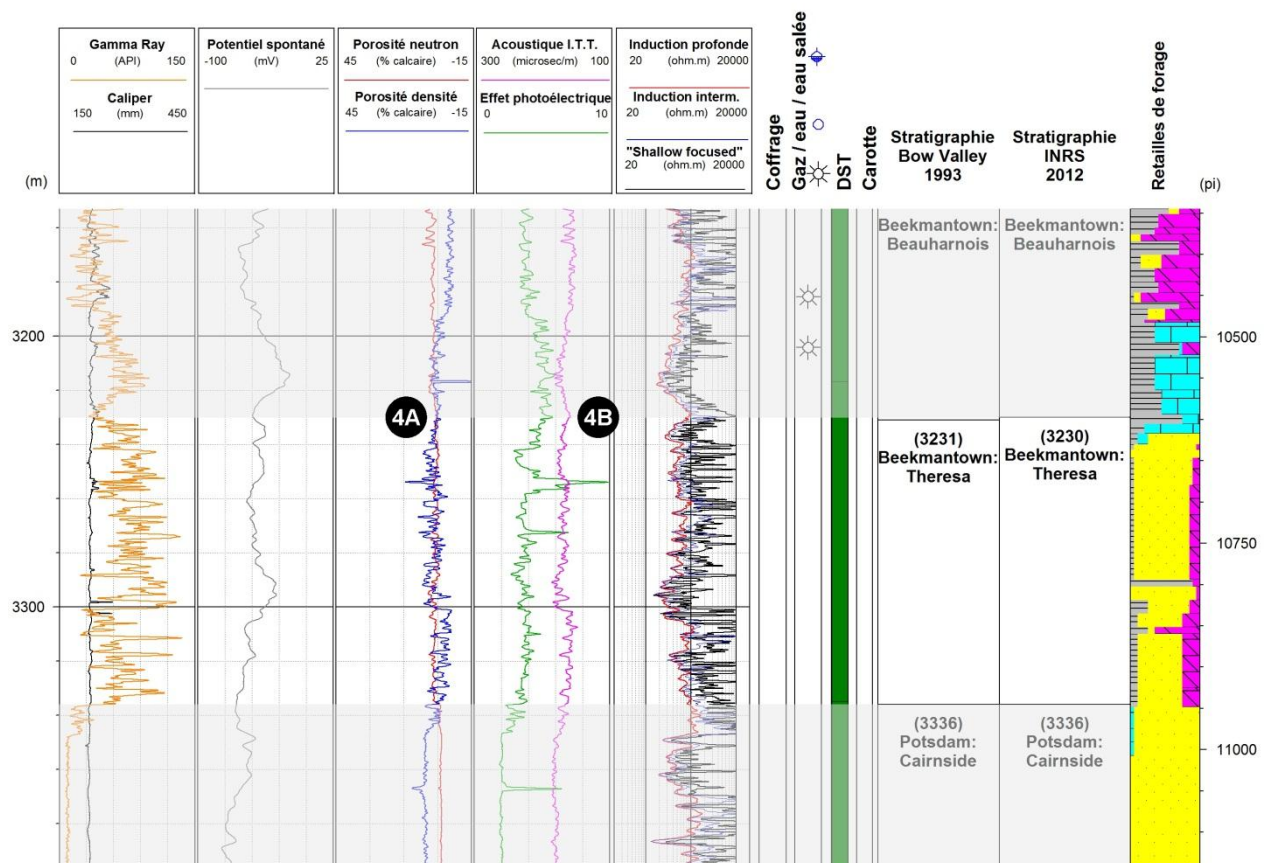


Figure 32 - Signature diagraphique typique de la Formation de Theresa (Groupe de Beekmantown). Une légende explicative des éléments figurant dans les diagraphies composites se retrouve à l'annexe 3.

3.4. Groupe de Potsdam

Nomenclature

Beaucoup de modifications suivirent depuis qu'Emmons (1838) proposa le nom de Potsdam pour les grès de base reposant sur le socle précambrien. Chadwick (1915) subdivisa le Potsdam en un grès rouge inférieur et un grès blanc supérieur. Tout comme Emmons (1838), Chadwick (1915) nomma le grès blanc supérieur, le Keeseville. Quelques années plus tard, Chadwick (1920) proposa, après des études approfondies sur les formations de l'État de New York, une succession lithologique bien définie. Celle-ci, qui persiste encore dans ses grandes lignes, se présente comme suit, de la base au sommet : (1) grès rouge du Potsdam de base, avec conglomérat; (2) grès blanc du Keeseville (Potsdam supérieur); (3) couches de passage (dolomie) et grès du Theresa. Wilson (1937, 1946) introduit le terme de « *Nepean* » en Ontario pour les grès reposant sur le socle précambrien érodé et recouverts à leur tour par des couches de transition dolomitiques. Dans la vallée du lac Champlain, dans la partie nord de l'État de New York, ces roches déposées en discordance sur le socle précambrien correspondent au Membre d'Ausable (Fisher, 1968).

La correspondance incertaine entre le Potsdam de New York, tel que défini par Emmons (1838), et les affleurements de roches similaires au Québec ont amené les géologues à établir une stratigraphie propre au Québec. Ainsi, les conglomérats et les grès du Potsdam ont été individualisés par Clark (1966) en Formation de Covey Hill à la base et en Formation de Châteauguay au-dessus. Le Covey Hill est partiellement conglomératique et feldspathique tandis que le Châteauguay consiste surtout en une orthoquartzite blanche grisâtre, à ciment dolomitique, avec lits de dolomie dans sa partie supérieure. Clark (1966) distingua également le Membre de la Rivière aux Outardes dans la Formation de Covey Hill et les membres de Cairnside et du Norton Creek dans la Formation de Châteauguay. Hoffman (1972) changea par la suite le nom du Membre de Norton Creek par le Membre de Theresa. Globensky (1982c) modifia finalement quelque peu la stratigraphie du Groupe de Potsdam, notamment en amenant au titre de formation le Membre de Theresa et en l'incorporant au sein du Groupe de Beekmantown. Il désigna également les couches du Membre de la Rivière aux Outardes comme étant un faciès intermédiaire entre les formations de Covey Hill et de Cairnside (Globensky, 1986).

À ce jour (Globensky, 1987, 1993), le Groupe de Potsdam est constitué de deux formations, très bien identifiables sur les diagraphies: les grès

feldspathiques de la Formation de Covey Hill à la base et, au sommet, les grès quartzitiques de la Formation de Cairnside.

3.4.1. Formation de Cairnside

Lithologie

La Formation de Cairnside est composée de grès quartzitiques très homogènes, avec une granulométrie fine à moyenne. Ces grès contiennent un faible pourcentage de feldspaths et de minéraux accessoires tels : la magnétite, l'ilménite, la biotite, le zircon, la tourmaline et l'apatite (Globensky, 1982a). La matrice est en général composée de silice secondaire, mais localement, on peut observer de l'argile. Dans la partie supérieure de la formation, le ciment siliceux est partiellement ou totalement remplacé par un ciment dolomitique. Cette formation s'est déposée en milieu marin et elle prend des caractères de plus en plus deltaïques jusqu'à l'apparition des premières dolomies du Groupe de Beekmantown. Toutefois, le contact entre les grès dolomitiques de la Formation de Theresa et les grès quartzitiques de la Formation de Cairnside est net.

Puits-type

Le puits A252 (Talisman Energy, Gentilly No 1) montre une section représentative de la Formation de Cairnside (Figure 27 et Figure 33).

Caractéristiques diagraphiques

Les caractéristiques diagraphiques typiques de la Formation de Cairnside sont les suivantes :

- 5A - Le rayonnement gamma naturel devient très faible et très constant, dû au grès quartzitique presque pur et dépourvu d'argiles de la Formation de Cairnside (Figure 33). En effet, tel qu'illustré à la Figure 13, les valeurs sont très faibles au sein des grès dénués de minéraux argileux ou lourds. Il est à noter que la partie sommitale de l'unité montre parfois une hausse du rayonnement gamma naturel due à l'apparition d'un ciment carbonaté du grès de la Formation de Cairnside (Figure 33).
- 5B - La courbe de porosité densité dépasse celle de la porosité neutron (Figure 33), caractéristique typique d'un contenu essentiellement gréseux, tel que le montre la Figure 18. Parfois, les deux courbes se confondent au sommet de l'unité, signe de l'arrivée du ciment dolomitique au sein du grès de la Formation de Cairnside.
- 5C - L'acoustique augmente, tandis que l'effet photoélectrique diminue (Figure 33), dû au passage des dolomies de la Formation de Theresa vers les grès très homogènes de la Formation de Cairnside.

En effet, les valeurs de la diagraphie acoustique sont plus faibles au sein des dolomies que dans les grès (Figure 20), tandis que l'on observe l'opposé avec les valeurs de la diagraphie de l'effet photoélectrique (Figure 21). Il est à noter que le phénomène de

« *skipping* » s'observe souvent dans la Formation de Cairnside, où un décrochement brusque des valeurs de l'acoustique survient vers les deux extrêmes, sans doute causée par une concentration élevée de fractures dans les grès.

A252 - Talisman Energy, Gentilly No 1

Profondeur totale : 2530,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 42,4 / 38,0 m

Année de forage : 2006

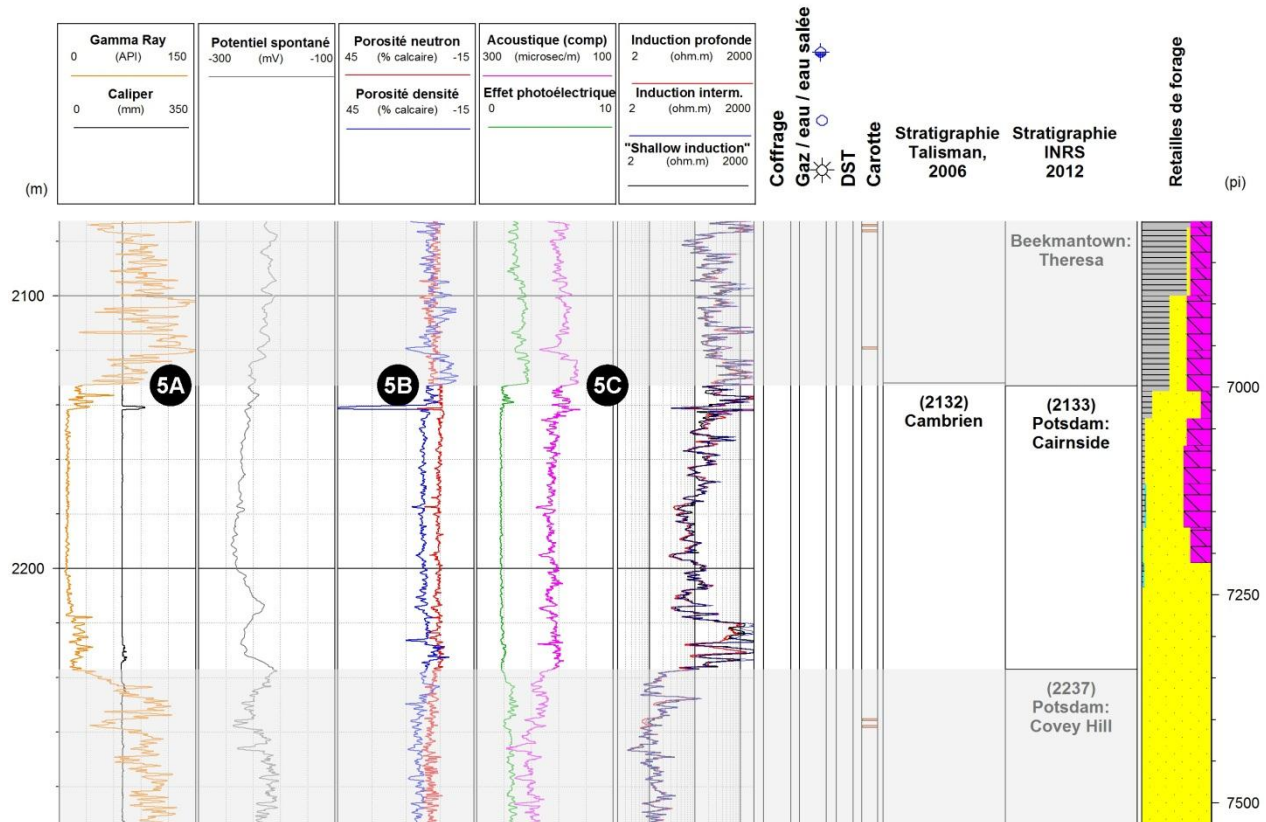


Figure 33 - Signature diagraphique typique de la Formation de Cairnside (Groupe de Potsdam). Une légende explicative des éléments figurant dans les diagraphies composites se retrouve à l'annexe 3.

3.4.2. Formation de Covey Hill

Lithologie

Cette unité constitue la base de la séquence stratigraphique des Basses Terres du Saint-Laurent et repose en discordance sur le socle précambrien. On rencontre généralement à la base des couches conglomératiques passant graduellement à un grès grossier feldspathique ainsi que des grès quartzitiques impurs. Ce grès d'origine fluviatile ou deltaïque provient de l'érosion qu'a subit le socle sur une longue période de temps, éliminant ainsi les minéraux moins résistants. La couleur des roches est en général

rougeâtre due à l'infiltration d'oxyde de fer sous forme d'un mince film autour des grains (Globensky, 1984). De minces interlits argilo-silteux de faible épaisseur sont aussi présents partout dans la séquence. On note également la présence de minéraux accessoires, tels que le zircon, la hornblende, la biotite, l'apatite et la tourmaline) (Globensky, 1987).

Puits-type

Le puits A246 (Junex, Bécancour No 6) montre une séquence typique de la Formation de Covey Hill (Figure 27 et Figure 34).

Caractéristiques diagaphiques

Les caractéristiques diagaphiques typiques de la Formation de Covey Hill sont les suivantes :

- 6A - Au passage de la Formation de Cairnside vers la Formation de Covey Hill, le rayonnement gamma naturel augmente fortement et devient très variable (Figure 34), notamment dû à la présence de feldspaths potassiques au sein des grès de la Formation de Covey Hill. Tel que l'illustre la Figure 13, les valeurs du rayonnement gamma naturel sont plus élevées au sein des arkoses (ou feldspaths potassiques) que dans les grès purs.
- 6B - Les valeurs de la diagaphie acoustique augmentent au passage de la Formation de Cairnside vers la Formation de Covey Hill (Figure 34), causé par une porosité plus importante au sein des grès de la Formation de Covey Hill, tel que l'illustre la Figure 20.
- 6C - La résistivité diminue au passage de la Formation de Cairnside vers la Formation de Covey Hill (Figure 34), dû également à l'augmentation de la porosité des grès de la Formation de Covey Hill par rapport à ceux de la Formation de Cairnside. En effet, la résistivité est généralement plus basse dans les roches plus poreuses car leur porosité contient généralement des fluides la plupart du temps salés, ce qui diminue grandement la résistivité de la roche (Figure 25).

Longtemps été interprété comme étant discordant (Clark, 1972; Globensky, 1987), le contact entre les formations de Cairnside et de Covey Hill semble graduel par l'étude des diagaphies, en accord avec les observations de Salad Hersi et Lavoie (2000a, b).

Subdivisions lithostratigraphiques

Des intercalations de dolomie s'observent également par l'étude des diagaphies, habituellement dans la partie inférieure de la Formation de Covey Hill:

- 6D - La courbe de porosité neutron est plus élevée que celle de la porosité densité (Figure 34), marquant la présence d'une unité dolomitique à l'intérieur du Covey Hill, comme il est démontré à la Figure 18. Ceci représente un signe potentiel de l'existence contemporaine d'une plate-forme cambrienne (Salad Hersi et Lavoie, 2000b), telle qu'observée dans les régions de New York (Fisher, 1977) et de l'ouest de Terre-Neuve (James et Stevens, 1986). Il s'agit vraisemblablement de périodes d'invasions marines ou de transgressions plus poussées qui ont permis le dépôt d'unités dolomitiques au sein de la séquence gréseuse de la Formation de Covey Hill. Cette unité peut être associée à la Formation d'Altona telle que définie par Sanford et Arnott (2010), puis repris par Thériault (2012b).

A246 et A246-R1 - Junex, Bécancour No 6

Profondeur totale : 1339,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 9,2 / 6,5 m

Année de forage : 2004 et 2008

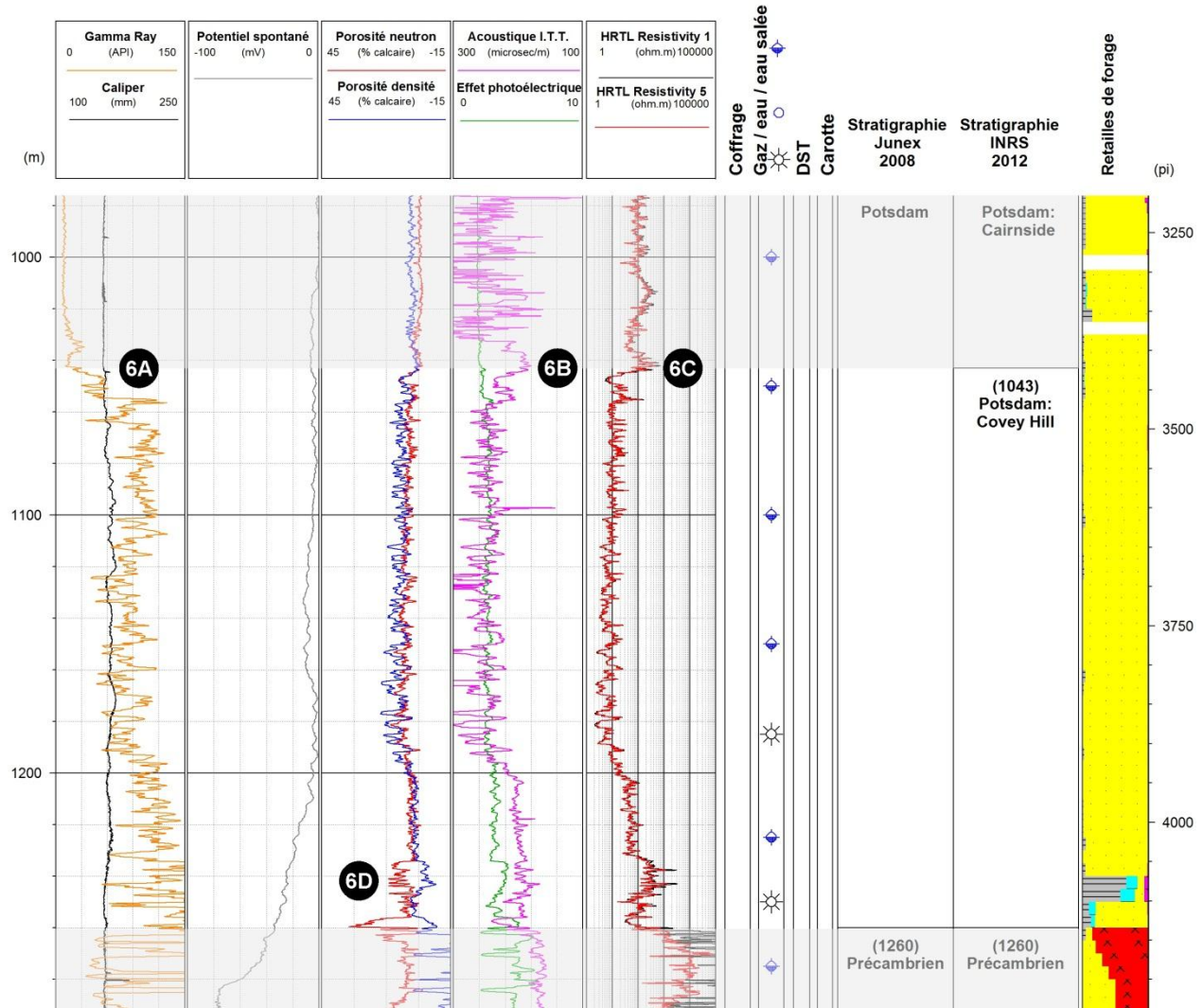


Figure 34 - Signature diagraphtique typique de la Formation de Covey Hill (Groupe de Potsdam). Une légende explicative des éléments figurant dans les diagraphtiques composites se retrouve à l'annexe 3.

4. Conclusion

Par l'étude détaillée de la signature de diagraphtiques d'anciens puits d'exploration pétrolière et gazière, il est possible de reconnaître six unités distinctes au sein de la séquence stratigraphique du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent, soit: (1) le Shale d'Utica ; (2) l'ensemble Trenton/Black River/Chazy; (3) la Formation de Beauharnois (Groupe de Beekmantown); (4) la Formation de Theresa (Groupe de

Beekmantown; (5) la Formation de Cairnside (Groupe de Potsdam) ; ainsi que (6) la Formation de Covey Hill (Groupe de Potsdam). La Figure 35 résume les caractéristiques diagraphtiques de ces unités et montre leur variation tout le long de la séquence stratigraphique du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent.

Ainsi, soixante-dix-neuf (79) puits ont été réinterprétés afin d'uniformiser la stratigraphie sur l'ensemble du bassin et affiner plus précisément la position de

certain contacts. En plus du rayonnement gamma naturel, qui est la diagraphie indispensable, l'identification avec certitude de ces unités n'est seulement possible qu'avec la présence de la porosité-neutron, de la porosité-densité, de l'acoustique, de l'effet photoélectrique et de la résistivité. Tout comme il existe à la surface des coupes-types pour chacune des unités géologiques, six (6) puits-types de référence ont été définis afin de guider l'identification de ces

unités en sous-surface.

Il est à noter que cette étude s'adresse exclusivement à la séquence autochtone du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent, et qu'elle s'applique ainsi difficilement aux roches rencontrées dans les écailles de chevauchement de la zone parautochtone, car l'on y observe différents faciès provenant d'un environnement plus distal.

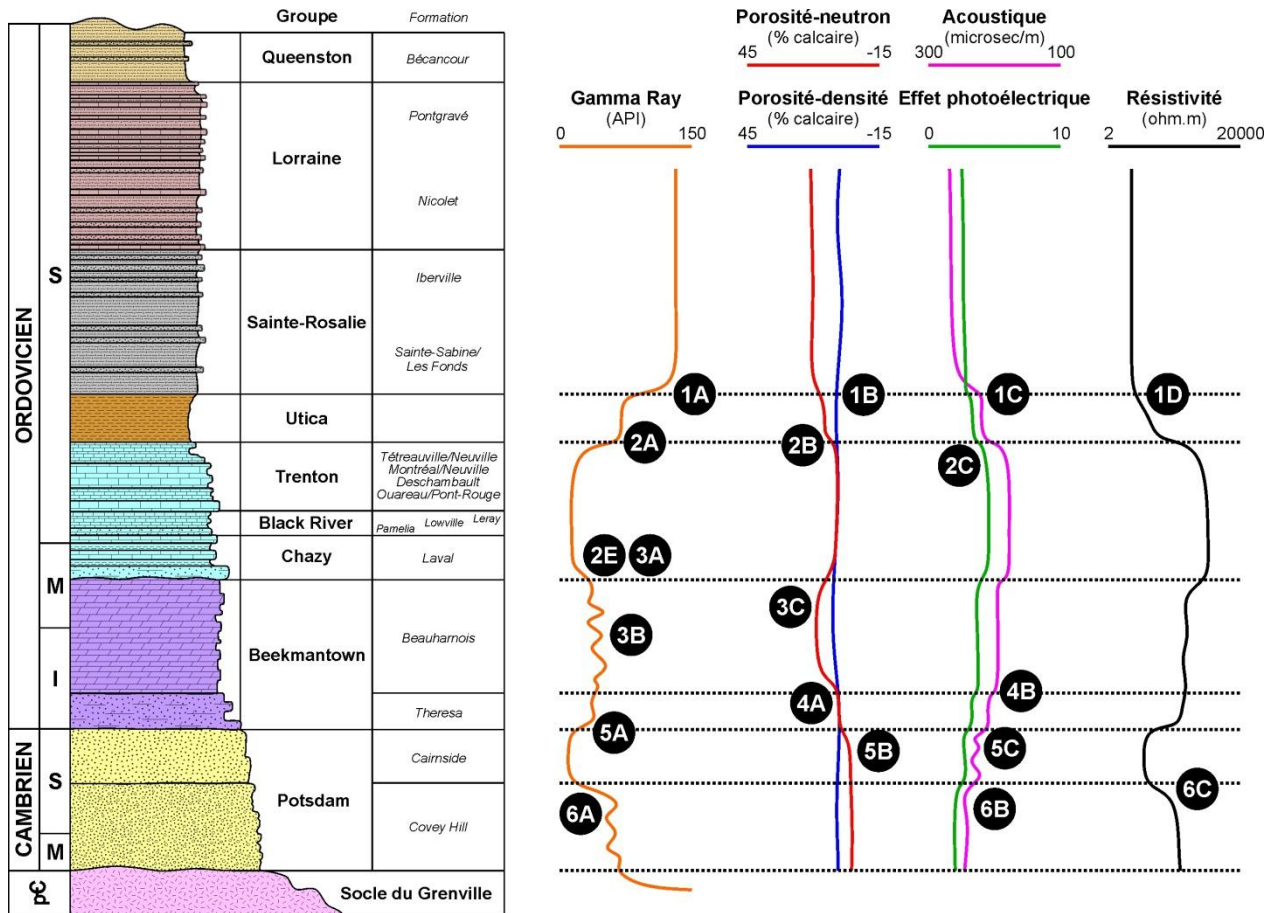


Figure 35 - Colonne stratigraphique du bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent et résumé des caractéristiques diagraphiques de ses unités géologiques.

Références

- Adams, F.D. et Leroy, O.E. (1904) *The artesian and other deep wells on the Island of Montreal*. Geological Survey of Canada, Annual report. Volume 14, pages 1-74.
- Ami, H.M. (1892) The Utica terrane in Canada. Canadian Record of Science, 5, 163-183,
- Ami, H.M. (1900) Synopsis of the geology of Canada. Transactions of the Royal Society of Canada, 6 (4), 187-225,
- Armstrong, D.K. et Carter, T.R. (2006) *An updated guide to the subsurface Paleozoic stratigraphy of Southern Ontario*. Ontario Geological Survey. Open File Report 6191. 214 pages.
- Armstrong, D.K. et Carter, T.R. (2010) *The subsurface Paleozoic stratigraphy of Southern Ontario*. Ontario Geological Survey, Special Volume 7. 301 pages, ISBN: 978-1-4435-1847-5
- Asquith, G. et Gibson, C. (1982) *Basic well log analysis for geologists*. The American Association of Petroleum Geologists. Tulsa, USA. 216 pages, ISBN: 0-89181-652-6
- Bachu, S. (2003) Screening and ranking of sedimentary basins for sequestration of CO₂ in geological media in response to climate change. Environmental Geology, 44 (3), 277-289, <http://dx.doi.org/10.1007/s00254-003-0762-9>
- Baird, G.C. et Brett, C.E. (2002) Indian Castle Shale: late synorogenic siliciclastic succession in an evolving Middle to Late Ordovician foreland basin, eastern New York State. Physics and Chemistry of the Earth, 27 (1-3), 203-230, [http://dx.doi.org/10.1016/S1474-7065\(01\)00008-0](http://dx.doi.org/10.1016/S1474-7065(01)00008-0)
- Bédard, K., Comeau, F.-A. et Malo, M. (2011) *Évaluation du potentiel de séquestration géologique du CO₂ des bassins sédimentaires du sud du Québec*. Institut national de la recherche scientifique, Québec. R-1289 (INRSCO2-2011-V1.2). 25 pages.
- Bédard, K., Comeau, F.-A. et Malo, M. (2012a) *Capacité effective de stockage géologique du CO₂ dans le bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent*. Institut national de la recherche scientifique, Québec. Québec, Canada. R-1331 (INRSCO2-2012-V3.1). 21 pages.
- Bédard, K., Comeau, F.-A. et Malo, M. (2012b) *Évaluation du potentiel de séquestration géologique du CO₂ des bassins sédimentaires du sud du Québec*. Institut national de la recherche scientifique. R-1289. 25 pages.
- Beleya, H.R. (1952) *Deep wells and subsurface stratigraphy of the St. Lawrence Lowlands, Quebec*. Geological Survey of Canada Bulletin. 113 pages.
- Belknap, W.B., Dewan, J.T., Kirkpatrick, C.V., Mott, W.E., Pearson, A.J. et Rabson, W.R. (1959) API Calibration facility for nuclear logs. Drill and Production Practice, 289-317,
- Bernstein, L. (1992) A revised lithostratigraphy of the Lower-Middle Ordovician Beekmantown Group, St. Lawrence Lowlands, Quebec and Ontario. Canadian Journal of Earth Sciences, 29 (12), 2677-2694, <http://dx.doi.org/10.1139/e92-212>
- Brisebois, D. et Brun, J. (1994) La plate-forme du Saint-Laurent et les Appalaches. Dans: *Géologie du Québec*. Ministère des Ressources naturelles, Québec. MM 94-01: 95-120,
- Byrne, A.W. (1958) Stratigraphy and paleontology of the Beekmantown Group in the St. Lawrence Lowlands, Quebec. Montréal, Université McGill. Thèse de doctorat.
- Castonguay, S., Lavoie, D., Dietrich, J. et Laliberte, J.-Y. (2010) Structure and petroleum plays of the St. Lawrence Platform and Appalachians in southern Quebec: insights from interpretation of MRNQ seismic reflection data. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 58 (3), 219-234, <http://dx.doi.org/10.2113/gscpgbull.58.3.219>
- Cawood, P.A., McCausland, P.J.A. et Dunning, G.R. (2001) Opening Iapetus: Constraints from the Laurentian margin in Newfoundland. Geological Society of America Bulletin, 113 (4), 443-453, [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(2001\)113<0443:oiocftl>2.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(2001)113<0443:oiocftl>2.0.co;2)
- Chadwick, G.H. (1915) Post-Ordovician deformation in the St. Lawrence valley, New York. Geological Society of America Bulletin, 22, 287-294,
- Chadwick, G.H. (1920) The Paleozoic rocks of the Canton Quatrangle. New York State Museum Bulletin, 217-218, 60 pages,
- Clark, T.H. (1934) Structure and stratigraphy of southern Quebec. Geological Society of America Bulletin, 45, 1-20,
- Clark, T.H. (1944) Structure and stratigraphy in the vicinity of Montréal. Transactions of the Royal Society of Canada, third series, volume 38 (serie IV),
- Clark, T.H. (1947) *Rapport sommaire sur les Basses Terres au sud du Saint-Laurent*. Ministère des mines - Service de la carte géologique, Québec. RP-204. 21 pages.
- Clark, T.H. (1952) *Rapport géologique - Région de Montréal*. Ministère des mines, Québec. RG-46. 150 pages.
- Clark, T.H. (1966) *Rapport géologique - Région de Châteauguay*. Ministère des richesses naturelles - Direction générale des mines, Québec. RG-122. 68 pages.

- Clark, T.H. (1972) *Rapport géologique - Région de Montréal*. Ministère des richesses naturelles - Direction générale des mines, Québec. RG-152. 244 pages.
- Clark, T.H. et Globensky, Y. (1973) *Rapport géologique - Portneuf et parties de St-Raymond et de Lyster*. Ministère des richesses naturelles - Direction générale des mines, Québec. RG-148. 110 pages.
- Clark, T.H. et Globensky, Y. (1976a) *Rapport géologique - Région de Sorel*. Ministère des richesses naturelles - Direction générale des mines, Québec. RG-155. 64 pages.
- Clark, T.H. et Globensky, Y. (1976b) *Rapport géologique - Région de Verchères*. Ministère des richesses naturelles - Direction générale des mines, Québec. RG-190. 64 pages.
- Clarke, J.M. et Schubert, C. (1899) The nomenclature of the New York series of geological formations. *Science*, 10 (259), 874-878, <http://dx.doi.org/10.1126/science.10.259.874>
- Comeau, F.-A., Bédard, K. et Malo, M. (2012) *Les régions de Nicolet et de Villeroy: état des connaissances pour la séquestration géologique du CO₂*. Institut national de la recherche scientifique, Québec, Québec. R-1332 (INRSCO2-2012-V1.3). 50 pages.
- Comeau, F.-A., Kirkwood, D., Malo, M., Asselin, E. et Bertrand, R. (2004) Taconian mélanges in the parautochthonous zone of the Quebec Appalachians revisited: implications for foreland basin and thrust belt evolution. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 41 (12), 1473-1490, <http://dx.doi.org/10.1139/e04-083>
- Conrad, T.A. (1838) *Geology of New York*. New York Geological Survey, Second report.
- Cushing, H.P. (1905) Geology of northern Adirondack region. *New York State Museum Bulletin*, 95, 271-453,
- Cushing, H.P. (1908) Lower portion of the Paleozoic section in northwestern New York. *Geological Society of America Bulletin*, 19 (3), 155-176,
- Cushing, H.P., Fairchild, H., Ruedemann, R. et Smyth, C.H. (1910) Geology of the Thousand Island Regions. *New York State Museum Bulletin*, 145, 194 pages,
- Dewan, J.T. (1983) *Essentials of modern open-hole log interpretation*. PennWell Publishing Company. Tulsa, USA. 361 pages, ISBN: 0-87814-233-9
- Doveton, J.H. (1986) *Log Analysis of Subsurface Geology: Concepts and Computer Methods*. John Wiley & Sons. New York, USA. 273 pages, ISBN: 0471893684
- Ellis, D.V. et Singer, J.M. (2007) *Well logging for Earth scientist. 2nd edition*. Springer. Dordrecht, The Netherlands. 692 pages, ISBN: 978-1-4020-3738-2
- Emmons, E. (1838) *Report of the second geological district of the State of New York*. New York State Geological Survey. 185-252 pages.
- Emmons, E. (1842) *Geology of New York, part II, comprising the second geological district: Albany*. New York State Geological Survey. 437 pages.
- Evenick, J. (2008) *Introduction to well logs and subsurface maps*. Pennwell Books. 236 pages, ISBN: 978-1593701383
- Fisher, D.W. (1968) *Geology of the Plattsburgh and Rouses Point, New York - Vermont quadrangles*. *New York State Museum Bulletin*, Map and Chart Series no. 10, 51 pages,
- Fisher, D.W. (1977) *Correlation of Hydernian, Cambrian, and Ordovician rocks in New York State*. New York State Museum. Map and Chart Series, Folio 25. 75 pages.
- Globensky, Y. (1982a) *Rapport géologique - Région de Lachute*. Ministère de l'énergie et des ressources - Direction générale de l'exploration géologique et minérale, Québec. RG-200. 67 pages.
- Globensky, Y. (1982b) *Rapport géologique - Région de Vaudreuil*. Ministère de l'énergie et des ressources - Direction générale de l'exploration géologique et minérale, Québec. RG-199. 59 pages.
- Globensky, Y. (1982c) *Rapport géologique - Régions de Lacolle - Saint-Jean*. Ministère de l'énergie et des ressources - Direction générale de l'exploration géologique et minérale, Québec. RG-197. 197 pages.
- Globensky, Y. (1986) *Géologie de la région de St-Jean-Chrysostome et de Lachine (sud)*. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec. MM 84-02. 182 pages.
- Globensky, Y. (1987) *Géologie des Basses-Terres du Saint-Laurent*. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec. MM 85-02. 63 pages.
- Globensky, Y. (1993) *Lexique stratigraphique canadien. Volume V-B : région des Appalaches, des Basses-Terres du Saint-Laurent et des Îles de la Madeleine*. Gouvernement du Québec, Ministère de l'énergie et des ressources, Direction générale de l'exploration géologique et minérale. DV-91-23. 327 pages,
- Goldman, D., Mitchell, C.E., Bergstrom, S.M., Delano, J.W. et Tice, S. (1994) K-Bentonites and Graptolite Biostratigraphy in the Middle Ordovician of New York State and Quebec: A New Chronostratigraphic Model. *Palaïos*, 9 (2), 124-143, <http://dx.doi.org/10.2307/3515101>
- Hall, J. (1847) *Containing descriptions of the organic*

- remains of the lower division of the New-York system (equivalent of the lower silurian rocks of Europe).* Paleontology of New York, Volume 1. 338 pages.
- Hearst, J.R., Nelson, P.H. et Paillet, F.L. (2000) *Well Logging for Physical Properties: A Handbook for Geophysicists, Geologists, and Engineers, 2nd Edition*. John Wiley & Sons. Chichester, UK. 483 pages, ISBN: 0471963054
- Hibbard, J.P., Van Staal, C.R. et Rankin, D.W. (2007) A comparative analysis of pre-Silurian crustal building blocks of the northern and the southern Appalachian orogen. *American Journal of Science*, 307 (1), 23-45, <http://dx.doi.org/10.2475/01.2007.02>
- Hofmann, H.J. (1963) Ordovician Chazy Group in southern Quebec. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 47 (2), 270-301,
- Hofmann, H.J. (1972) *Stratigraphy of the Montreal Area*. Geological Survey of Canada. 68 pages,
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2005) *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the IPCC*. [Metz, B., O. Davidson, H. de Coninck, M. Loos et L. Meyer (eds)]. Cambridge University Press. Cambridge, UK and New York, USA. 442 pages.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007) *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. [Core writing team : Pacauri, R.K. et A. Reisinger (eds)]. Geneva, Switzerland. 104 pages.
- International Energy Agency (IEA) (2008) *CO2 capture and storage - A key carbon abatement option*. IEA/OECD. Paris, France. 261 pages, ISBN: 978-92-64-04140-0
- International Energy Agency (IEA) (2009) *Technology Roadmap - Carbon capture and storage*. IEA/OECD. Paris, France. 46 pages,
- James, N.P. et Stevens, R.K. (1986) *Stratigraphy and correlation of the Cambro-Ordovician Cow Head Group, Western Newfoundland*. Geological Survey of Canada. Ottawa. Bulletin 366. 143 pages.
- Konstantinovskaya, E.A., Claprood, M., Duchesnes, M., Giroux, B., Malo, M. et Lefebvre, R. (2010) *Le potentiel de stockage du CO2 expérimental dans les aquifères salins profonds de Bécancour : Partie I - Analyse des diagraphies et des profils sismiques*. Institut national de la recherche scientifique, Québec. R-1150 (INRSCO2-2010-V2.1). 59 pages.
- Konstantinovskaya, E.A., Rodriguez, D., Kirkwood, D., Harris, L.B. et Thériault, R. (2009) Effects of Basement Structure, Sedimentation and Erosion on Thrust Wedge Geometry: An Example from the Quebec Appalachians and Analogue Models. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 57 (1), 34-62, <http://dx.doi.org/10.2113/gscpgbull.57.1.34>
- Lavoie, D. (1994) Diachronous tectonic collapse of the Ordovician continental margin, eastern Canada: comparison between the Quebec Reentrant and St. Lawrence Promontory. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 31 (8), 1309-1319, <http://dx.doi.org/10.1139/e94-113>
- Lavoie, D., Burden, E. et Lebel, D. (2003) Stratigraphic framework for the Cambrian Ordovician rift and passive margin successions from southern Quebec to western Newfoundland. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 40 (2), 177-205, <http://dx.doi.org/10.1139/e02-078>
- Lemieux, Y., Tremblay, A. et Lavoie, D. (2003) Structural analysis of supracrustal faults in the Charlevoix area, Quebec: relation to impact cratering and the St-Laurent fault system. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 40 (2), 221-235, <http://dx.doi.org/10.1139/e02-046>
- Logan, W.E. (1863) *Report for the year 1863*. Geological Survey of Canada. Report of progress 514. 983 pages.
- Okulitch, V.J. (1936) *The Black River Group near Montreal*. Commission géologique du Canada, Mémoire 202. 119-130.
- Parks, W.A. (1930) *Rapport sur le pétrole et le gaz dans la Province de Québec, partie B*. Service des Mines. RASM 1929-B. 154 pages.
- Parks, W.A. (1931) *Gaz naturel dans la vallée du Saint-Laurent, Québec*. Service des Mines. RASM 1930-D1. 113 pages.
- Rankin, D.W. (1976) Appalachian Salients and Recesses: Late Precambrian Continental Breakup and the Opening of the Iapetus Ocean. *Journal of Geophysical Research B: Solid Earth*, 81 (32), 5605-5619, <http://dx.doi.org/10.1029/JB081i032p05605>
- Raymond, P.E. (1905) The fauna of the Chazy limestone. *American Journal of Science*, 20 (2), 353-382,
- Raymond, P.E. (1913) *Ordovician of Montreal and Ottawa*. Commission géologique du Canada. 12th International Geological Congress, Guidebook 3. 137-160.
- Rider, M. (2002) *The geological interpretation of well logs. 2nd edition*. Rider French Consulting Ltd. Sutherland, Scotland. 280 pages, ISBN: 0-9541906-0-2
- Roliff, W.A. (1967) A stratigraphic analysis of the subsurface data relating to the Chazy Group in

- the St. Lawrence lowland of eastern Canada. Canadian Journal of Earth Sciences, 4 (4), 579-595, <http://dx.doi.org/10.1139/e67-035>
- Salad Hersi, O. et Lavoie, D. (2000a) *Lithostratigraphic revision of the Upper Cambrian Cairnside Formation, Upper Potsdam Group, southwestern Quebec, Canada*. Commission géologique du Canada. Recherche en cours, 2000-D4. 8 pages.
- Salad Hersi, O. et Lavoie, D. (2000b) *Pre-Cairnside Formation carbonate-rich sandstone: evidence for a Cambrian carbonate platform in southwestern Quebec?* Commission géologique du Canada. Recherche en cours, 2000-D3. 8 pages.
- Salad Hersi, O., Lavoie, D. et Nowlan, G.S. (2003) Reappraisal of the Beekmantown Group sedimentology and stratigraphy, Montréal area, southwestern Quebec: implications for understanding the depositional evolution of the Lower-Middle Ordovician Laurentian passive margin of eastern Canada. Canadian Journal of Earth Sciences, 40 (2), 149-176, <http://dx.doi.org/10.1139/e02-077>
- Salad Hersi, O., Mohamed, A.H., Lavoie, D. et Nowlan, G.S. (2002) Subaerial unconformity at the Potsdam-Beekmantown contact in the Quebec Reentrant: Regional significance for the Laurentian continental margin history. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 50 (3), 419-440, <http://dx.doi.org/10.2113/50.3.419>
- Sanford, B.V. et Arnott, R.W.C. (2010) *Stratigraphic and structural framework of the Potsdam Group in eastern Ontario, western Quebec, and northern New York State*. BU 597. 83 pages.
- Schlumberger (1991) *Log interpretation principles/applications*. Schlumberger Wireline & Testing. 241 pages.
- Séjourné, S., Dietrich, J. et Malo, M. (2003) Seismic characterization of the structural front of southern Quebec Appalachians. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 51 (1), 29-44, <http://dx.doi.org/10.2113/51.1.29>
- Serra, O. (1984) *Fundamentals of Well-Log Interpretation - 1. The Acquisition of Logging Data*. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. 423 pages, ISBN: 0-444-42132-7
- Serra, O. (1989) *Sedimentary Environments from Wireline Logs*. Schlumberger. France. 243 pages, ISBN: 9780929119014
- Serra, O. (2008) *Well Logging Handbook*. Editions Technip. Paris, France. 609 pages, ISBN: 978-2-7108-0912-8
- St-Julien, P. et Hubert, C. (1975) Evolution of the Taconian orogen in the Quebec Appalachians. American Journal of Science, 275-A, 337-362,
- Système d'information géoscientifique pétrolier et gazier (SIGPEG) (2008) *Compilation pétrolière et gazière. Basses-Terres du Saint-Laurent et sud des Appalaches*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec. Document AB_CE_250K_C.
- Système d'information géoscientifique pétrolier et gazier (SIGPEG) (2011) Base de données des puits forés du Québec, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec.
- Thériault, R. (2012a) *Caractérisation du Shale d'Utica et du Groupe de Lorraine, Basses-Terres du Saint-Laurent - Partie 1 : Compilation des données*. Gouvernement du Québec, Géologie Québec, Direction de l'information géologique de Québec. DV2012-03. 211 pages.
- Thériault, R. (2012b) *Caractérisation du Shale d'Utica et du Groupe de Lorraine, Basses-Terres du Saint-Laurent - Partie 2 : Interprétation géologique*. Gouvernement du Québec, Géologie Québec, Direction de l'information géologique de Québec. DV2012-04. 79 pages.
- Thomas, W.A. (2006) Tectonic inheritance at a continental margin. GSA Today, 16 (2), 4-11, [http://dx.doi.org/10.1130/1052-5173\(2006\)016<4:TIAACM>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/1052-5173(2006)016<4:TIAACM>2.0.CO;2)
- Trần Ngọc, T.D., Lefebvre, R., Malo, M. et Doughty, C. (2012) *Feasibility of CO2 injection in the deep saline aquifers of the Bécancour region, Québec (Canada)*. Proceedings TOUGH Symposium 2012, Berkeley, California, September 17-19.
- Van Ingen, G. (1902) The Potsdam Sandstone of the Lake Champlain Basin. New York State Museum Bulletin, 52, 529-545,
- Vanuxem, L. (1838) *Geology of New York, part III, comprising the survey of the third geological district: New York*. Geological Survey of Albany.
- Vanuxem, L. (1842) *Geology of New York, part III, comprising the survey of the third geological district: Albany*. New York State Geological Survey. 306 pages.
- Wilson, A.E. (1937) Erosional intervals indicated by contacts in the vicinity of Ottawa, Ontario. Transactions of the Royal Society of Canada, 31 (4), 45-60,
- Wilson, A.E. (1946) *Geology of Ottawa - St. Lawrence Lowlands, Ontario and Quebec*. 65 pages.

Annexe 1 - Détails des puits réinterprétés

Numéro du puits	Nom du puits	Année de forage	Profondeur totale (m)	Dernière formation rencontrée	Diagraphies
A004	Bald Mountain, Batiscan No 2	1957	1033	Covey Hill	GR-N
A008	Bald Mountain, Berthierville No 1	1957	771	Trenton/BR/Chazy	GR-N
A013	Bald Mountain, Louiseville No 2	1957	371	Theresa	GR-N
A063	Laduboro No 3, La Baie Yamaska	1959	920	Trenton/BR/Chazy	GR-N-R-SP
A065	Laduboro No 5, La Baie Yamaska	1962	1352	Socle précambrien	GR-N
A069	Impérial Lowlands No 1	1956	1050	Socle précambrien	GR-N
A070	Impérial Lowlands No 2	1956	1256	Cairnside	GR-N
A071	Impérial Lowlands No 3	1956	1985	Beauharnois	GR-N
A072	Impérial Lowlands No 4, Lotbinière	1957	600	Socle précambrien	GR-N
A075	Impérial Lowlands, Verchères No 1	1957	1146	Beauharnois	GR-N
A125	Laduboro C.I.G. No 1, Nicolet	1963	1269	Cairnside	GR-N-GG-R-SP
A126	Laduboro QIG et al No 1, Yamaska	1963	1343	Socle précambrien	GR-NPhi-A
A134	Québec Natural Gas No 10, Saint-Vincent-de-Paul	1965	458	Cairnside	GR-N-GG
A135	Québec Natural Gas No 11, Saint-Vincent-de-Paul	1965	463	Cairnside	GR-N
A136	Québec Natural Gas No 12, Saint-Vincent-de-Paul	1965	450	Cairnside	GR-N
A137	Québec Natural Gas No 13, Saint-Vincent-de-Paul	1965	455	Cairnside	GR-N
A139	Québec Natural Gas No 9, Saint-François-de-Sales	1965	502	Cairnside	GR-N
A140	Québec Natural Gas No 10, Saint-François-de-Sales	1965	476	Cairnside	GR-N
A141	Québec Natural Gas No 1, L'Éphanie	1965	199	Trenton/BR/Chazy	GR-N
A142	Québec Natural Gas No 2, L'Éphanie	1965	236	Trenton/BR/Chazy	GR-N
A147	Québec Natural Gas No 2, Saint-Gérard-Magella	1966	252	Trenton/BR/Chazy	GR-N
A148	Québec Natural Gas No 3, Saint-Gérard-Magella	1966	262	Trenton/BR/Chazy	GR-N
A149	Québec Natural Gas No 15, Saint-Vincent-de-Paul	1966	397	Beekmantown	GR-N

Numéro du puits	Nom du puits	Année de forage	Profondeur totale (m)	Dernière formation rencontrée	Diagraphies
A150	Québec Natural Gas No 16, Saint-Vincent-de-Paul	1966	458	Cairnside	GR-N
A151	Louvicourt - Métal l'Assomption No 8	1966	797	Cairnside	GR-N-GG
A156	Husky, Gentilly No 1	1971	2612	Covey Hill	GR-N-A-R
A157	Canac B.P. Sisque, Brossard No 1	1971	1449	Covey Hill	GR-DPhi-R-SP
A158	Husky Bruyères No 1 (et R1)	1971 et 2002	1390	Covey Hill	GR-NPhi-A-R
A159	SOQUIP Laduboro, Baieville No 1	1971	1305	Socle précambrien	GR-DPhi-A
A160	CPOG SOQUIP Sisque, Île d'Orléans No 1	1971	1814	Socle précambrien	GR-NPhi-DPhi-A-R
A161	Shell, Sainte-Françoise-Romaine No 1	1971	2861	Socle précambrien	GR-Rho-A-R
A162	Sarep Laduboro, Saint-Ours No 1	1972	1876	Covey Hill	GR-Rho-A-R-SP
A165	C.S. SOQUIP Laduboro, Nicolet No 1	1972	1947	Socle précambrien	GR-NPhi-DPhi-A-R-SP
A165A	C.S. SOQUIP Laduboro, Nicolet No 1a	1972	2239	Covey Hill	GR-NPhi-DPhi-A-R-SP
A166	Shell, Saint-Armand ouest No 1	1972	3805	Covey Hill	GR-Rho-A-R
A167	SOQUIP Shell, Sainte-Croix No 1	1973	1871	Socle précambrien	GR-NPhi-DPhi-A-R
A168	SOQUIP Shell, Villeroy No 1	1973	2144	Trenton/BR/Chazy	GR-A-R
A170	C.S. SOQUIP, Yamachiche No 1	1974	441	Socle précambrien	GR-NPhi-DPhi-A-R-SP
A172	C.S. SOQUIP S.W., Maskinongé No 1	1974	664	Socle précambrien	GR-NPhi-DPhi-A-R-SP
A173	SOQUIP et al., Villeroy No 2	1974	2227	Trenton/BR/Chazy	GR-NPhi-A-R-SP-Cal
A175	SOQUIP et al., Les Saules No 1	1975	971	Socle précambrien	GR-NPhi-DPhi-A-R-SP
A176	SOQUIP et al., Ancienne Lorette No 1	1975	998	Socle précambrien	GR-NPhi-DPhi-A-R
A186	SOQUIP, Nicolet No 1	1977	1394	Socle précambrien	GR-NPhi-DPhi-A-R-Cal
A187	SOQUIP et al., Du Chêne No 1 (Villeroy)	1978	3174	Cairnside	GR-NPhi-DPhi-A-R-Cal
A188	SOQUIP, Nicolet No 2	1978	1409	Socle précambrien	GR-NPhi-DPhi-A-R-Cal
A189	SOQUIP, Saint-Thomas-d'Aquin No 1	1978	2542	Trenton/BR/Chazy	GR-A-R-Cal
A190	SOQUIP, Sainte-Françoise-Romaine No 1	1978	2174	Trenton/BR/Chazy	GR-NPhi-DPhi-A-R
A192	SOQUIP, Sainte-Croix No 1 Lotbinière	1979	1066	Socle précambrien	GR-NPhi-DPhi-A-R-Cal

Numéro du puits	Nom du puits	Année de forage	Profondeur totale (m)	Dernière formation rencontrée	Diagraphies
A196	SOQUIP Pétrofina, Bécancour No 1(et R1)	1980 et 1999	1370	Socle précambrien	GR-NPhi-DPhi-A-R-Cal
A197	Texaco SOQUIP, Baieville No 1 Yamaska	1980	1390	Socle précambrien	GR-NPhi-DPhi-A-R-Cal
A198	SOQUIP Pétrofina, Bécancour No 2	1981 et 1999	1265	Socle précambrien	GR-NPhi-DPhi-A-R-Cal
A199	Texaco, Yamaska-Est No 1	1981	1348	Covey Hill	GR-NPhi-DPhi-A-R-Cal
A203	Tioxide, Tracy No 1	1986	1744	Socle précambrien	GR-SP-DPhi-A
A204	SNC Soligaz, Montréal-Est No 1	1986	183	Trenton/BR/Chazy	GR-N-A
A206	SNC Soligaz, Montréal-Est No 3	1986	184	Trenton/BR/Chazy	GR-N-A
A207	Jaltin Lemaire, Louiseville No 2	1988	296	Beekmantown	GR-Res
A222	BVI et al., Saint-Wenceslas No 1	1993	3455	Covey Hill	GR-NPhi-DPhi-A-R-SP
A223	Intermont, Bécancour No 1	1993	1001	Theresa	GR-NPhi-DPhi-A-PEF-R
A229	Genoil et al., Saint-Léonard No 1	1996	4037	Cairnside	GR-NPhi-DPhi-A-PEF-R-SP
A236	Junex, Bécancour No 2	2002	921	Trenton/BR/Chazy	GR-GG-TPhi
A238	Junex, Batiscan No 1	2003	888	Cairnside	GR-A-R-SP
A239	Junex, Bécancour No 3	2003	936	Trenton/BR/Chazy	GR-NPhi-DPhi-A-PEF-R-SP
A241	Junex, Bécancour No 4	2003	1054	Theresa	GR-NPhi-DPhi-A-PEF-R-SP
A242	Junex, Bécancour No 5	2003	981	Beauharnois	GR-SPhi-A-PEF-R-SP
A246	Junex, Bécancour No 6 (et R1)	2004 et 2008	1339	Socle précambrien	GR-NPhi-DPhi-A-PEF-R-SP
A247	Junex, Bécancour No 7	2004	1064	Cairnside	GR-NPhi-DPhi-A-PEF-R
A248	Talisman Energy, Saint-François-du-Lac No 1	2006	1294	Cairnside	GR-NPhi-DPhi-A-PEF-R-SP
A250	Junex, Bécancour No 8	2006	1049	Theresa	GR-NPhi-DPhi-A-PEF-R-SP
A252	Talisman Energy, Gentilly No 1	2006	2530	Covey Hill	GR-NPhi-DPhi-A-PEF-R-SP
A253	Gastem et al., Saint-François-du-Lac No 1	2007	1700	Trenton/BR/Chazy	GR-NPhi-DPhi-A-PEF-R-SP
A254	Gastem, Saint-Louis-de-Richelieu HZ No 1	2007	1760	Utica inférieur	GR-NPhi-DPhi-A-PEF-R-SP
A255	Junex, Champlain No 2	2007	930	Covey Hill	GR-NPhi-DPhi-A-PEF-R
A257	Junex, Saint-Augustin-de-Desmaures No 1	2008	838	Socle précambrien	GR-NPhi-DPhi-A-PEF-R-SP

Numéro du puits	Nom du puits	Année de forage	Profondeur totale (m)	Dernière formation rencontrée	Diagraphies
A258	Junex, Saint-Antoine-sur-Richelieu No 1	2008	1475	Cairnside	GR-NPhi-DPhi-A-PEF-R
A259	Talisman Energy, Saint-David No 1	2008	1995	Beauharnois	
A261	Talisman Energy, La Visitation No 1	2008	2770	Theresa	GR-NPhi-DPhi-A-PEF-R-SP
A262	Junex, Bécancour No 9	2008	2003	Beauharnois	GR-NPhi-DPhi-A-PEF-R-SP
A263	Questerre et al., Saint-Jean-sur-Richelieu No 1	2008	421	Trenton/BR/Chazy	GR-NPhi-DPhi-A-PEF-R-SP
A267	Talisman Energy, Saint-Edouard No 1	2009	2584	Beauharnois	GR-NPhi-DPhi-A-PEF-R-SP

Abréviations des diagraphies

A	Acoustique, sonic
DPhi	Porosité densité
GG	Gamma-Gamma
GR	<i>Gamma Ray</i>
N	Neutron non calibré
NPhi	Porosité neutron
PEF	Facteur photo-électrique
R	Résistivité, induction, laterolog
Res	Résistance
Rho	Densité de formation
SP	Potentiel spontané
SPhi	Porosité sonic
TPhi	Porosité thermique/épithermale

Annexe 2 - Sommets des formations des puits réinterprétés

No Puits	Sommet (mkb)	Base (mkb)	Épaisseur (m)	Groupe	Formation
A004	0,0	41,2	41,2	Dépôts meubles	-
A004	41,2	548,0	506,9	Lorraine	Nicolet
A004	548,0	623,0	75,0	Utica	Supérieur
A004	623,0	670,0	47,0	Utica	Inférieur
A004	670,0	860,0	190,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A004	860,0	950,0	90,0	Potsdam	Cairnside
A004	950,0	1033,3	83,3	Potsdam	Covey Hill
A008	0,6	93,0	92,4	Dépôts meubles	-
A008	93,0	433,0	340,0	Lorraine	Nicolet
A008	433,0	515,0	82,0	Utica	Supérieur
A008	515,0	569,0	54,0	Utica	Inférieur
A008	569,0	775,1	206,1	Trenton/Black River/Chazy	-
A013	0,6	62,5	61,9	Dépôts meubles	-
A013	62,5	142,0	79,5	Utica	Non déterminée
A013	142,0	238,0	96,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A013	238,0	297,0	59,0	Beekmantown	Beauharnois
A013	297,0	344,0	47,0	Beekmantown	Theresa
A063	3,0	15,2	12,2	Dépôts meubles	-
A063	15,2	762,0	746,8	Queenston/Lorraine	Non déterminée
A063	762,0	793,0	31,0	Utica	Supérieur
A063	793,0	838,0	45,0	Utica	Inférieur
A063	838,0	920,5	82,5	Trenton/Black River/Chazy	-
A065	4,0	29,0	25,0	Dépôts meubles	-
A065	29,0	769,0	740,0	Queenston/Lorraine	Non déterminée
A065	769,0	799,0	30,0	Utica	Supérieur
A065	799,0	838,0	39,0	Utica	Inférieur
A065	838,0	947,0	109,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A065	947,0	1160,0	213,0	Beekmantown	Non déterminée
A065	1160,0	1303,0	143,0	Potsdam	Cairnside
A065	1303,0	1340,0	37,0	Potsdam	Covey Hill
A065	1340,0	1352,4	12,4	Socle précambrien	-
A069	0,6	18,3	17,7	Dépôts meubles	-
A069	18,3	595,0	576,7	Lorraine	Nicolet
A069	595,0	661,0	66,0	Utica	Supérieur
A069	661,0	718,0	57,0	Utica	Inférieur
A069	718,0	913,0	195,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A069	913,0	1038,8	125,8	Potsdam	Non déterminée
A069	1038,8	1050,0	11,3	Socle précambrien	-
A070	3,4	39,0	35,7	Dépôts meubles	-
A070	39,0	720,0	681,0	Lorraine	Non déterminée

No Puits	Sommet (mkb)	Base (mkb)	Épaisseur (m)	Groupe	Formation
A070	720,0	785,0	65,0	Utica	Supérieur
A070	785,0	839,0	54,0	Utica	Inférieur
A070	839,0	980,0	141,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A070	980,0	1192,0	212,0	Beekmantown	Non déterminée
A070	1192,0	1256,1	64,1	Potsdam	Cairnside
A071	2,1	91,4	89,3	Queenston	Becancour
A071	91,4	140,2	48,8	Lorraine	Pontgrave
A071	140,2	1447,0	1306,8	Lorraine	Nicolet
A071	1447,0	1576,0	129,0	Utica	Supérieur
A071	1576,0	1671,0	95,0	Utica	Inférieur
A071	1671,0	1901,0	230,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A071	1901,0	1940,0	39,0	Beekmantown	Beauharnois
A072	0,9	1,8	0,9	Dépôts meubles	-
A072	1,8	269,0	267,2	Lorraine	Nicolet
A072	269,0	317,0	48,0	Utica	Supérieur
A072	317,0	369,0	52,0	Utica	Inférieur
A072	369,0	545,0	176,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A072	545,0	554,7	9,7	Potsdam	Non déterminée
A072	554,7	600,2	45,4	Socle précambrien	-
A075	1,2	29,0	27,7	Dépôts meubles	-
A075	29,0	488,0	459,0	Lorraine	Nicolet
A075	488,0	556,0	68,0	Utica	Supérieur
A075	556,0	591,0	35,0	Utica	Inférieur
A075	591,0	793,0	202,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A075	793,0	931,0	138,0	Beekmantown	Beauharnois
A125	3,4	30,5	27,1	Dépôts meubles	-
A125	30,5	1009,0	978,5	Queenston/Lorraine	Non déterminée
A125	1009,0	1051,0	42,0	Utica	Non déterminée
A125	1051,0	1200,0	149,0	Beekmantown	Non déterminée
A125	1200,0	1269,2	69,2	Potsdam	Cairnside
A126	4,0	39,6	35,7	Dépôts meubles	-
A126	39,6	802,0	762,4	Queenston/Lorraine	Non déterminée
A126	802,0	833,0	31,0	Utica	Supérieur
A126	833,0	875,0	42,0	Utica	Inférieur
A126	875,0	989,0	114,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A126	989,0	1185,0	196,0	Beekmantown	Non déterminée
A126	1185,0	1333,0	148,0	Potsdam	Non déterminée
A126	1333,0	1343,3	10,3	Socle précambrien	-
A134	1,8	3,7	1,8	Dépôts meubles	-
A134	3,7	53,0	49,3	Trenton/Black River/Chazy	-
A134	53,0	411,0	358,0	Beekmantown	Non déterminée

No Puits	Sommet (mkb)	Base (mkb)	Épaisseur (m)	Groupe	Formation
A134	411,0	458,4	47,4	Potsdam	Cairnside
A135	2,1	4,6	2,4	Dépôts meubles	-
A135	4,6	62,0	57,4	Trenton/Black River/Chazy	-
A135	62,0	405,0	343,0	Beekmantown	Non déterminée
A135	405,0	462,7	57,7	Potsdam	Cairnside
A136	1,5	4,0	2,4	Dépôts meubles	-
A136	4,0	79,0	75,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A136	79,0	399,0	320,0	Beekmantown	Non déterminée
A136	399,0	449,6	50,6	Potsdam	Cairnside
A137	0,0	1,5	1,5	Dépôts meubles	-
A137	1,5	70,0	68,5	Trenton/Black River/Chazy	-
A137	70,0	411,0	341,0	Beekmantown	Non déterminée
A137	411,0	455,4	44,4	Potsdam	Cairnside
A139	0,6	0,9	0,3	Dépôts meubles	-
A139	0,9	98,0	97,1	Trenton/Black River/Chazy	-
A139	98,0	457,0	359,0	Beekmantown	Non déterminée
A139	457,0	502,3	45,3	Potsdam	Cairnside
A140	0,6	1,2	0,6	Dépôts meubles	-
A140	1,2	63,0	61,8	Trenton/Black River/Chazy	-
A140	63,0	429,0	366,0	Beekmantown	Non déterminée
A140	429,0	476,1	47,1	Potsdam	Cairnside
A141	1,5	7,3	5,8	Dépôts meubles	-
A141	7,3	68,0	60,7	Utica	Supérieur
A141	68,0	128,0	60,0	Utica	Inférieur
A141	128,0	199,0	71,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A142	0,9	10,0	9,1	Dépôts meubles	-
A142	10,0	17,0	7,0	Lorraine	Nicolet
A142	17,0	103,0	86,0	Utica	Supérieur
A142	103,0	170,0	67,0	Utica	Inférieur
A142	170,0	235,9	65,9	Trenton/Black River/Chazy	-
A147	0,9	15,2	14,3	Dépôts meubles	-
A147	15,2	45,0	29,8	Lorraine	Nicolet
A147	45,0	131,0	86,0	Utica	Supérieur
A147	131,0	193,0	62,0	Utica	Inférieur
A147	193,0	252,4	59,4	Trenton/Black River/Chazy	-
A148	0,9	38,7	37,8	Dépôts meubles	-
A148	38,7	57,0	18,3	Lorraine	Nicolet
A148	57,0	143,0	86,0	Utica	Supérieur
A148	143,0	203,0	60,0	Utica	Inférieur
A148	203,0	261,5	58,5	Trenton/Black River/Chazy	-
A149	0,9	1,5	0,6	Dépôts meubles	-

No Puits	Sommet (mkb)	Base (mkb)	Épaisseur (m)	Groupe	Formation
A149	1,5	48,0	46,5	Trenton/Black River/Chazy	-
A149	48,0	396,5	348,5	Beekmantown	Non déterminée
A150	0,6	0,9	0,3	Dépôts meubles	-
A150	0,9	48,0	47,1	Trenton/Black River/Chazy	-
A150	48,0	414,0	366,0	Beekmantown	Non déterminée
A150	414,0	458,1	44,1	Potsdam	Cairnside
A151	1,2	24,4	23,2	Dépôts meubles	-
A151	24,4	223,0	198,6	Lorraine	Nicolet
A151	223,0	371,0	148,0	Utica	Non déterminée
A151	371,0	616,0	245,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A151	616,0	780,0	164,0	Beekmantown	Non déterminée
A151	780,0	797,1	17,1	Potsdam	Cairnside
A156	3,4	15,2	11,9	Dépôts meubles	-
A156	15,2	119,8	104,6	Queenston	Becancour
A156	119,8	122,8	3,0	Lorraine	Pontgrave
A156	122,8	1645,0	1522,2	Lorraine	Nicolet
A156	1645,0	1857,0	212,0	Utica	Non déterminée
A156	1857,0	2042,0	185,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A156	2042,0	2214,0	172,0	Beekmantown	Beauharnois
A156	2214,0	2273,0	59,0	Beekmantown	Theresa
A156	2273,0	2352,0	79,0	Potsdam	Cairnside
A156	2352,0	2612,1	260,1	Potsdam	Covey Hill
A157	3,0	6,1	3,1	Dépôts meubles	-
A157	6,1	176,0	169,9	Lorraine	Nicolet
A157	176,0	282,0	106,0	Utica	Supérieur
A157	282,0	328,0	46,0	Utica	Inférieur
A157	328,0	596,0	268,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A157	596,0	848,0	252,0	Beekmantown	Non déterminée
A157	1102,0	1215,0	113,0	Potsdam	Cairnside
A157	1215,0	1449,0	234,0	Potsdam	Covey Hill
A158	4,3	4,9	0,6	Dépôts meubles	-
A158	4,9	131,4	126,5	Lorraine	Pontgrave
A158	131,4	751,0	619,6	Lorraine	Nicolet
A158	751,0	773,0	22,0	Utica	Supérieur
A158	773,0	830,0	57,0	Utica	Inférieur
A158	830,0	968,0	138,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A158	968,0	1064,0	96,0	Beekmantown	Beauharnois
A158	1064,0	1130,0	66,0	Beekmantown	Theresa
A158	1130,0	1231,0	101,0	Potsdam	Cairnside
A158	1231,0	1392,9	161,9	Potsdam	Covey Hill
A159	3,7	36,6	32,9	Dépôts meubles	-

No Puits	Sommet (mkb)	Base (mkb)	Épaisseur (m)	Groupe	Formation
A159	36,6	44,2	7,6	Queenston	Becancour
A159	44,2	746,0	701,8	Lorraine	Non déterminée
A159	746,0	773,0	27,0	Utica	Supérieur
A159	773,0	819,0	46,0	Utica	Inférieur
A159	819,0	917,0	98,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A159	917,0	1037,0	120,0	Beekmantown	Beauharnois
A159	1037,0	1135,0	98,0	Beekmantown	Theresa
A159	1135,0	1280,0	145,0	Potsdam	Cairnside
A159	1280,0	1304,5	24,5	Socle précambrien	-
A160	4,9	744,0	739,1	Appalaches	-
A160	744,0	1525,0	781,0	Lorraine	Non déterminée
A160	1525,0	1597,0	72,0	Utica	Non déterminée
A160	1597,0	1658,0	61,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A160	1658,0	1707,0	49,0	Potsdam	Cairnside
A160	1707,0	1750,0	43,0	Potsdam	Covey Hill
A160	1750,0	1813,6	63,6	Socle précambrien	-
A161	5,5	18,3	12,8	Dépôts meubles	-
A161	18,3	1861,0	1842,7	Lorraine	Nicolet
A161	1861,0	1914,0	53,0	Utica	Supérieur
A161	1914,0	2077,0	163,0	Utica	Inférieur
A161	2077,0	2313,0	236,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A161	2313,0	2427,0	114,0	Beekmantown	Beauharnois
A161	2427,0	2494,0	67,0	Beekmantown	Theresa
A161	2494,0	2534,0	40,0	Potsdam	Cairnside
A161	2534,0	2843,5	309,5	Potsdam	Covey Hill
A161	2843,5	2860,6	17,1	Socle précambrien	-
A162	5,2	33,5	28,3	Dépôts meubles	-
A162	33,5	236,2	202,7	Queenston	Becancour
A162	236,2	313,9	77,7	Lorraine	Pontgrave
A162	313,9	1030,0	716,1	Lorraine	Nicolet
A162	1030,0	1098,0	68,0	Utica	Supérieur
A162	1098,0	1222,0	124,0	Utica	Inférieur
A162	1222,0	1336,0	114,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A162	1336,0	1562,0	226,0	Beekmantown	Beauharnois
A162	1562,0	1685,0	123,0	Beekmantown	Theresa
A162	1685,0	1841,0	156,0	Potsdam	Cairnside
A162	1841,0	1878,5	37,5	Potsdam	Covey Hill
A165	6,1	35,1	29,0	Dépôts meubles	-
A165	35,1	91,4	56,4	Queenston	Becancour
A165	91,4	1224,0	1132,6	Lorraine	Non déterminée
A165	1224,0	1376,0	152,0	Utica	Supérieur

No Puits	Sommet (mkb)	Base (mkb)	Épaisseur (m)	Groupe	Formation
A165	1376,0	1468,0	92,0	Utica	Inférieur
A165	1468,0	1702,0	234,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A165	1702,0	1854,0	152,0	Beekmantown	Non déterminée
A165	1854,0	1946,8	92,8	Socle précambrien	-
A165A	6,1	35,1	29,0	Dépôts meubles	-
A165A	35,1	91,4	56,4	Queenston	Becancour
A165A	91,4	1239,0	1147,6	Lorraine	Non déterminée
A165A	1239,0	1410,0	171,0	Utica	Supérieur
A165A	1410,0	1440,0	30,0	Utica	Inférieur
A165A	1440,0	1777,0	337,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A165A	1777,0	1950,0	173,0	Beekmantown	Beauharnois
A165A	1950,0	2027,0	77,0	Beekmantown	Theresa
A165A	2027,0	2115,0	88,0	Potsdam	Cairnside
A165A	2115,0	2239,1	124,1	Potsdam	Covey Hill
A166	4,6	15,2	10,7	Dépôts meubles	-
A166	15,2	1253,0	1237,8	Sainte-Rosalie	Non déterminée
A166	1253,0	1794,0	541,0	Utica	Non déterminée
A166	1794,0	2074,0	280,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A166	2074,0	2710,0	636,0	Beekmantown	Non déterminée
A166	2710,0	2843,0	133,0	Potsdam	Cairnside
A166	2843,0	3804,8	961,8	Potsdam	Covey Hill
A167	6,1	73,2	67,1	Dépôts meubles	-
A167	73,2	1244,0	1170,9	Lorraine	Nicolet
A167	1244,0	1333,0	89,0	Utica	Non déterminée
A167	1333,0	1539,0	206,0	Trenton/Black River/Chazy	-
A167	1539,0	1560,0	21,0	Beekmantown	Beauharnois
A167	1560,0	1620,0	60,0	Beekmantown	Theresa
A167	1620,0	1739,0	119,0	Potsdam	Cairnside
A167	1739,0	1862,0	123,0	Potsdam	Covey Hill
A167	1862,0	1870,6	8,6	Socle précambrien	-
A168	5,2	21,3	16,2	Dépôts meubles	-
A168	21,3	1839,0	1817,7	Lorraine	Nicolet
A168	1839,0	1950,0	111,0	Utica	Supérieur
A168	1950,0	2122,0	172,0	Utica	Inférieur
A168	2122,0	2144,3	22,3	Trenton/Black River/Chazy	-
A170	4,0	68,6	64,6	Dépôts meubles	-
A170	68,6	106,0	37,4	Utica	Non déterminée
A170	106,0	204,0	98,0	Trenton-Br-Chazy	-
A170	204,0	258,0	54,0	Beekmantown	Beauharnois
A170	258,0	297,0	39,0	Beekmantown	Theresa
A170	297,0	376,0	79,0	Potsdam	Cairnside

No Puits	Sommet (mkb)	Base (mkb)	Épaisseur (m)	Groupe	Formation
A170	376,0	435,0	59,0	Potsdam	Covey Hill
A170	435,0	441,4	6,4	Socle précambrien	-
A172	3,4	71,6	68,3	Dépôts meubles	-
A172	71,6	183,0	111,4	Utica	Non déterminée
A172	183,0	274,0	91,0	Trenton-Br-Chazy	-
A172	274,0	378,0	104,0	Beekmantown	Beauharnois
A172	378,0	432,0	54,0	Beekmantown	Theresa
A172	432,0	535,0	103,0	Potsdam	Cairnside
A172	535,0	654,4	119,4	Potsdam	Covey Hill
A172	654,4	663,6	9,1	Socle précambrien	-
A173	4,3	22,6	18,3	Dépôts meubles	-
A173	22,6	1857,0	1834,4	Lorraine	Nicolet
A173	1857,0	2020,0	163,0	Utica	Supérieur
A173	2020,0	2188,0	168,0	Utica	Inférieur
A173	2188,0	2227,2	39,2	Trenton-Br-Chazy	-
A175	4,6	7,6	3,0	Dépôts meubles	-
A175	7,6	394,0	386,4	Lorraine	Nicolet
A175	394,0	616,0	222,0	Utica	Non déterminée
A175	616,0	898,0	282,0	Trenton-Br-Chazy	-
A175	898,0	942,0	44,0	Potsdam	Covey Hill
A175	942,0	975,7	33,7	Socle précambrien	-
A176	4,6	462,0	457,4	Lorraine	Nicolet
A176	462,0	649,0	187,0	Utica	Non déterminée
A176	649,0	891,0	242,0	Trenton-Br-Chazy	-
A176	891,0	943,0	52,0	Potsdam	Covey Hill
A176	943,0	1003,4	60,4	Socle précambrien	-
A186	4,9	27,7	22,9	Dépôts meubles	-
A186	27,7	195,0	167,3	Queenston	Becancour
A186	195,0	799,0	604,0	Lorraine	Non déterminée
A186	799,0	828,0	29,0	Utica	Supérieur
A186	828,0	876,0	48,0	Utica	Inférieur
A186	876,0	979,0	103,0	Trenton-Br-Chazy	-
A186	979,0	1101,0	122,0	Beekmantown	Beauharnois
A186	1101,0	1193,0	92,0	Beekmantown	Theresa
A186	1193,0	1303,0	110,0	Potsdam	Cairnside
A186	1303,0	1380,7	77,7	Potsdam	Covey Hill
A186	1380,7	1393,6	12,8	Socle précambrien	-
A187	5,2	8,8	3,7	Dépôts meubles	-
A187	8,8	1758,7	1749,9	Appalaches	-
A187	1758,7	2379,0	620,3	Lorraine	Nicolet
A187	2379,0	2733,0	354,0	Utica	Non déterminée

No Puits	Sommet (mkb)	Base (mkb)	Épaisseur (m)	Groupe	Formation
A187	2733,0	2916,0	183,0	Trenton-Br-Chazy	-
A187	2916,0	3035,0	119,0	Beekmantown	Beauharnois
A187	3035,0	3109,0	74,0	Beekmantown	Theresa
A187	3109,0	3173,9	64,9	Potsdam	Cairnside
A188	4,9	24,4	19,5	Dépôts meubles	-
A188	24,4	134,1	109,7	Queenston	Becancour
A188	134,1	867,2	733,1	Lorraine	Non déterminée
A188	867,2	974,0	106,8	Trenton-Br-Chazy	-
A188	974,0	1096,0	122,0	Beekmantown	Beauharnois
A188	1096,0	1184,0	88,0	Beekmantown	Theresa
A188	1184,0	1295,0	111,0	Potsdam	Cairnside
A188	1295,0	1396,0	101,0	Potsdam	Covey Hill
A188	1396,0	1409,1	13,1	Socle précambrien	-
A189	6,0	38,0	32,0	Dépôts meubles	-
A189	38,0	255,0	217,0	Queenston	Becancour
A189	255,0	2103,0	1848,0	Lorraine	Non déterminée
A189	2103,0	2312,0	209,0	Utica	Supérieur
A189	2312,0	2430,0	118,0	Utica	Inférieur
A189	2430,0	2544,0	114,0	Trenton-Br-Chazy	-
A190	5,0	25,0	20,0	Dépôts meubles	-
A190	25,0	1929,0	1904,0	Lorraine	Nicolet
A190	1929,0	2033,0	104,0	Utica	Supérieur
A190	2033,0	2137,0	104,0	Utica	Inférieur
A190	2137,0	2174,0	37,0	Trenton-Br-Chazy	-
A192	6,0	11,0	5,0	Dépôts meubles	-
A192	11,0	579,0	568,0	Lorraine	Nicolet
A192	579,0	641,0	62,0	Utica	Supérieur
A192	641,0	728,0	87,0	Utica	Inférieur
A192	728,0	926,0	198,0	Trenton-Br-Chazy	-
A192	926,0	944,0	18,0	Potsdam	Cairnside
A192	944,0	1050,0	106,0	Potsdam	Covey Hill
A192	1050,0	1066,0	16,0	Socle précambrien	-
A196	5,3	744,0	738,7	Lorraine	Non déterminée
A196	744,0	761,0	17,0	Utica	Inférieur
A196	761,0	914,0	153,0	Trenton-Br-Chazy	-
A196	914,0	977,0	63,0	Beekmantown	Beauharnois
A196	977,0	1040,0	63,0	Beekmantown	Theresa
A196	1040,0	1143,0	103,0	Potsdam	Cairnside
A196	1143,0	1350,0	207,0	Potsdam	Covey Hill
A196	1350,0	1370,0	20,0	Socle précambrien	-
A197	4,0	30,0	26,0	Dépôts meubles	-

No Puits	Sommet (mkb)	Base (mkb)	Épaisseur (m)	Groupe	Formation
A197	30,0	760,0	730,0	Lorraine	Nicolet
A197	760,0	794,0	34,0	Utica	Supérieur
A197	794,0	840,0	46,0	Utica	Inférieur
A197	840,0	942,0	102,0	Trenton-Br-Chazy	-
A197	942,0	1050,0	108,0	Beekmantown	Beauharnois
A197	1077,0	1160,0	83,0	Beekmantown	Theresa
A197	1160,0	1302,0	142,0	Potsdam	Cairnside
A197	1302,0	1377,0	75,0	Potsdam	Covey Hill
A197	1377,0	1390,0	13,0	Socle précambrien	-
A198	6,0	8,0	2,0	Dépôts meubles	-
A198	8,0	695,0	687,0	Lorraine	Non déterminée
A198	695,0	739,0	44,0	Utica	Inférieur
A198	739,0	896,0	157,0	Trenton-Br-Chazy	-
A198	896,0	938,0	42,0	Beekmantown	Beauharnois
A198	938,0	971,0	33,0	Beekmantown	Theresa
A198	971,0	1050,0	79,0	Potsdam	Cairnside
A198	1050,0	1255,0	205,0	Potsdam	Covey Hill
A198	1255,0	1265,0	10,0	Socle précambrien	-
A199	5,0	142,0	137,0	Dépôts meubles	-
A199	142,0	706,0	564,0	Lorraine	Non déterminée
A199	706,0	727,0	21,0	Utica	Supérieur
A199	727,0	800,0	73,0	Utica	Inférieur
A199	800,0	877,0	77,0	Trenton-Br-Chazy	-
A199	877,0	1051,0	174,0	Beekmantown	Beauharnois
A199	1051,0	1148,0	97,0	Beekmantown	Theresa
A199	1148,0	1293,0	145,0	Potsdam	Cairnside
A199	1293,0	1348,0	55,0	Potsdam	Covey Hill
A203	820,0	908,0	88,0	Trenton-Br-Chazy	-
A203	908,0	1087,0	179,0	Beekmantown	Beauharnois
A203	1087,0	1157,0	70,0	Beekmantown	Theresa
A203	1157,0	1270,0	113,0	Potsdam	Cairnside
A203	1270,0	1739,5	469,5	Potsdam	Covey Hill
A203	1739,5	1744,1	4,6	Socle précambrien	-
A204	0,0	2,4	2,4	Dépôts meubles	-
A204	2,4	183,4	181,0	Trenton-Br-Chazy	-
A206	0,0	14,0	14,0	Dépôts meubles	-
A206	14,0	24,0	10,0	Utica	Inférieur
A206	24,0	183,7	159,7	Trenton-Br-Chazy	-
A207	0,0	38,0	38,0	Dépôts meubles	-
A207	38,0	109,0	71,0	Utica	Inférieur
A207	109,0	206,0	97,0	Trenton-Br-Chazy	-

No Puits	Sommet (mkb)	Base (mkb)	Épaisseur (m)	Groupe	Formation
A207	206,0	296,0	90,0	Beekmantown	Non déterminée
A222	7,6	47,6	40,0	Dépôts meubles	-
A222	47,6	2599,0	2551,4	Lorraine	Nicolet
A222	2599,0	2853,0	254,0	Utica	Non déterminée
A222	2853,0	3062,0	209,0	Trenton-Br-Chazy	-
A222	3062,0	3230,0	168,0	Beekmantown	Beauharnois
A222	3230,0	3336,0	106,0	Beekmantown	Theresa
A222	3336,0	3435,0	99,0	Potsdam	Cairnside
A222	3435,0	3455,0	20,0	Potsdam	Covey Hill
A223	3,0	5,5	2,5	Dépôts meubles	-
A223	5,5	652,0	646,6	Lorraine	Nicolet
A223	652,0	706,0	54,0	Utica	Supérieur
A223	706,0	760,0	54,0	Utica	Inférieur
A223	760,0	916,0	156,0	Trenton-Br-Chazy	-
A223	916,0	972,0	56,0	Beekmantown	Beauharnois
A223	972,0	1001,0	29,0	Beekmantown	Theresa
A229	8,0	692,0	684,0	Appalaches	-
A229	692,0	3369,0	2677,0	Lorraine	Nicolet
A229	3369,0	3485,0	116,0	Utica	Non déterminée
A229	3485,0	3675,0	190,0	Trenton-Br-Chazy	-
A229	3675,0	3884,0	209,0	Beekmantown	Beauharnois
A229	3884,0	4008,0	124,0	Beekmantown	Theresa
A229	4008,0	4037,0	29,0	Potsdam	Cairnside
A236	5,0	687,0	682,0	Lorraine	Non déterminée
A236	687,0	708,0	21,0	Utica	Supérieur
A236	708,0	764,0	56,0	Utica	Inférieur
A236	764,0	921,0	157,0	Trenton-Br-Chazy	-
A238	2,0	40,0	38,0	Dépôts meubles	-
A238	40,0	520,0	480,0	Lorraine	Nicolet
A238	520,0	610,0	90,0	Utica	Supérieur
A238	610,0	650,0	40,0	Utica	Inférieur
A238	650,0	825,0	175,0	Trenton-Br-Chazy	-
A238	825,0	888,0	63,0	Potsdam	Cairnside
A239	2,1	641,0	638,9	Lorraine	Non déterminée
A239	641,0	719,0	78,0	Utica	Supérieur
A239	719,0	772,0	53,0	Utica	Inférieur
A239	772,0	936,0	164,0	Trenton-Br-Chazy	-
A241	2,0	642,0	640,0	Lorraine	Nicolet
A241	642,0	717,0	75,0	Utica	Supérieur
A241	717,0	769,0	52,0	Utica	Inférieur
A241	769,0	925,0	156,0	Trenton-Br-Chazy	-

No Puits	Sommet (mkb)	Base (mkb)	Épaisseur (m)	Groupe	Formation
A241	925,0	968,0	43,0	Beekmantown	Beauharnois
A241	982,0	1004,0	22,0	Beekmantown	Theresa
A242	2,0	647,0	645,0	Lorraine	Non déterminée
A242	647,0	698,0	51,0	Utica	Supérieur
A242	698,0	748,0	50,0	Utica	Inférieur
A242	748,0	906,0	158,0	Trenton-Br-Chazy	-
A242	906,0	949,0	43,0	Beekmantown	Beauharnois
A246	2,0	707,0	705,0	Lorraine	Non déterminée
A246	707,0	743,0	36,0	Utica	Inférieur
A246	743,0	900,0	157,0	Trenton-Br-Chazy	-
A246	900,0	918,0	18,0	Beekmantown	Beauharnois
A246	918,0	945,0	27,0	Beekmantown	Theresa
A246	945,0	1043,0	98,0	Potsdam	Cairnside
A246	1043,0	1260,0	217,0	Potsdam	Covey Hill
A246	1260,0	1339,0	79,0	Socle précambrien	-
A247	2,1	25,0	22,9	Dépôts meubles	-
A247	25,0	771,0	746,0	Lorraine	Non déterminée
A247	771,0	780,0	9,0	Utica	Inférieur
A247	780,0	928,0	148,0	Trenton-Br-Chazy	-
A247	928,0	979,5	51,5	Beekmantown	Beauharnois
A247	979,5	1048,0	68,5	Beekmantown	Theresa
A247	1048,0	1064,0	16,0	Potsdam	Cairnside
A248	0,0	46,3	46,3	Dépôts meubles	-
A248	46,3	718,0	671,7	Lorraine	Non déterminée
A248	718,0	749,0	31,0	Utica	Supérieur
A248	749,0	816,0	67,0	Utica	Inférieur
A248	816,0	909,0	93,0	Trenton-Br-Chazy	-
A248	909,0	1033,0	124,0	Beekmantown	Beauharnois
A248	1033,0	1125,0	92,0	Beekmantown	Theresa
A248	1125,0	1294,0	169,0	Potsdam	Cairnside
A250	0,0	20,0	20,0	Dépôts meubles	-
A250	20,0	670,0	650,0	Lorraine	Nicolet
A250	670,0	744,0	74,0	Utica	Supérieur
A250	744,0	802,0	58,0	Utica	Inférieur
A250	802,0	958,0	156,0	Trenton-Br-Chazy	-
A250	958,0	1018,0	60,0	Beekmantown	Beauharnois
A250	1018,0	1048,5	30,5	Beekmantown	Theresa
A252	0,0	22,0	22,0	Dépôts meubles	-
A252	22,0	1626,0	1604,0	Lorraine	Non déterminée
A252	1626,0	1762,0	136,0	Utica	Supérieur
A252	1762,0	1835,0	73,0	Utica	Inférieur

No Puits	Sommet (mkb)	Base (mkb)	Épaisseur (m)	Groupe	Formation
A252	1835,0	1968,0	133,0	Trenton-Br-Chazy	-
A252	1968,0	2066,0	98,0	Beekmantown	Beauharnois
A252	2066,0	2133,0	67,0	Beekmantown	Theresa
A252	2133,0	2237,0	104,0	Potsdam	Cairnside
A252	2237,0	2530,0	293,0	Potsdam	Covey Hill
A253	4,0	47,0	43,0	Dépôts meubles	-
A253	47,0	388,0	341,0	Queenston	Becancour
A253	388,0	865,0	477,0	Lorraine	Pontgrave
A253	865,0	1407,0	542,0	Lorraine	Nicolet
A253	1407,0	1524,0	117,0	Utica	Supérieur
A253	1524,0	1666,0	142,0	Utica	Inférieur
A253	1666,0	1700,0	34,0	Trenton-Br-Chazy	-
A254	4,0	32,0	28,0	Dépôts meubles	-
A254	32,0	505,0	473,0	Queenston	Becancour
A254	505,0	1500,0	995,0	Lorraine	Non déterminée
A254	1500,0	1627,0	127,0	Utica	Supérieur
A254	1627,0	1760,0	133,0	Utica	Inférieur
A255	2,0	58,0	56,0	Dépôts meubles	-
A255	58,0	483,0	425,0	Lorraine	Nicolet
A255	483,0	588,0	105,0	Utica	Supérieur
A255	588,0	636,0	48,0	Utica	Inférieur
A255	636,0	835,0	199,0	Trenton-Br-Chazy	-
A255	835,0	915,0	80,0	Potsdam	Cairnside
A255	915,0	930,0	15,0	Potsdam	Covey Hill
A257	0,0	353,0	353,0	Lorraine	Nicolet
A257	353,0	439,0	86,0	Utica	Supérieur
A257	439,0	555,0	116,0	Utica	Inférieur
A257	555,0	761,0	206,0	Trenton-Br-Chazy	-
A257	761,0	811,0	50,0	Potsdam	Covey Hill
A257	811,0	837,5	26,5	Socle précambrien	-
A258	2,1	12,0	9,9	Dépôts meubles	-
A258	12,0	120,0	108,0	Queenston	Becancour
A258	120,0	780,0	660,0	Lorraine	Non déterminée
A258	780,0	930,0	150,0	Utica	Non déterminée
A258	930,0	1059,0	129,0	Trenton-Br-Chazy	-
A258	1059,0	1293,0	234,0	Beekmantown	Beauharnois
A258	1293,0	1424,0	131,0	Beekmantown	Theresa
A258	1424,0	1475,0	51,0	Potsdam	Cairnside
A259	4,0	16,0	12,0	Dépôts meubles	-
A259	16,0	265,0	249,0	Queenston	Becancour
A259	265,0	1541,0	1276,0	Lorraine	Non déterminée

No Puits	Sommet (mkb)	Base (mkb)	Épaisseur (m)	Groupe	Formation
A259	1541,0	1657,0	116,0	Utica	Supérieur
A259	1657,0	1806,0	149,0	Utica	Inférieur
A259	1806,0	1936,0	130,0	Trenton-Br-Chazy	-
A259	1936,0	1995,0	59,0	Beekmantown	Beauharnois
A261	0,0	49,5	49,5	Dépôts meubles	-
A261	49,5	2032,0	1982,5	Lorraine	Nicolet
A261	2032,0	2160,0	128,0	Utica	Supérieur
A261	2160,0	2323,0	163,0	Utica	Inférieur
A261	2323,0	2542,0	219,0	Trenton-Br-Chazy	-
A261	2542,0	2715,0	173,0	Beekmantown	Beauharnois
A261	2715,0	2770,0	55,0	Beekmantown	Theresa
A262	8,5	125,0	116,5	Queenston	Becancour
A262	125,0	1439,0	1314,0	Lorraine	Non déterminée
A262	1439,0	1548,0	109,0	Utica	Supérieur
A262	1548,0	1630,0	82,0	Utica	Inférieur
A262	1630,0	1800,0	170,0	Trenton-Br-Chazy	-
A262	1800,0	2003,0	203,0	Beekmantown	Beauharnois
A263	0,0	29,0	29,0	Dépôts meubles	-
A263	29,0	333,0	304,0	Lorraine	Nicolet
A263	333,0	398,0	65,0	Utica	Non déterminée
A263	398,0	421,0	23,0	Trenton-Br-Chazy	-
A267	4,7	278,0	273,3	Dépôts meubles	-
A267	278,0	1879,0	1601,0	Lorraine	Nicolet
A267	1879,0	2053,0	174,0	Utica	Supérieur
A267	2053,0	2252,0	199,0	Utica	Inférieur
A267	2252,0	2518,0	266,0	Trenton-Br-Chazy	-
A267	2518,0	2584,0	66,0	Beekmantown	Beauharnois

Annexe 3 - Diagraphies composites des puits réinterprétés

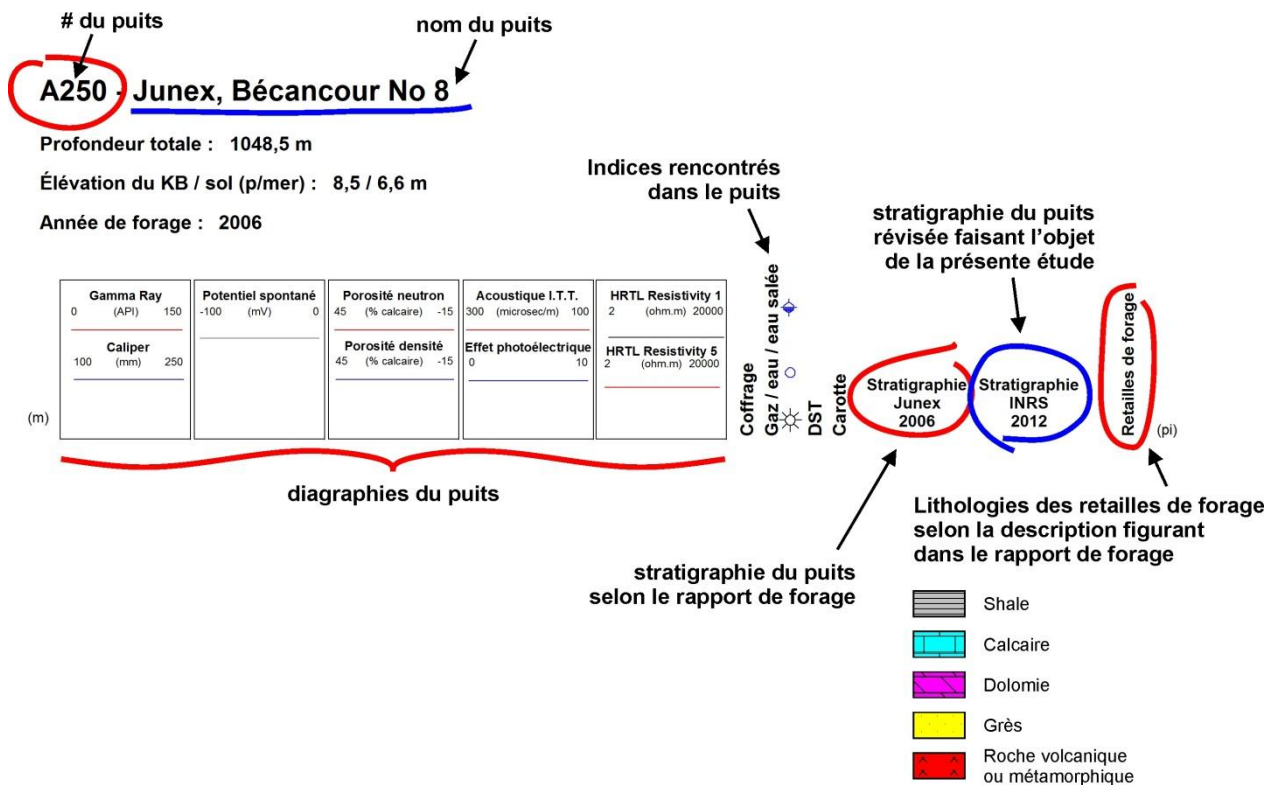
Une diagraphie composite a été construite pour chacun des puits revisités et réinterprétés dans ce rapport. Cette diagraphie composite consiste en fait en une compilation des informations faisant partie du domaine public. Ces données sont disponibles au Ministère des Ressources naturelles du Québec (MRN) après que trois années se soient écoulées suivant la fin du forage du puits, notamment sous forme de rapports géologiques, géophysiques et de puits. Par exemple, les descriptions géologiques sur les retailles de forage (aussi appelées « déblais de forage ») et/ou les carottes de même que les diagraphies sont contenues à l'intérieur d'un rapport de fin de forage remis par le détenteur du puits.

Mis à part les diagraphies enregistrées tout le long du puits mises côte à côte, les informations regroupées dans les diagraphies composites sont :

- (1) la position des coffrages et des carottes de forage;
- (2) les indices survenus au cours du forage;
- (3) des intervalles des essais aux tiges (« *Drilling Stem Test* ou *DST* »);
- (4) la stratigraphie établie par le détenteur du puits;
- (5) la stratigraphie révisée et réinterprétée faisant l'objet de ce rapport;
- (6) la description lithologique des retailles de forage telle qu'apparaissant dans le rapport de forage.

Afin de raccourcir les diagraphies composites, seulement la séquence allant du Groupe de Potsdam jusqu'au Shale d'Utica a été retenu pour chacun des puits. Ainsi, les groupes de Sainte-Rosalie, Lorraine et de Queenston ne font pas partie de ce travail de compilation.

Voici la légende expliquant l'entête des diagraphies composites :

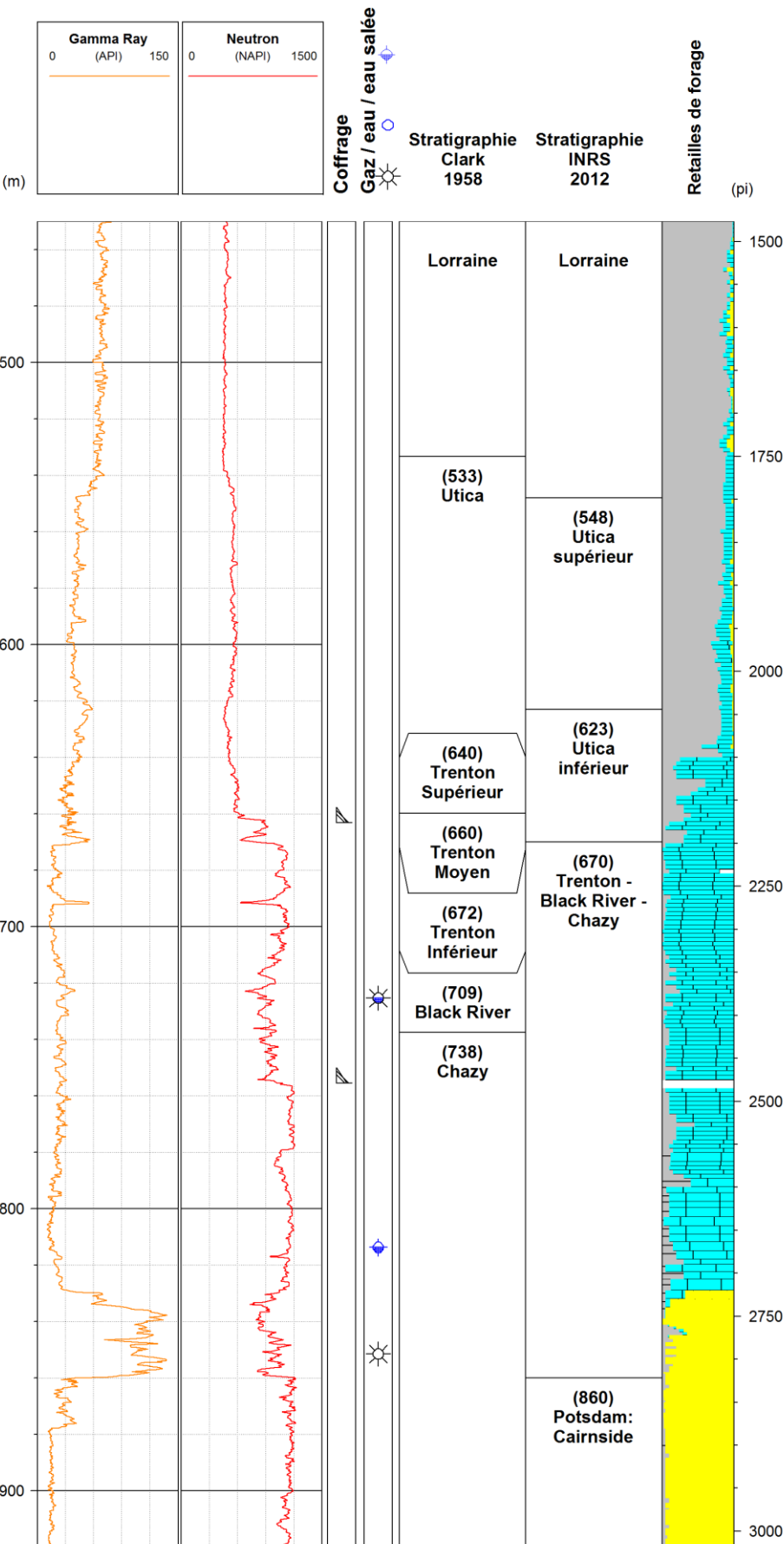


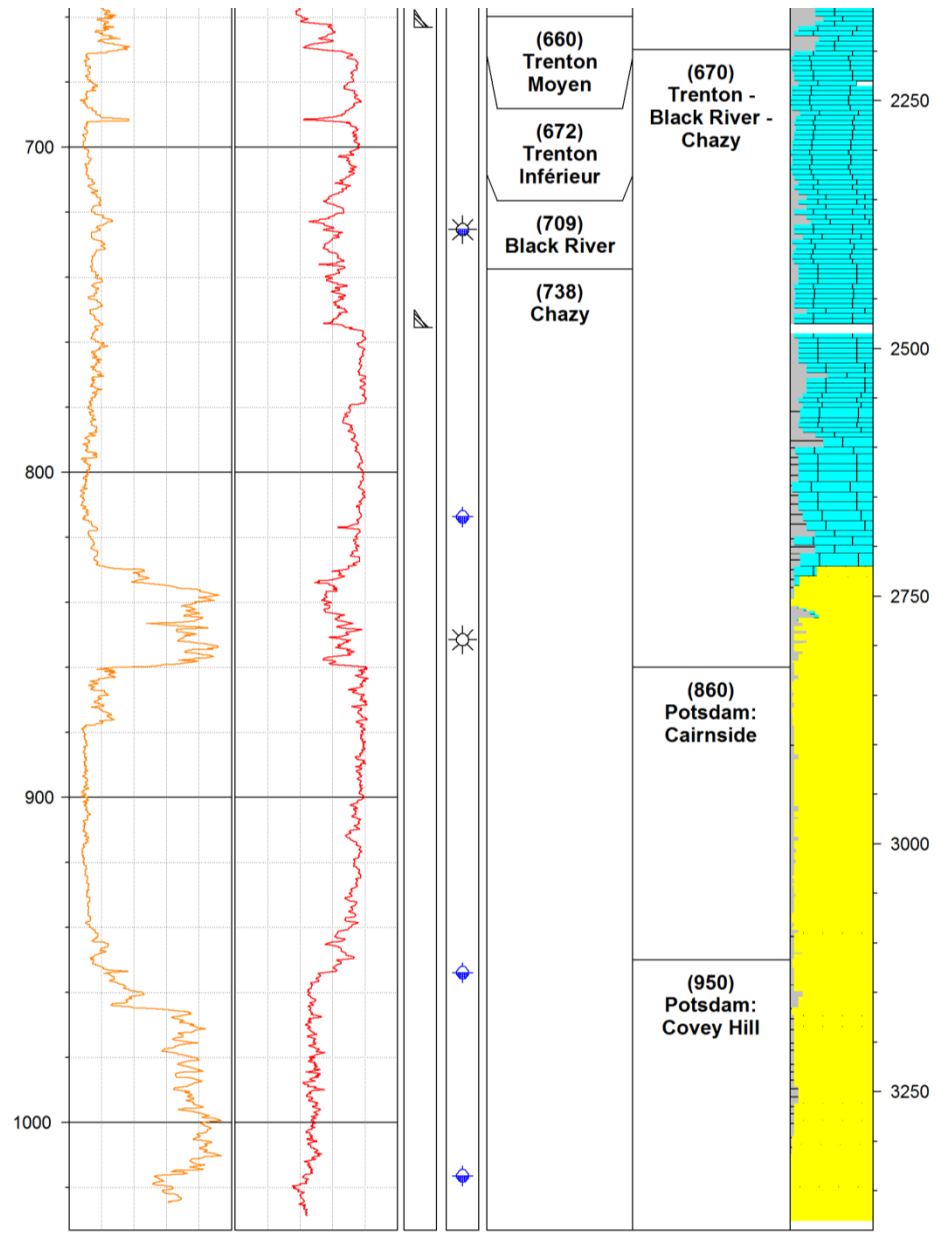
A004 - Bald Mountain, Batiscan No 2

Profondeur totale : 1033,3 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 6,7 / 6,1 m

Année de forage : 1957



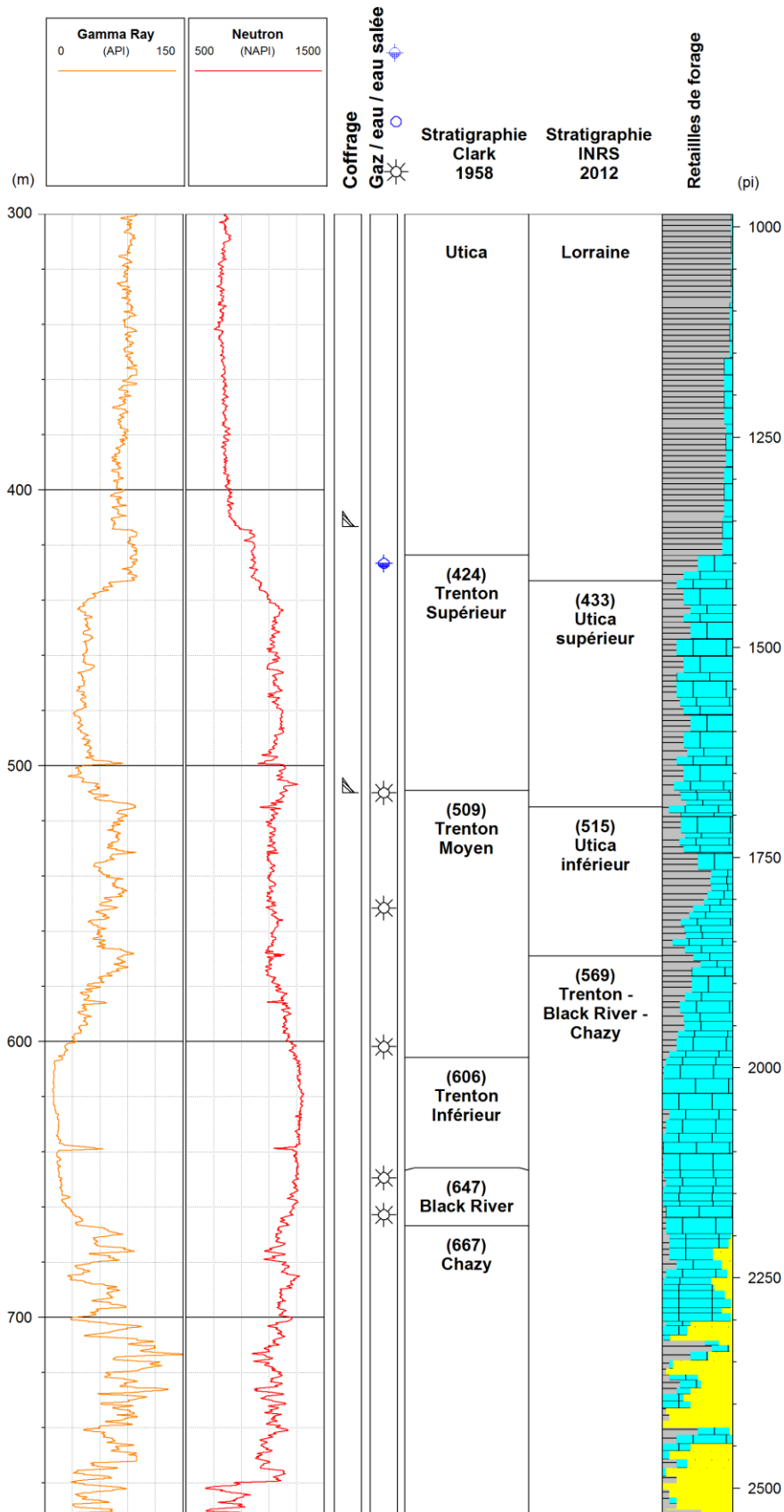


A008 - Bald Mountain, Berthierville No 1

Profondeur totale : 771,4 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 8,5 / 7,9 m

Année de forage : 1957

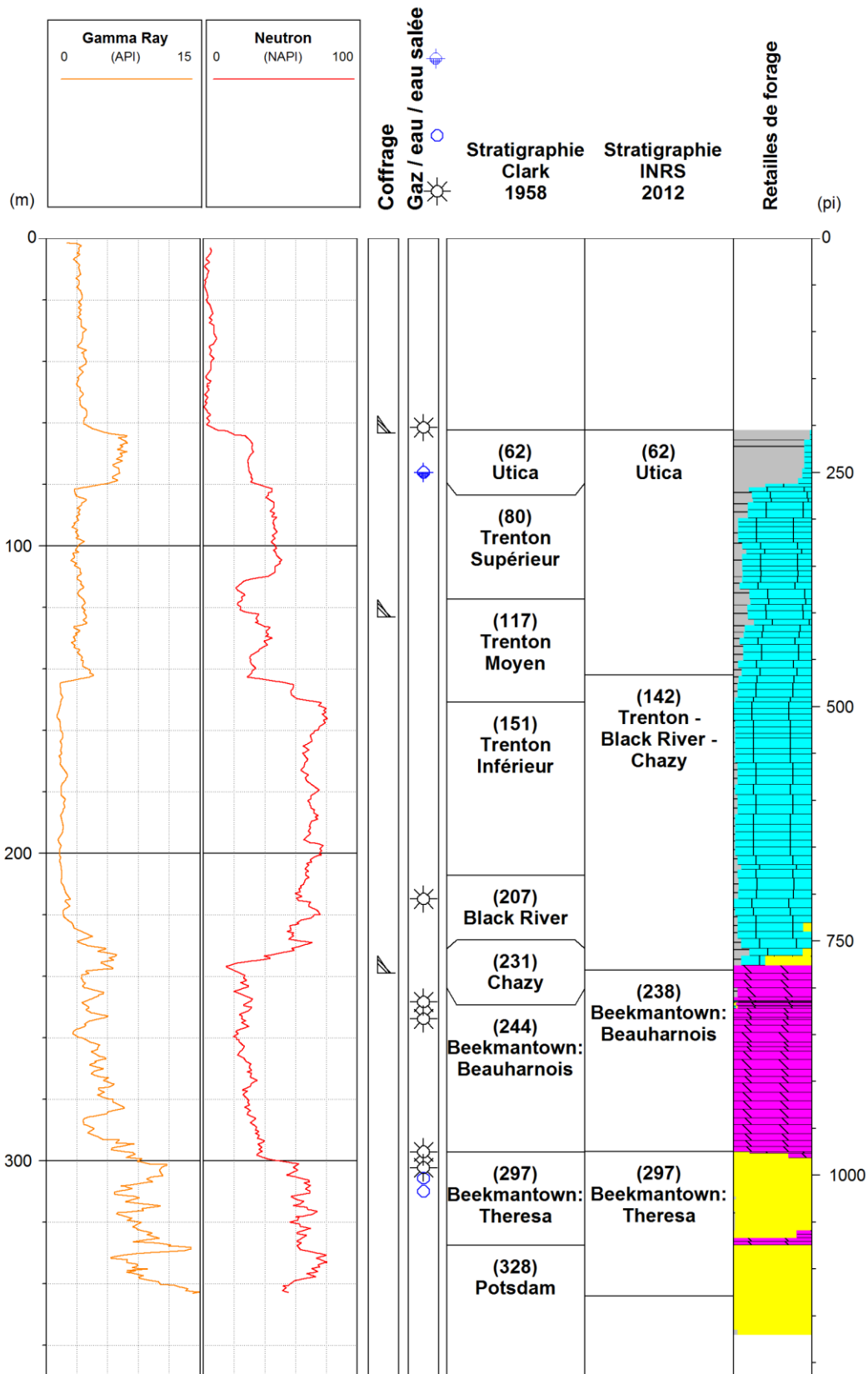


A013 - Bald Mountain, Louiseville No 2

Profondeur totale : 371,3 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 8,2 / 7,6 m

Année de forage : 1957

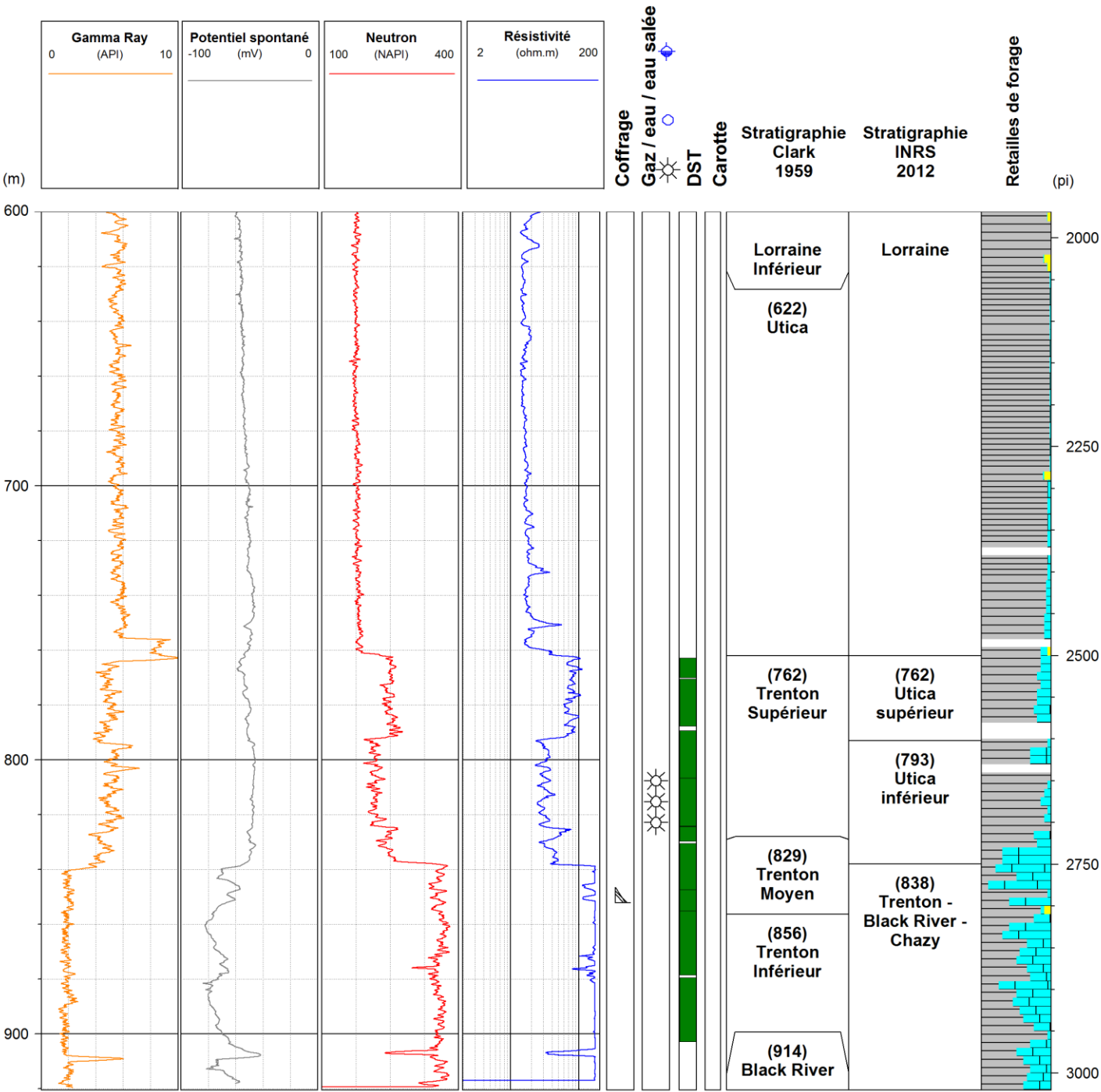


A063 - Laduboro No 3, La Baie Yamaska

Profondeur totale : 920,5 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 8,5 / 5,5 m

Année de forage : 1959

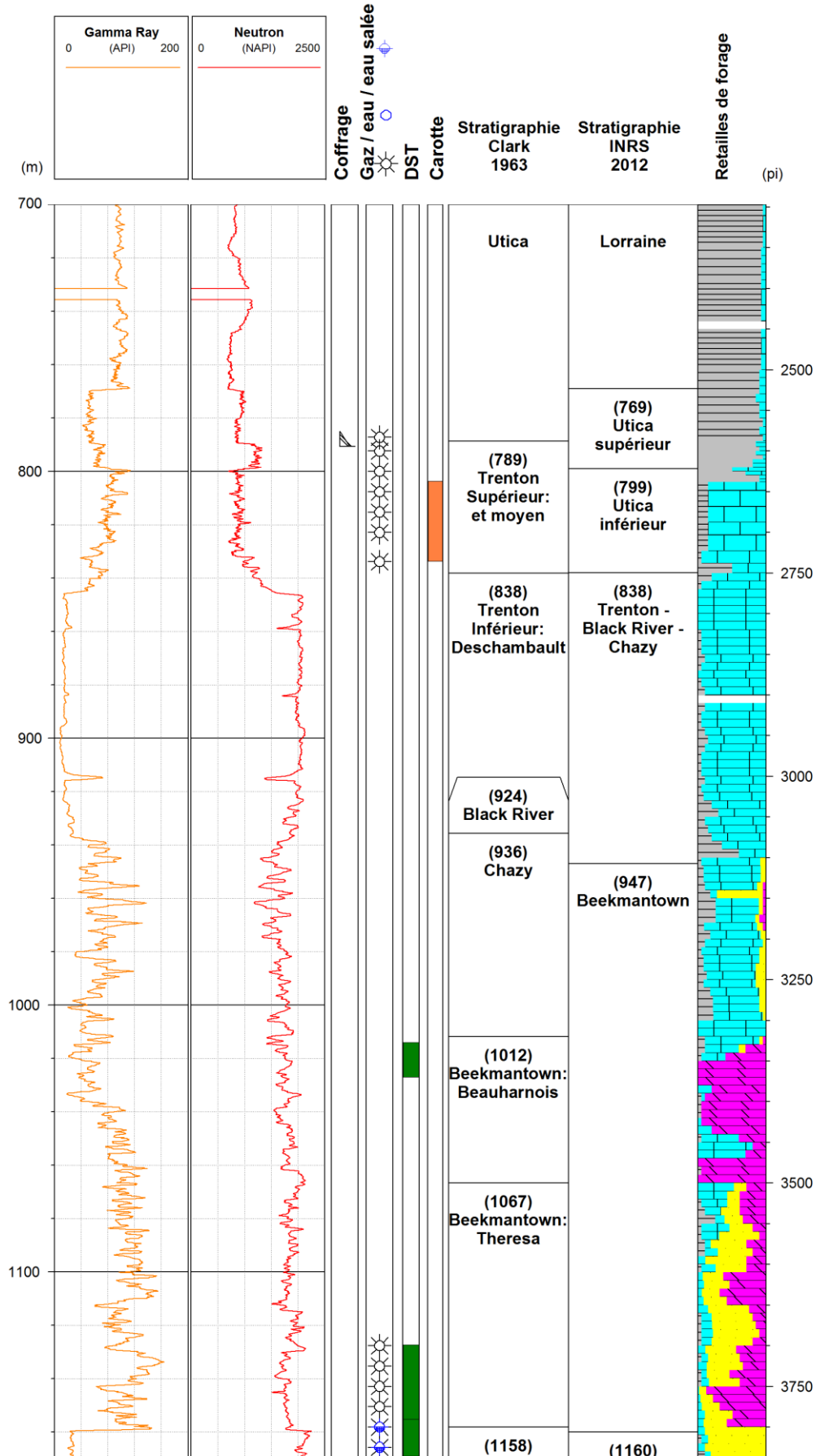


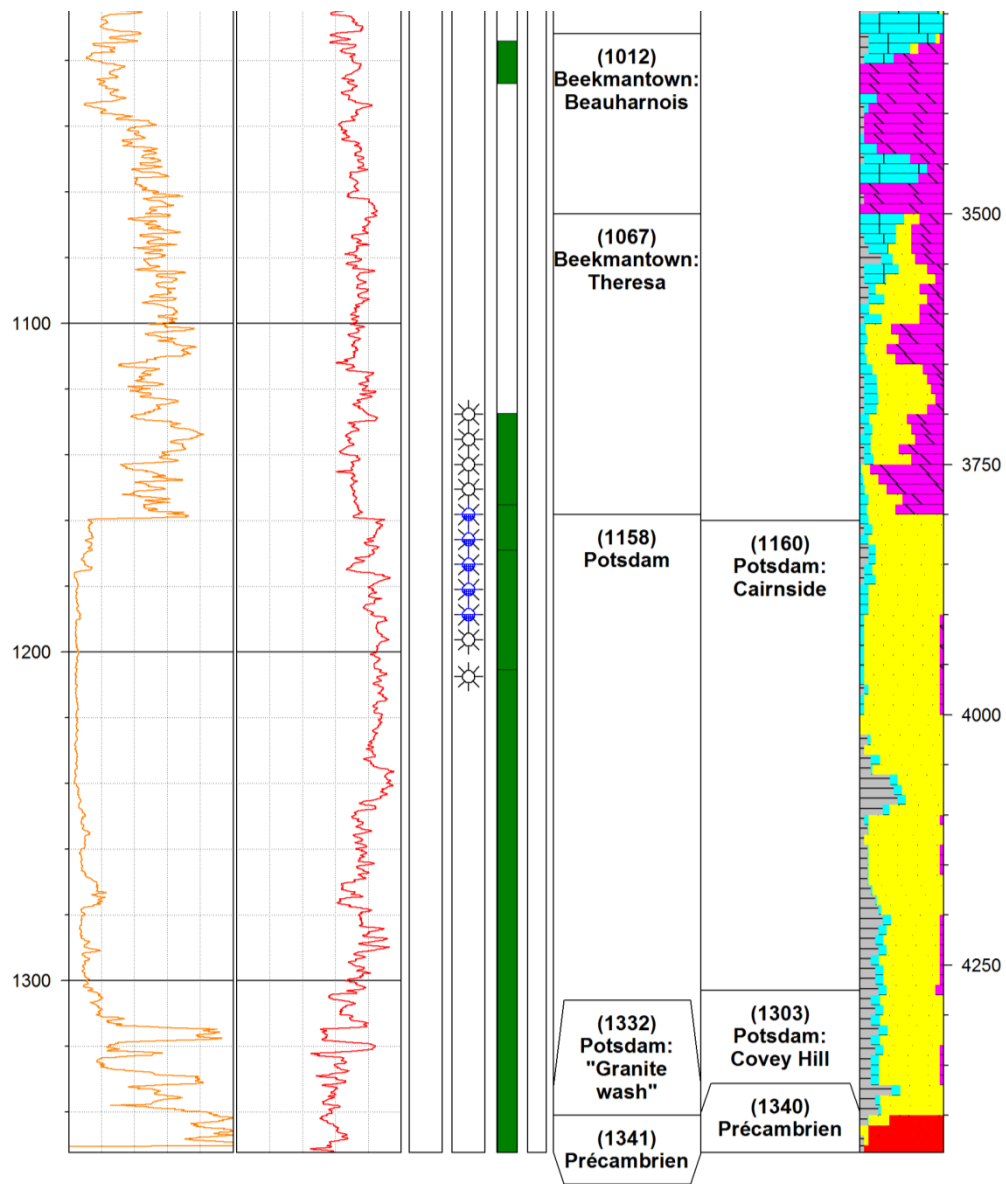
A065 - Laduboro No 5, La Baie Yamaska

Profondeur totale : 1352,4 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 10,1 / 6,1 m

Année de forage : 1962-1963



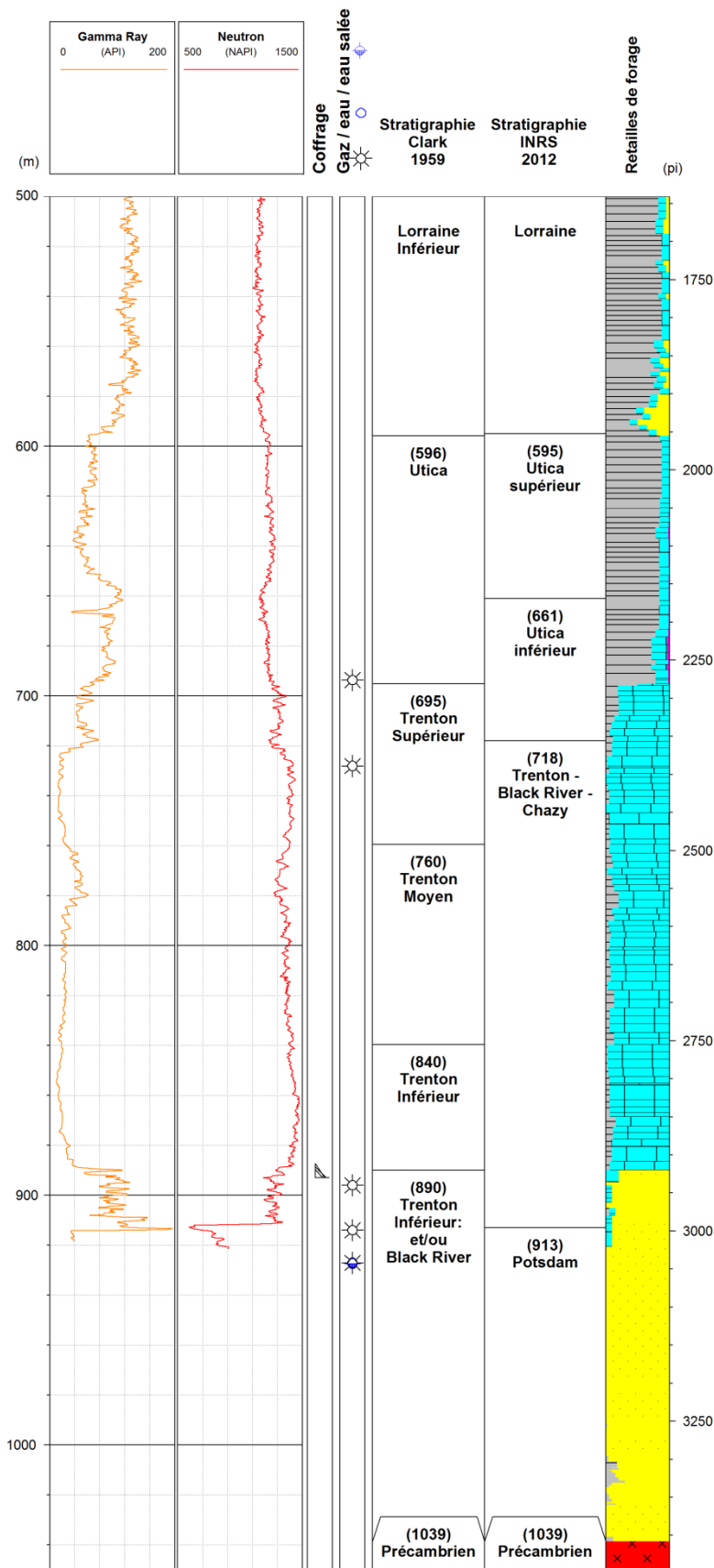


A069 - Impérial Lowlands No 1

Profondeur totale : 1050,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 51,8 / 51,2 m

Année de forage : 1956



The figure displays a geological profile of the Lorraine area, showing stratigraphic columns and well logs. The vertical axis represents depth in meters (m) from 600 to 1000, with corresponding feet (pi) on the right (2000 to 3500).

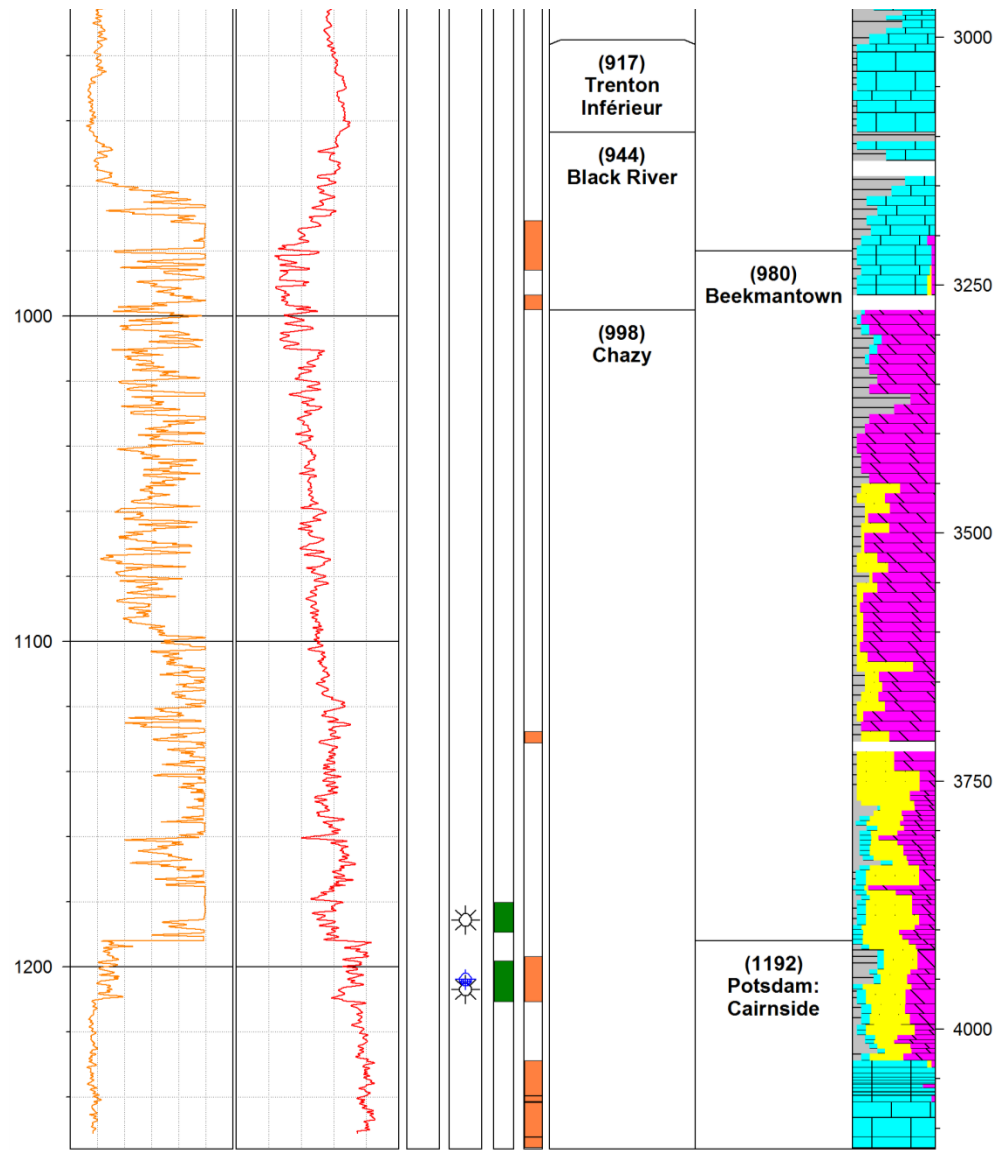
Stratigraphic Columns:

- Stratigraphie Clark 1959:** Lorraine Inférieur, (671) Utica, (827) Trenton Supérieur, (843) Trenton Moyen, (917) Trenton Inférieur, (944) Black River, (998) Chazy.
- Stratigraphie INRS 2012:** Lorraine, (720) Utica supérieur, (785) Utica inférieur, (839) Trenton - Black River - Chazy, (980) Beekmantown.

Well Logs:

- Gamma Ray (API):** Scale 0 to 120. Values range from approximately 10 to 110.
- Neutron (NAPI):** Scale 200 to 1200. Values range from approximately 250 to 1100.
- Coffrage:** Indicated by a vertical line with a sun symbol.
- Gaz / eau / eau salée:** Indicated by a vertical line with a diamond symbol.
- DST:** Indicated by a vertical line with a diamond symbol.
- Carotte:** Indicated by a vertical line with a diamond symbol.
- Retailles de forage:** Indicated by a vertical line with a diamond symbol.

Geological Profile: The profile shows alternating layers of sandstone (light blue) and shale (dark blue). The Lorraine Inférieur unit is at the top, followed by the Utica unit (divided into superior and inferior sections), the Trenton unit (divided into superior, moyen, and inférieur sections), the Black River unit, and the Chazy unit at the bottom. The Beekmantown unit is also shown, overlapping the Chazy unit.

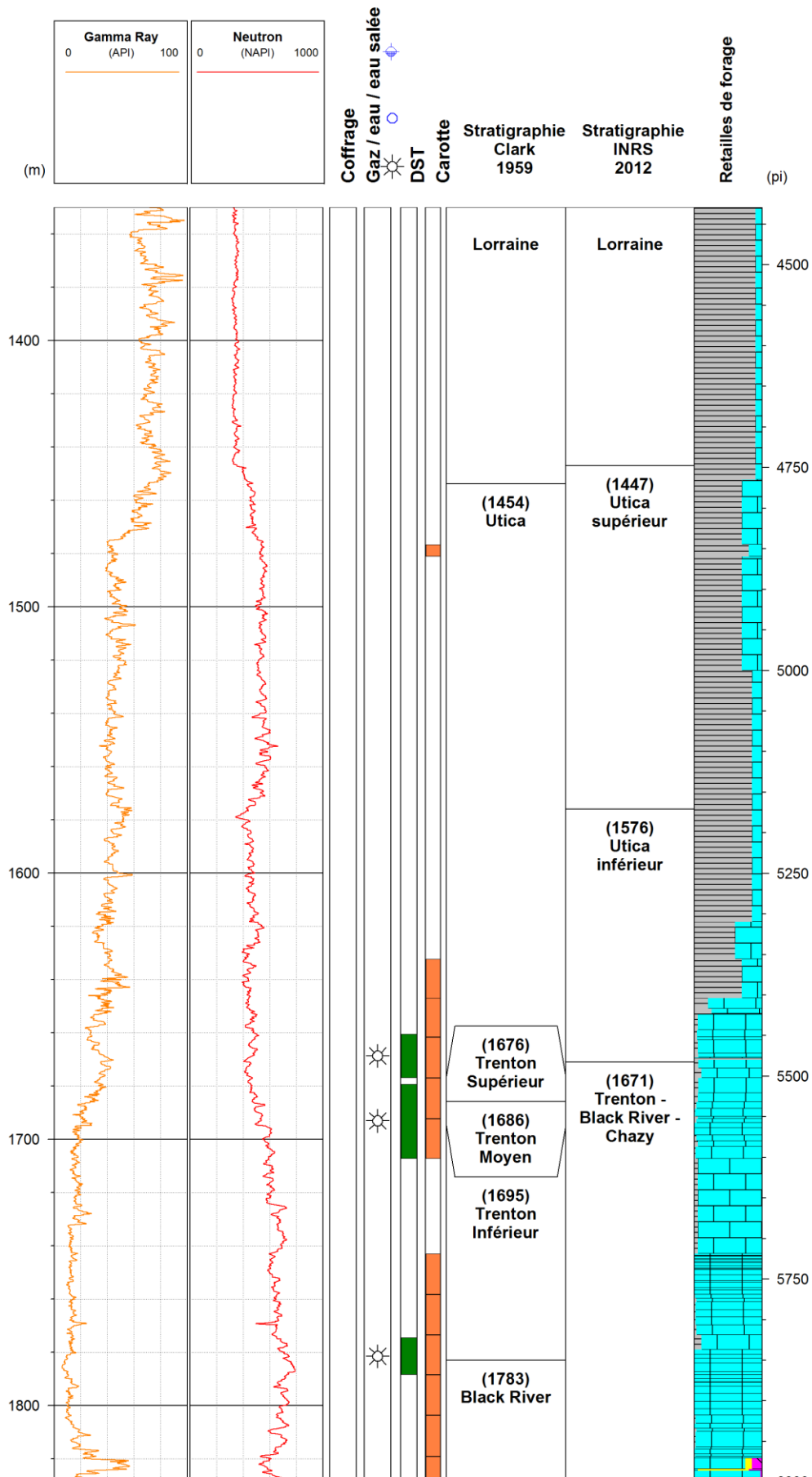


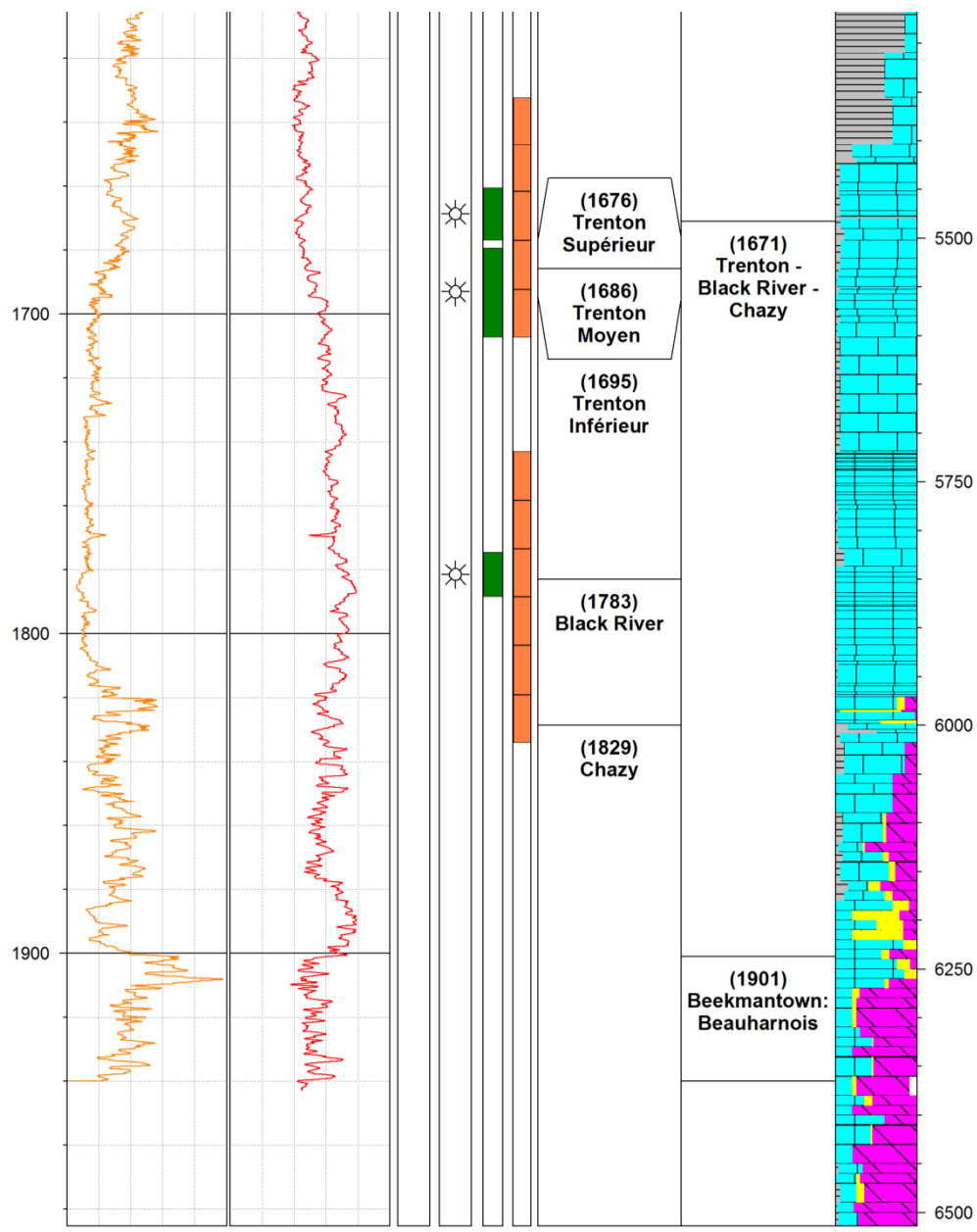
A071 - Impérial Lowlands No 3

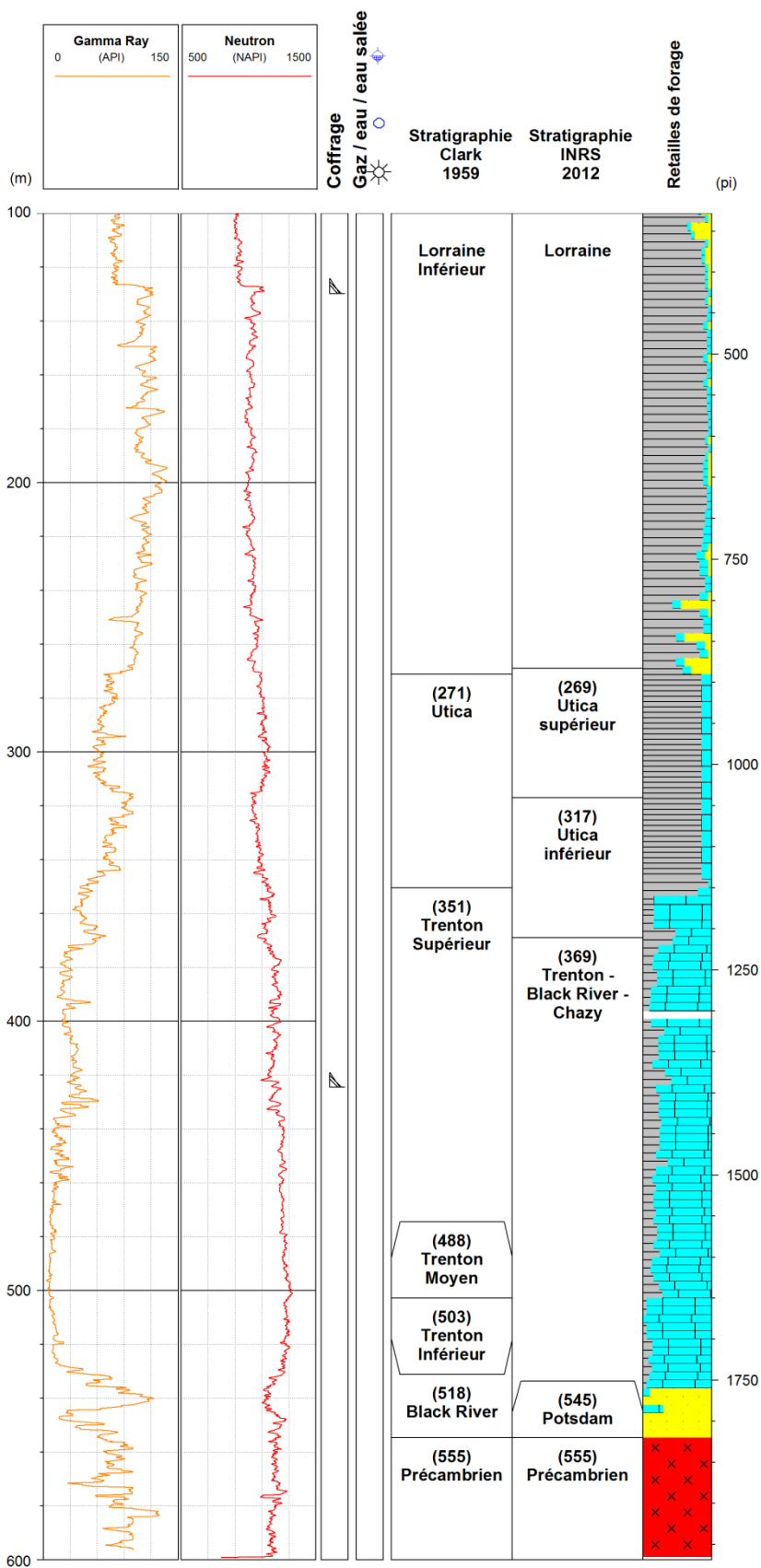
Profondeur totale : 1985,5 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 45,1 / 41,5 m

Année du forage : 1956





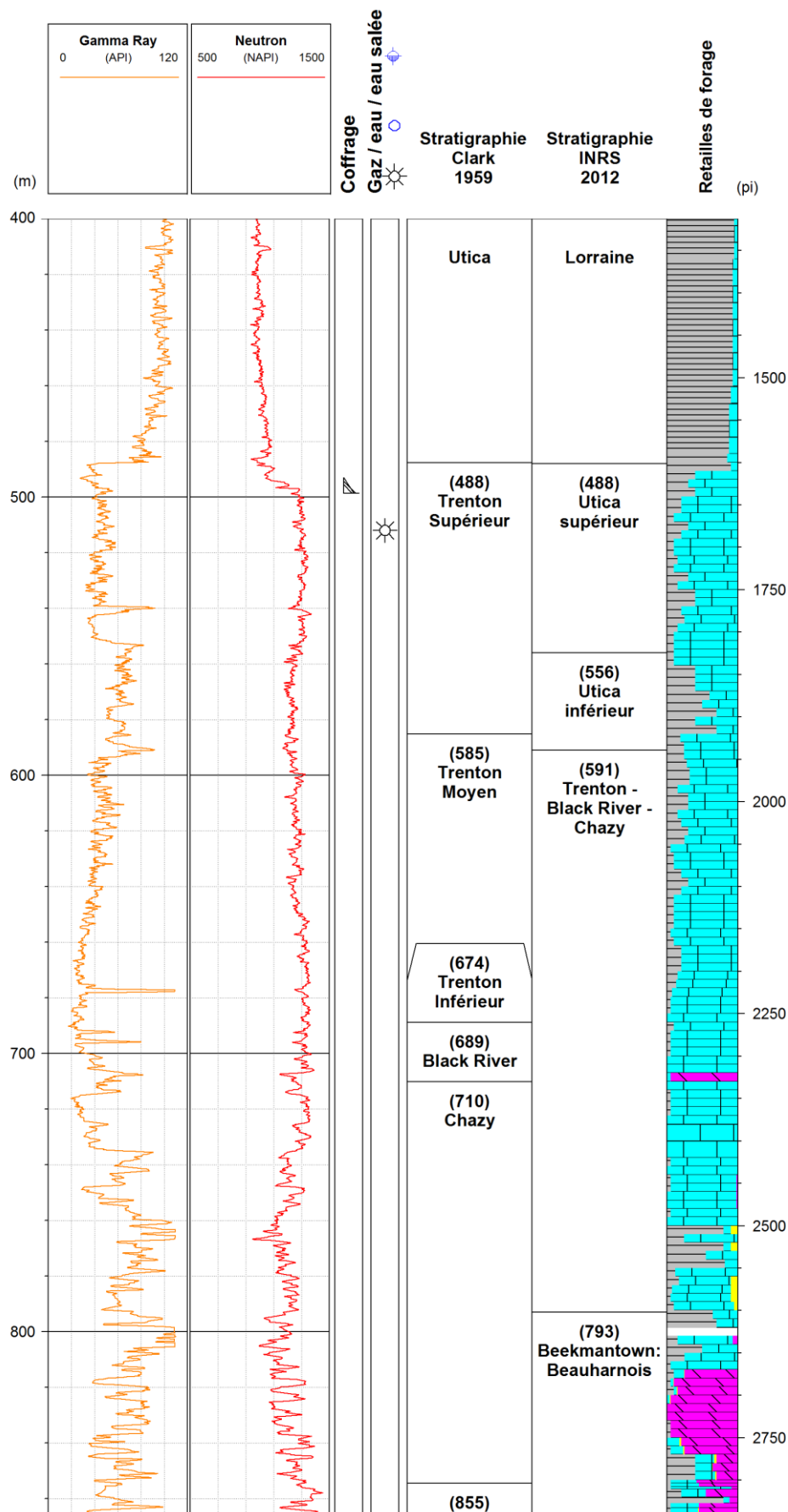


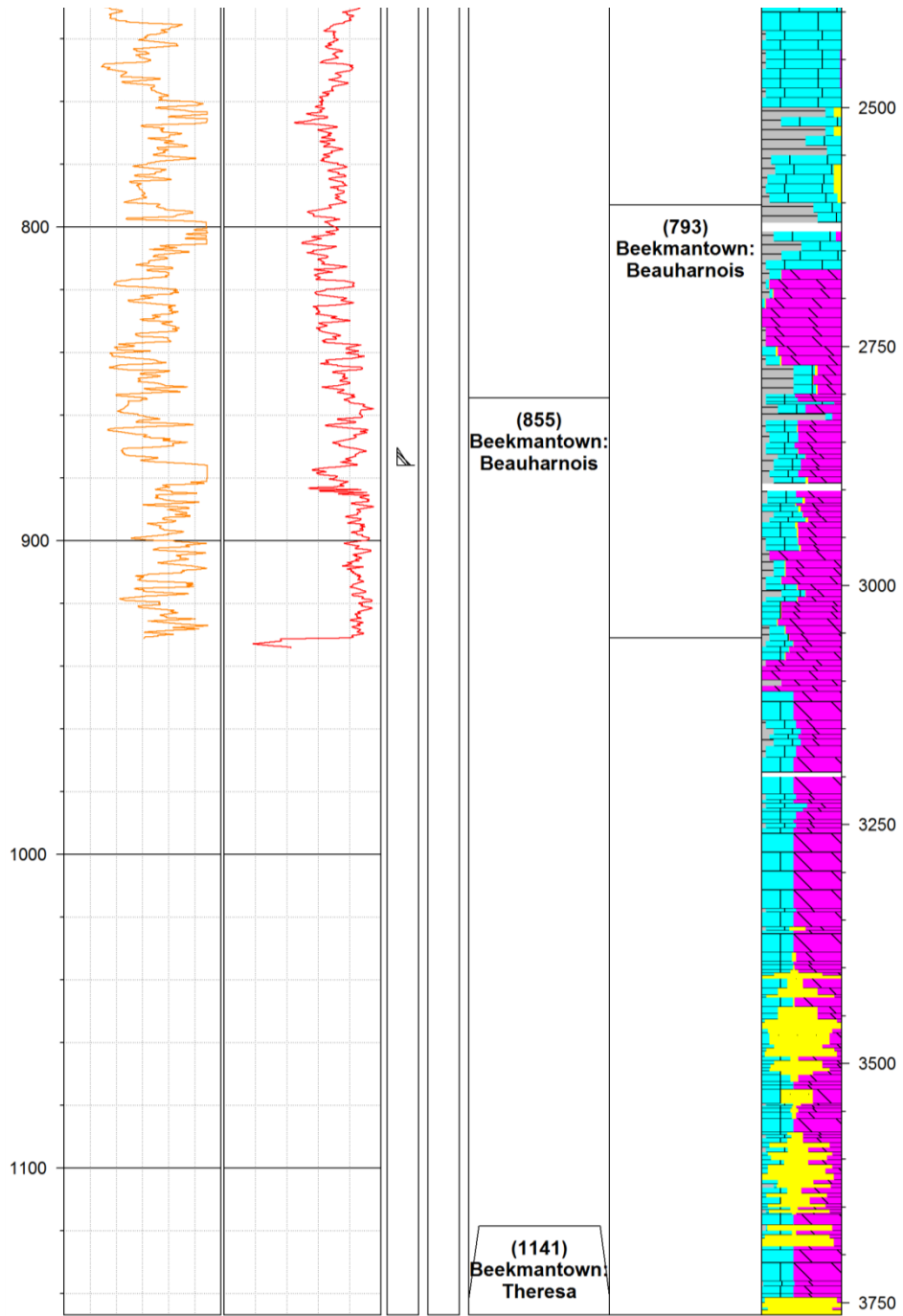
A075 - Impérial Lowlands, Verchères No 1

Profondeur totale : 1146,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 18,9 / 17,7 m

Année de forage : 1957



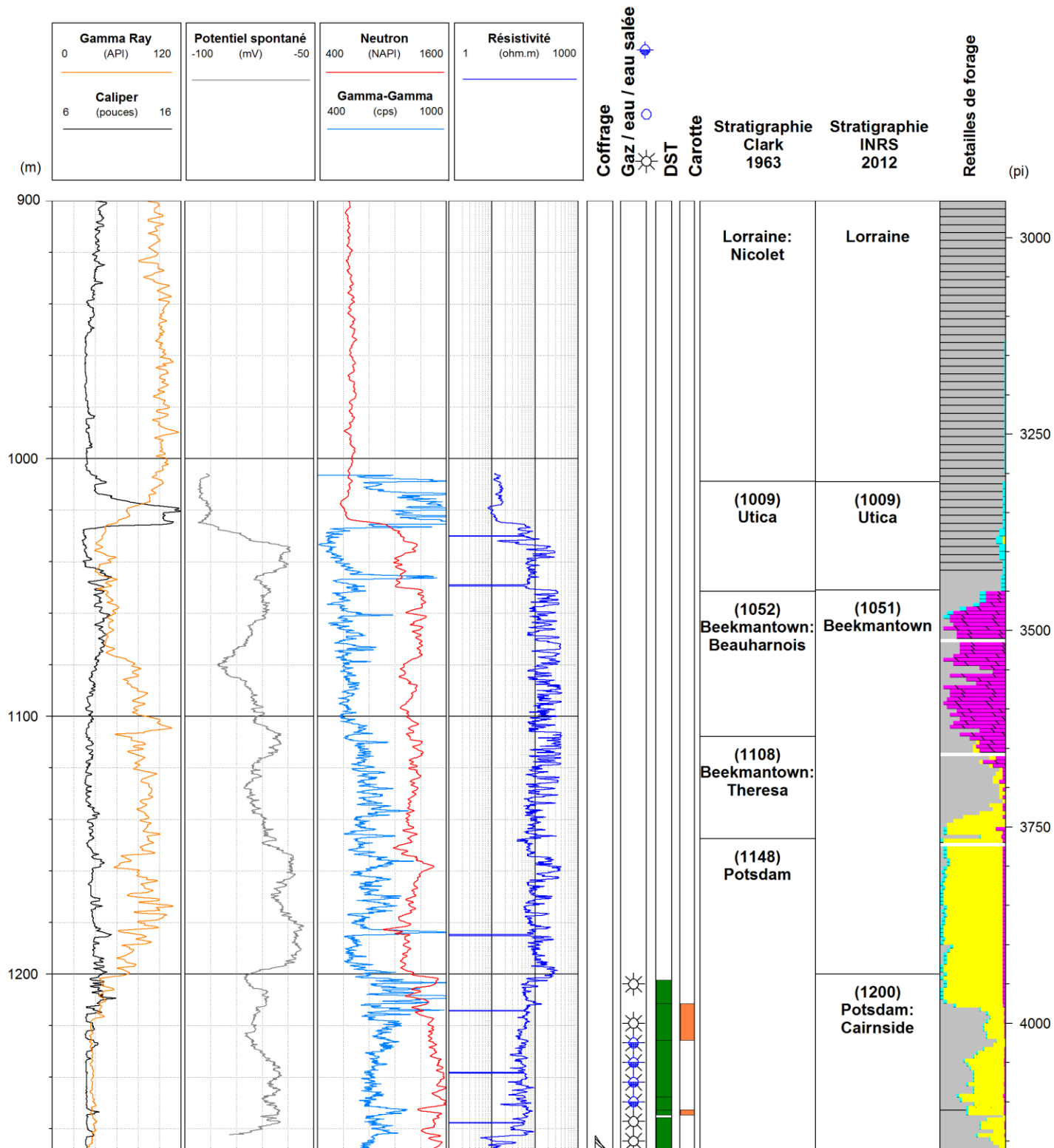


A125 - Laduboro C.I.G. No 1, Nicolet

Profondeur totale : 1269,2 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 30,5 / 27,1 m

Année du forage : 1963

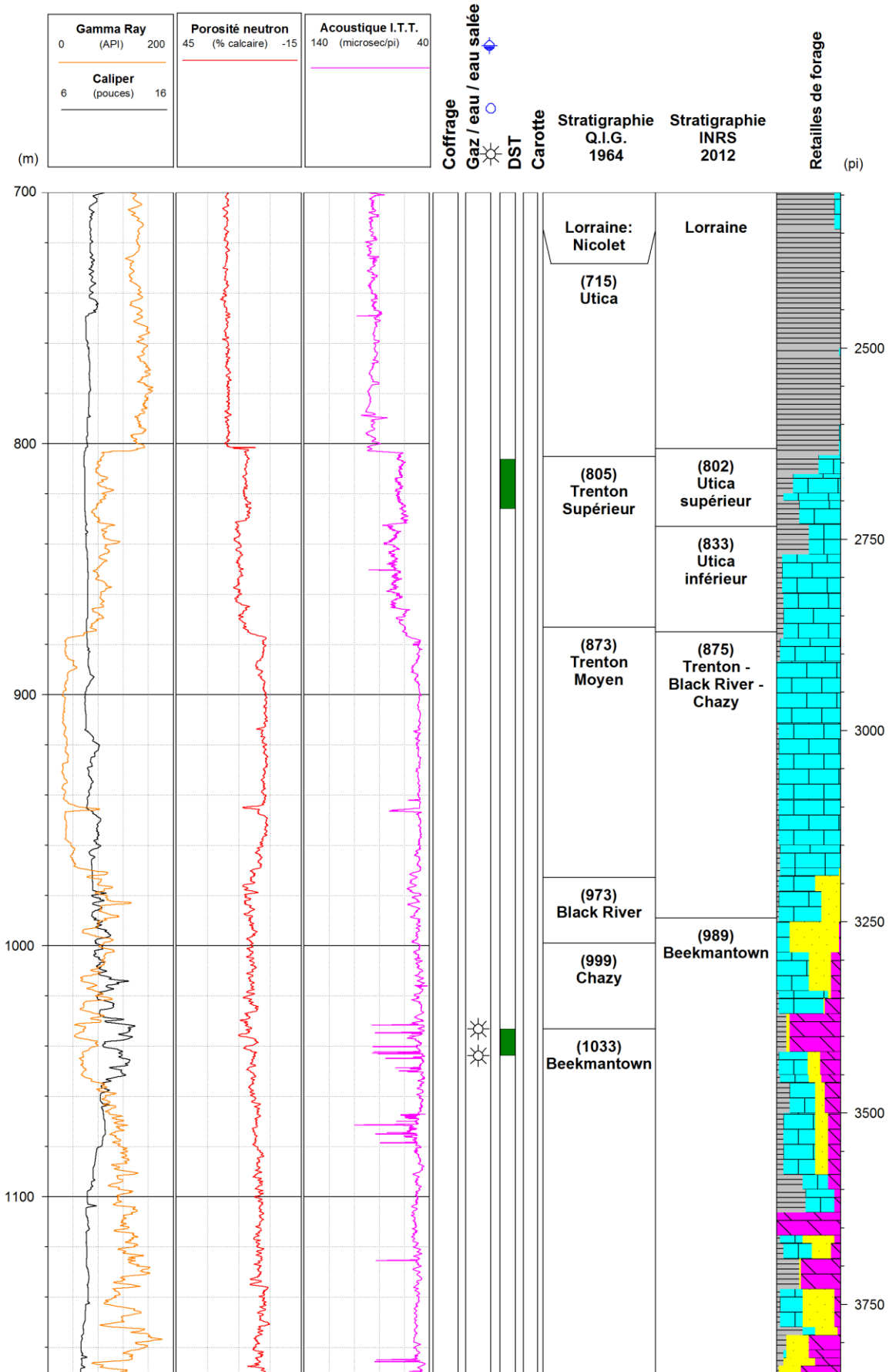


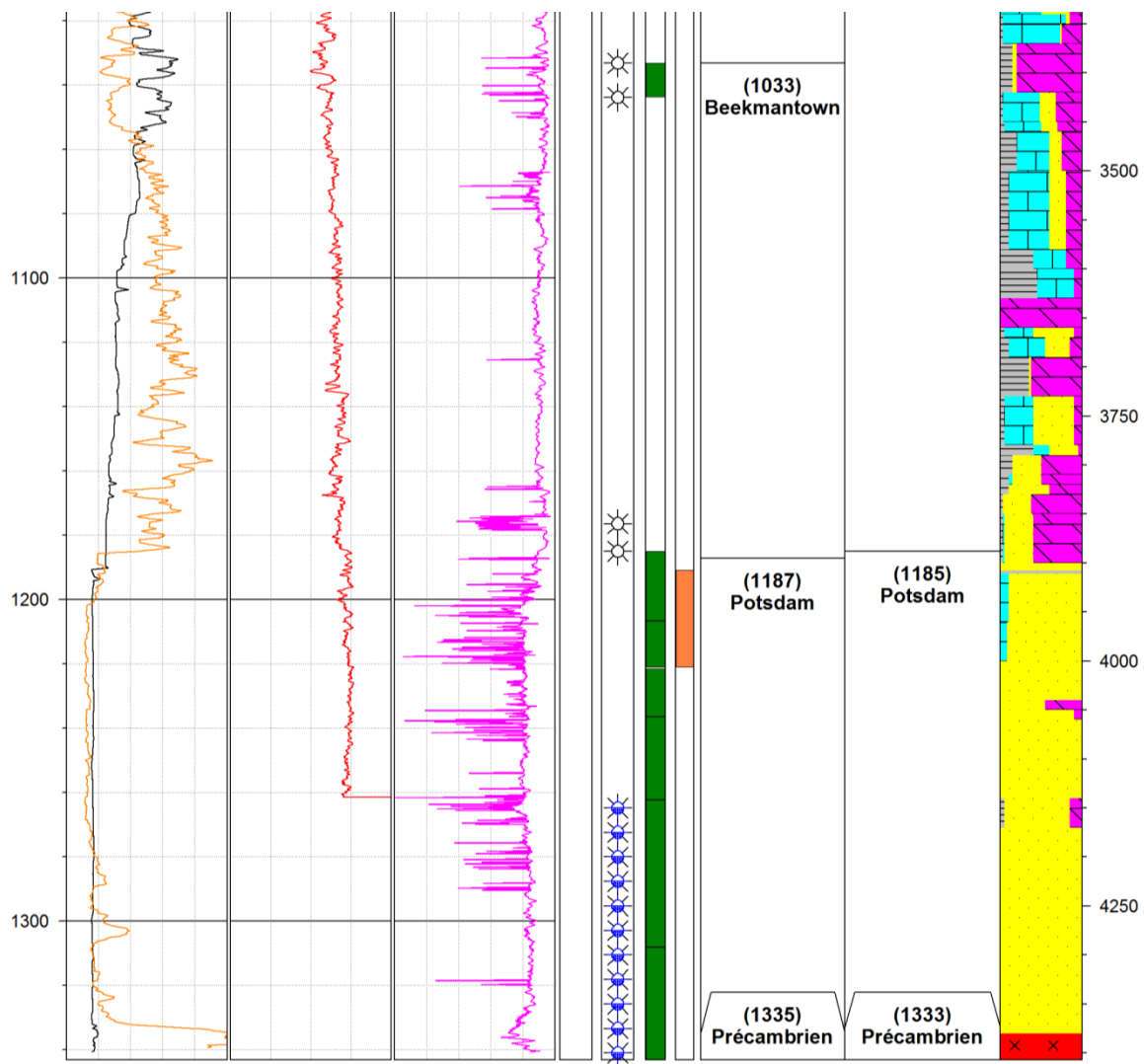
A126 - Laduboro Q.I.G. et al. No 1, Yamaska

Profondeur totale : 1343,3 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 33,2 / 29,3 m

Année de forage : 1963



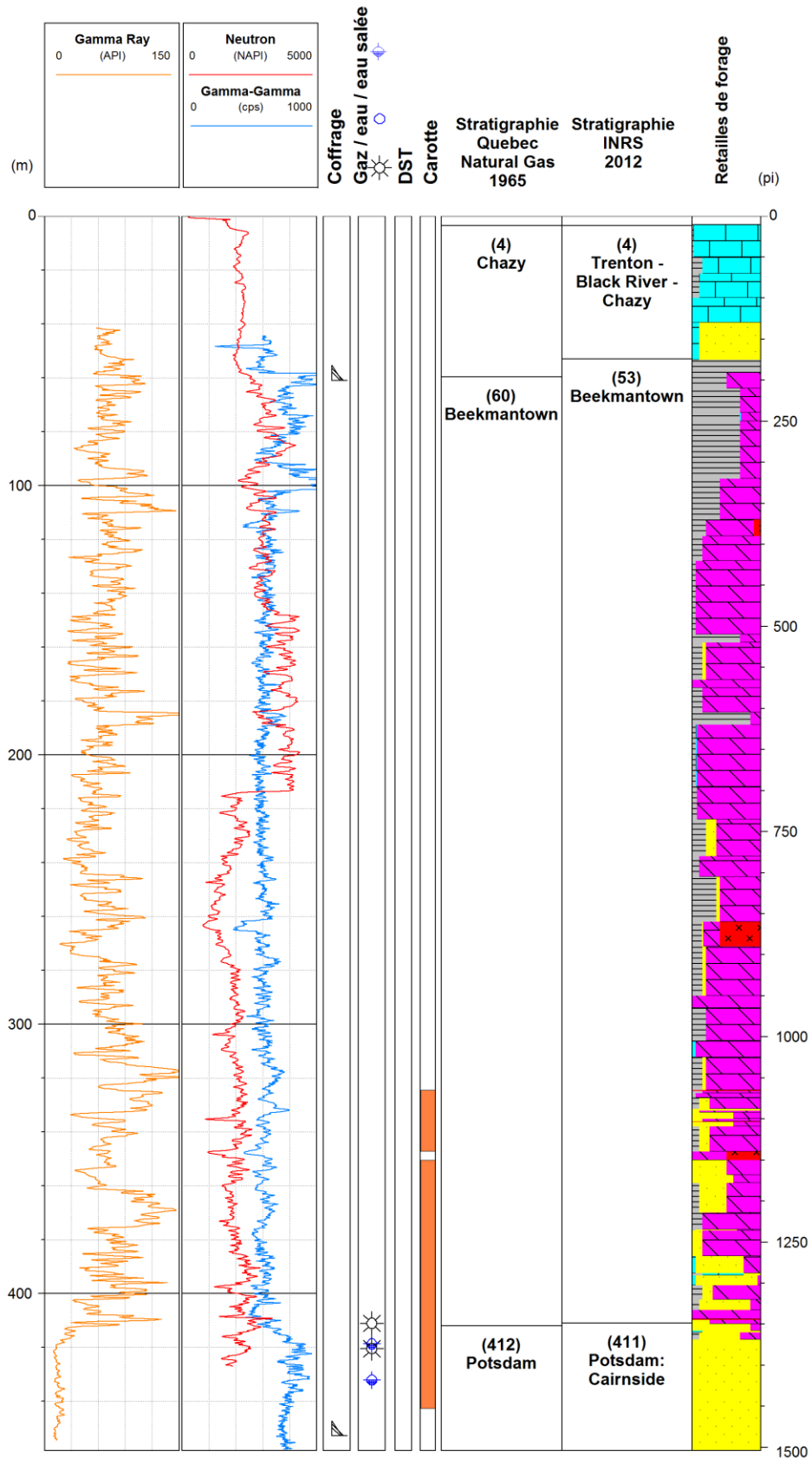


A134 - Québec Natural Gas No 10, Saint-Vincent-de-Paul

Profondeur totale : 458,4 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 40,2 / 38,4 m

Année de forage : 1965

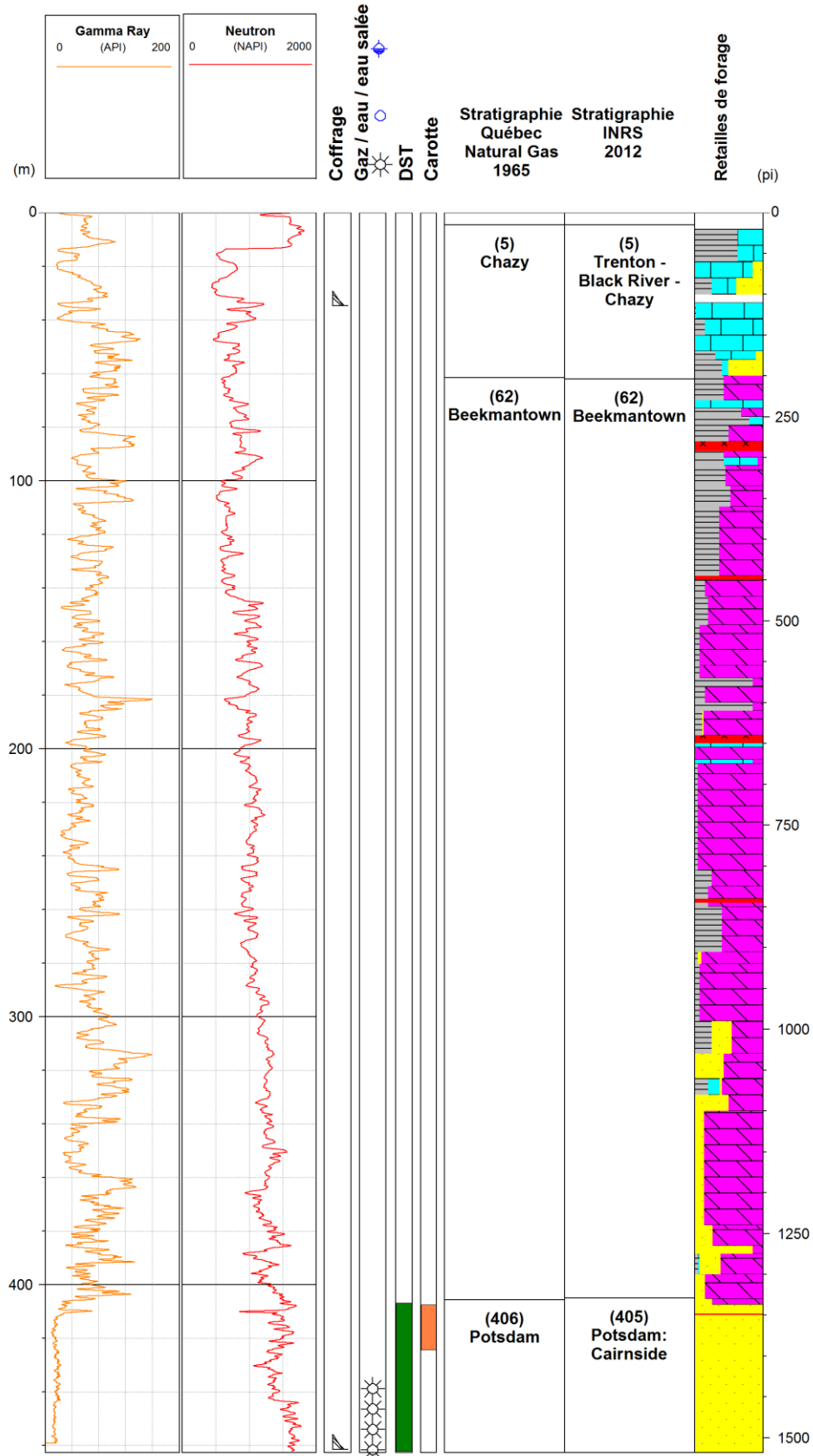


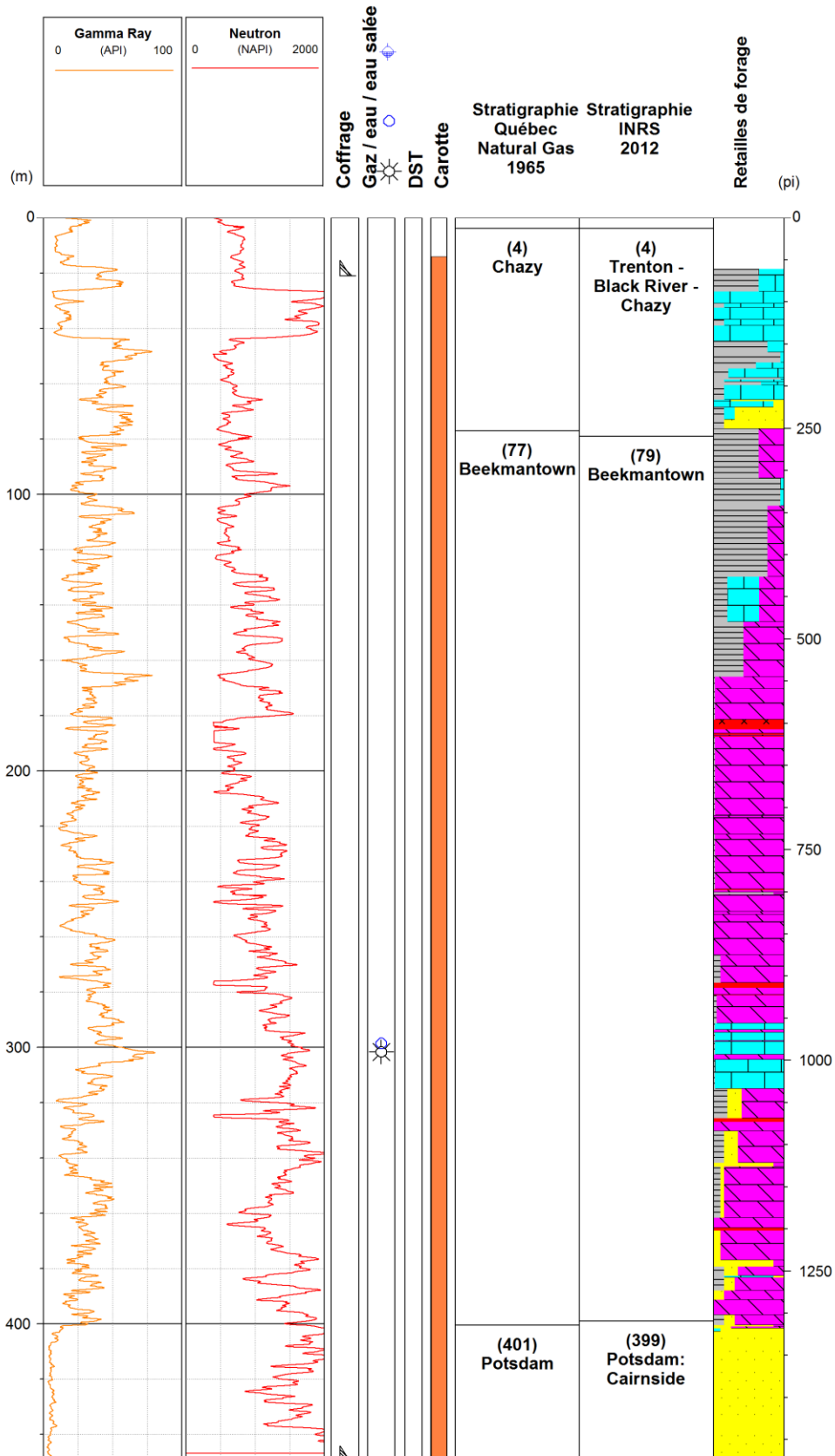
A135 - Québec Natural Gas No 11, Saint-Vincent-de-Paul

Profondeur totale : 462,7 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 36,0 / 33,8 m

Année de forage : 1965



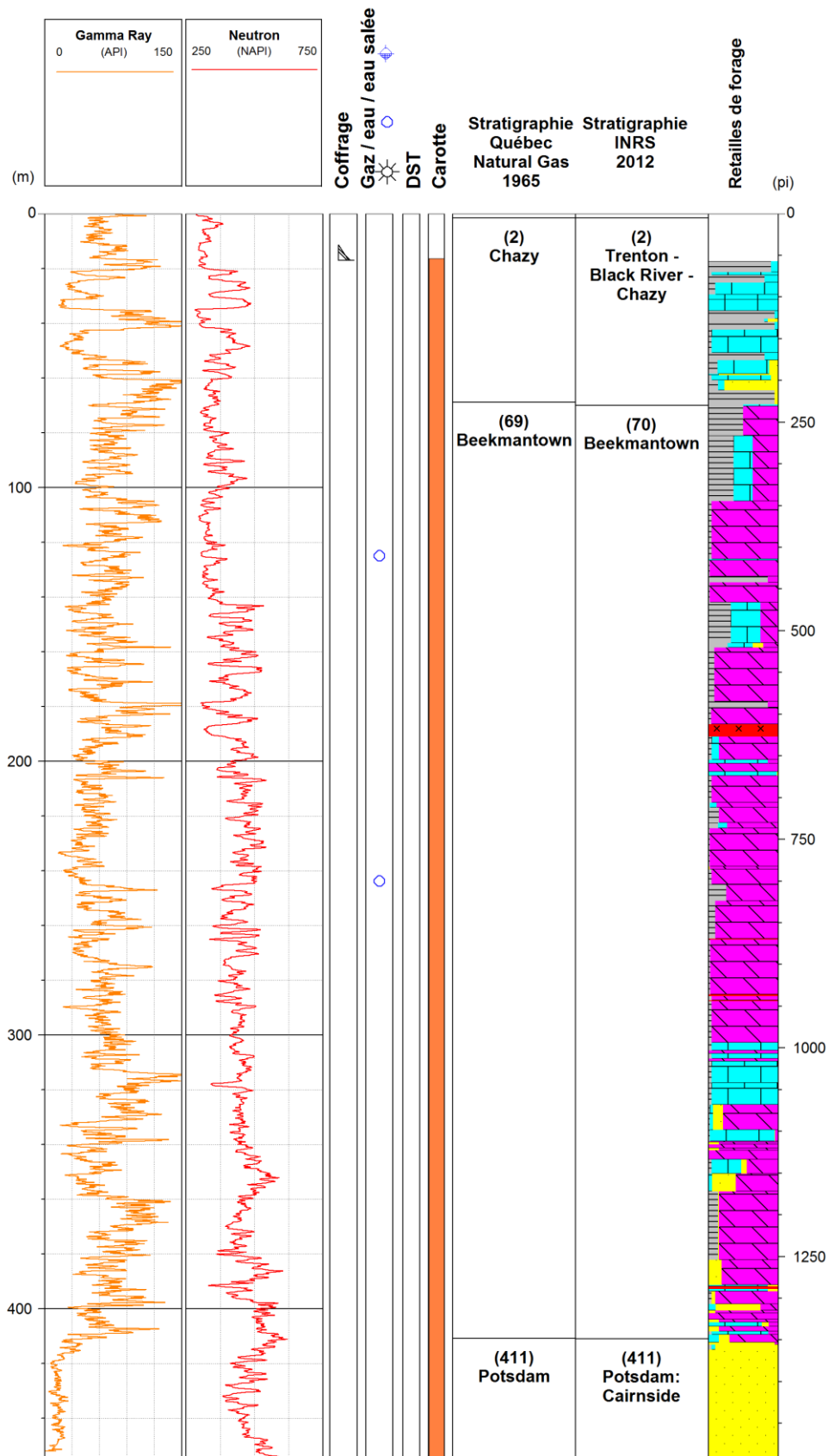


A137 - Québec Natural Gas No 13, Saint-Vincent-de-Paul

Profondeur totale : 455,4 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 28,7 / 28,7 m

Année de forage : 1965

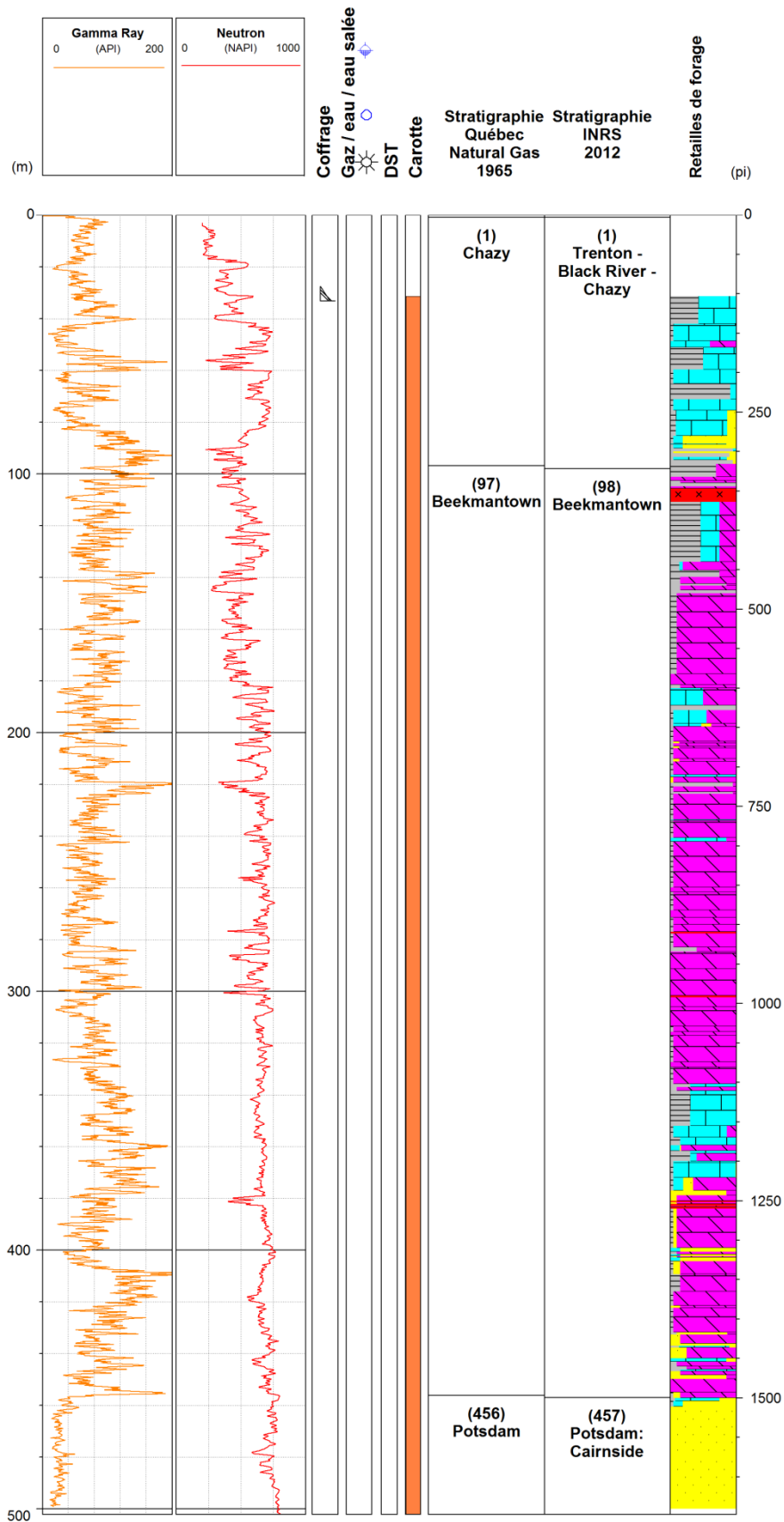


A139 - Québec Natural Gas No 9, Saint-François-de-Sales

Profondeur totale : 502,3 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 38,1 / 37,5 m

Année de forage : 1965

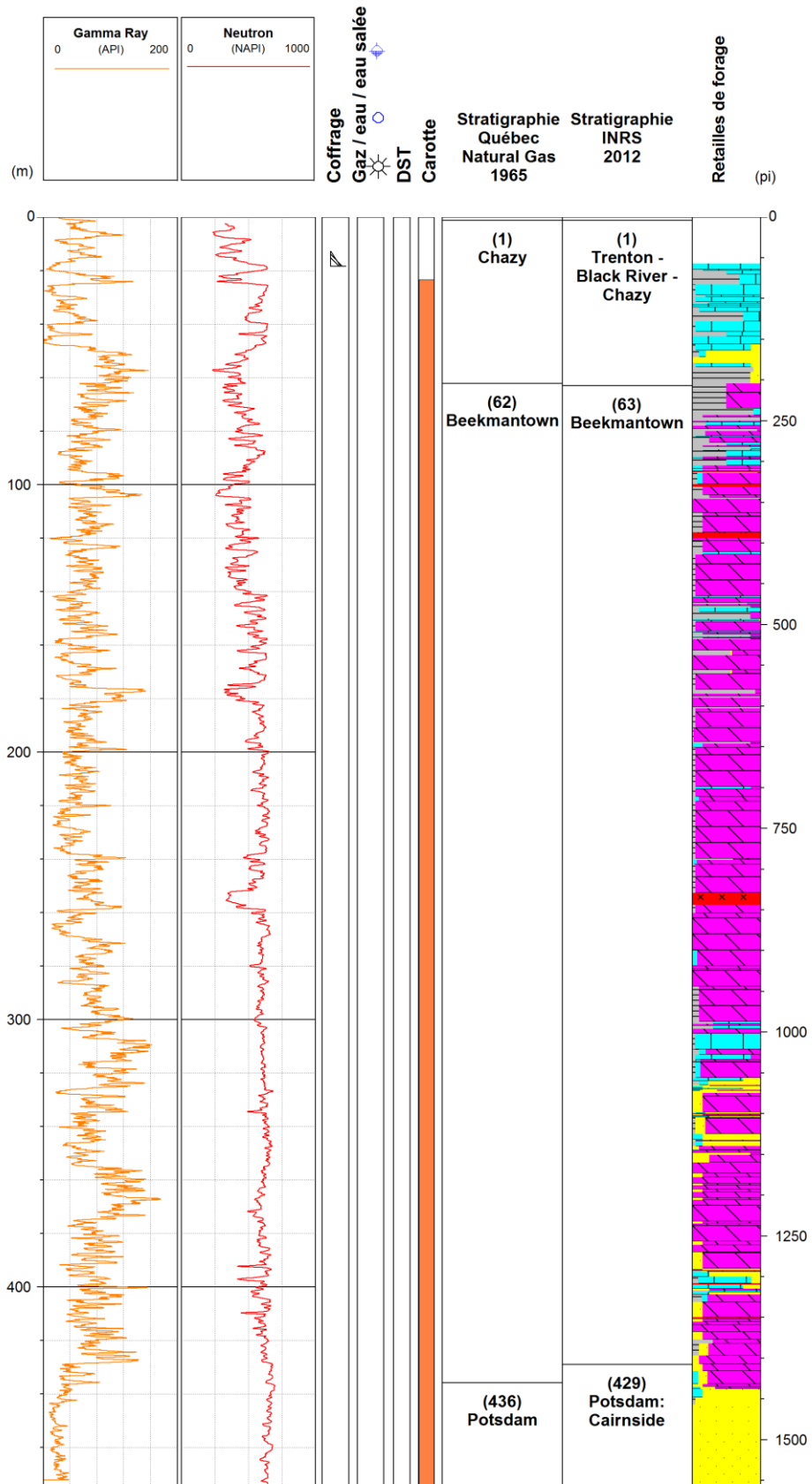


A140 - Québec Natural Gas No 10, Saint-François-de-Sales

Profondeur totale : 476,1 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 36,0 / 35,4

Année de forage : 1965

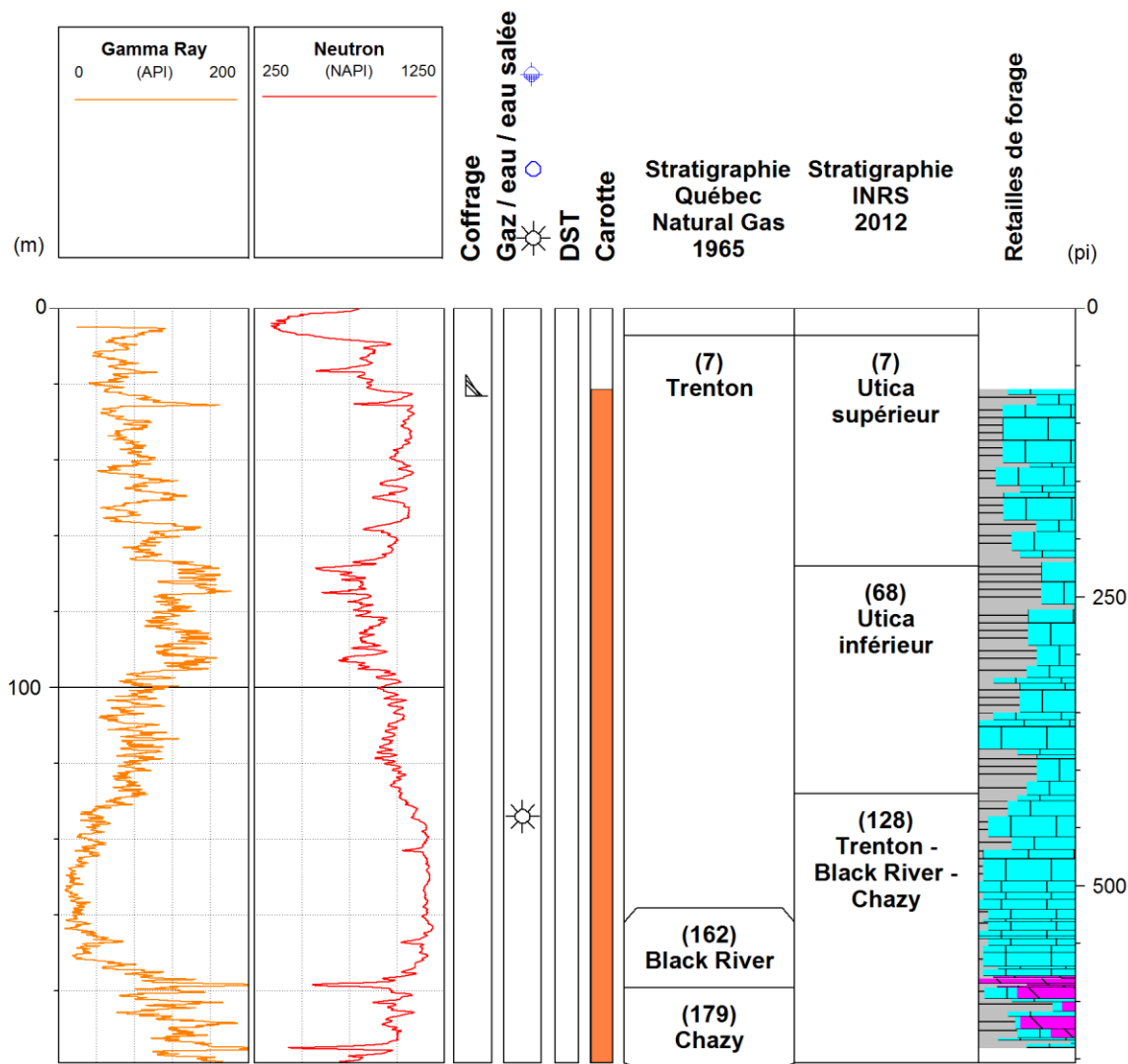


A141 - Québec Natural Gas No 1, L'Épiphanie

Profondeur totale : 199,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 23,8 / 22,3

Année de forage : 1965

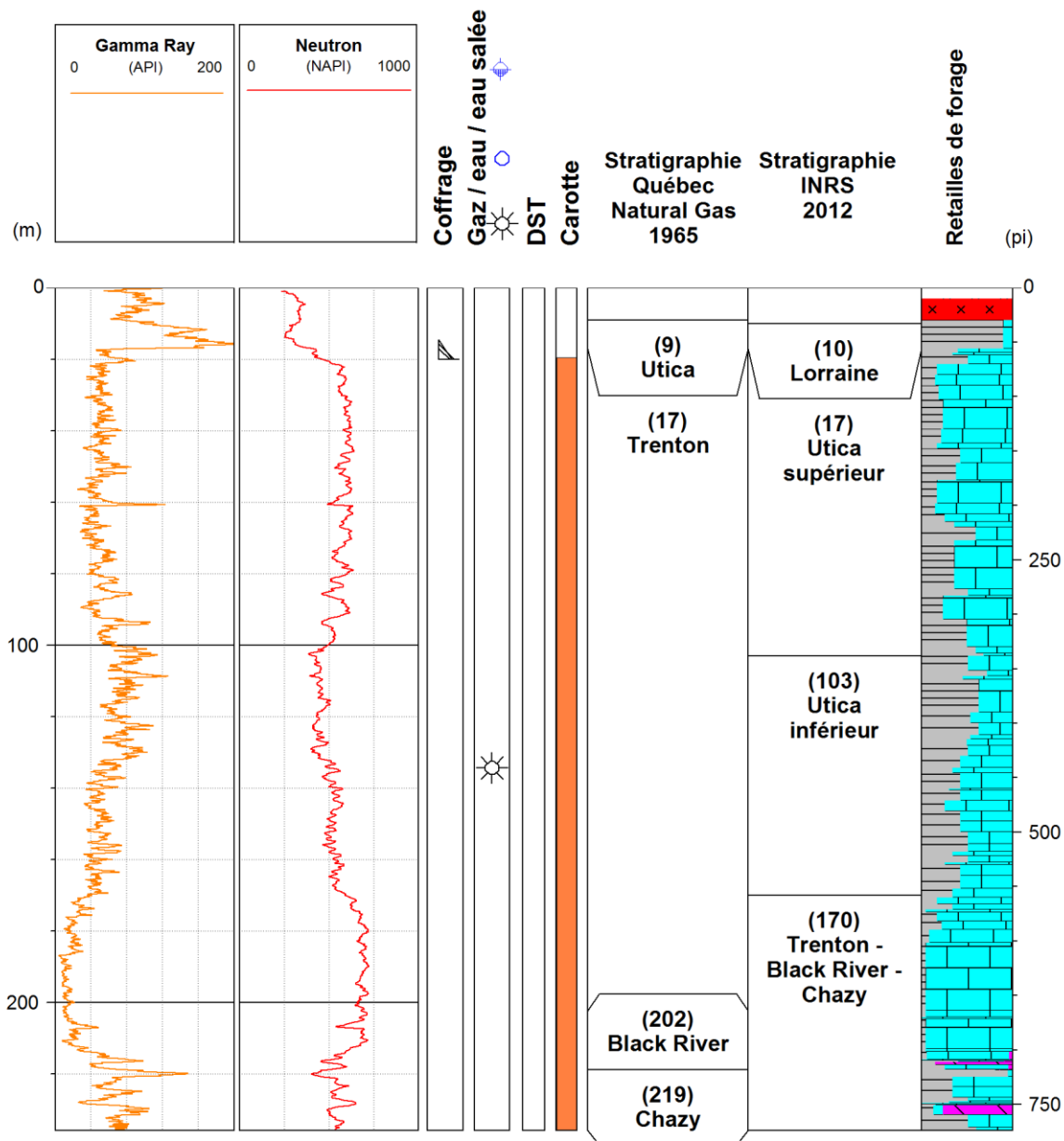


A142 - Québec Natural Gas No 2, L'Épiphanie

Profondeur totale : 235,9 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 24,1 / 23,2 m

Année de forage : 1965

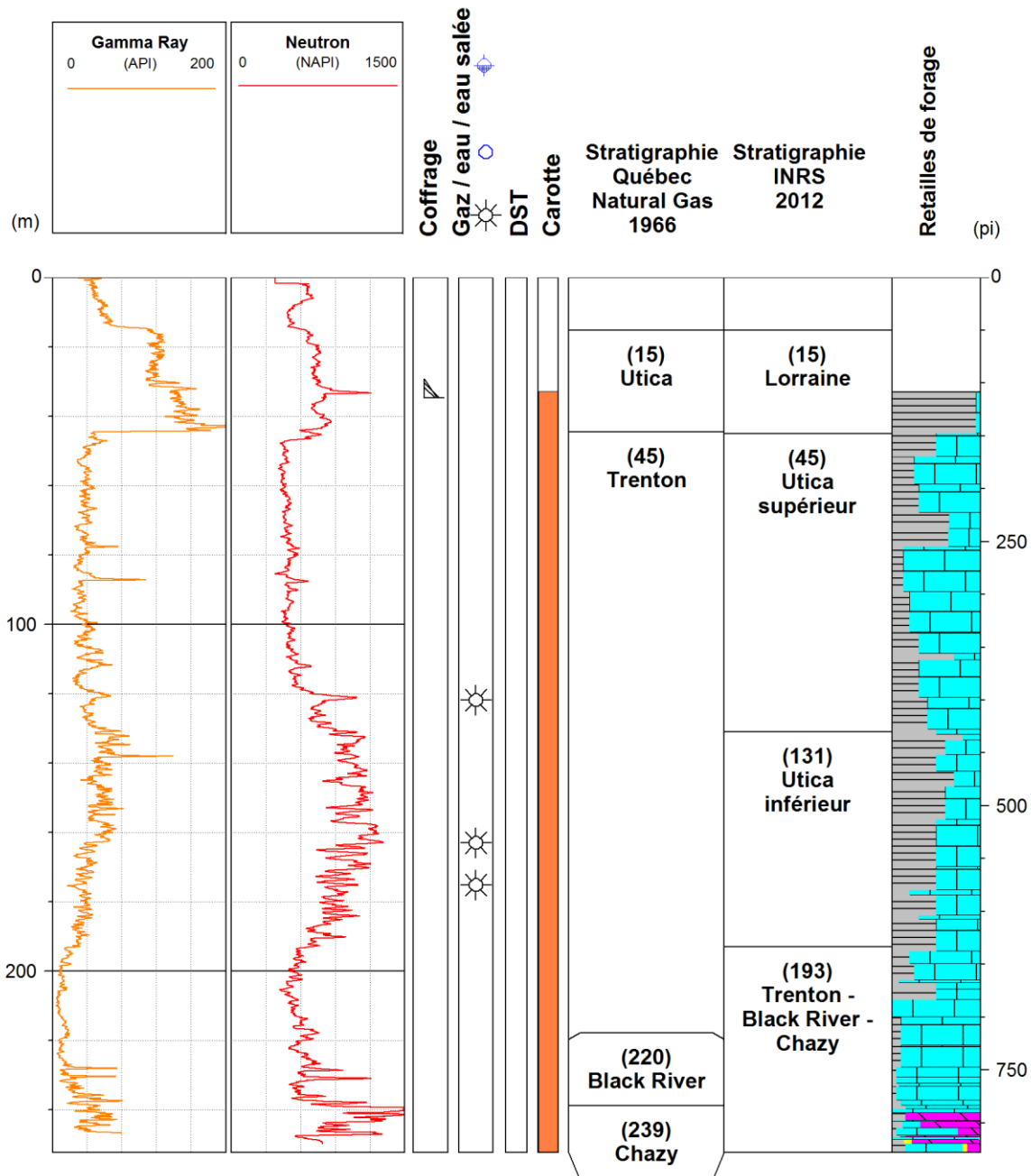


A147 - Québec Natural Gas No 2, Saint-Gérard-Magella

Profondeur totale : 252,4 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 36,6 / 35,7 m

Année de forage : 1966

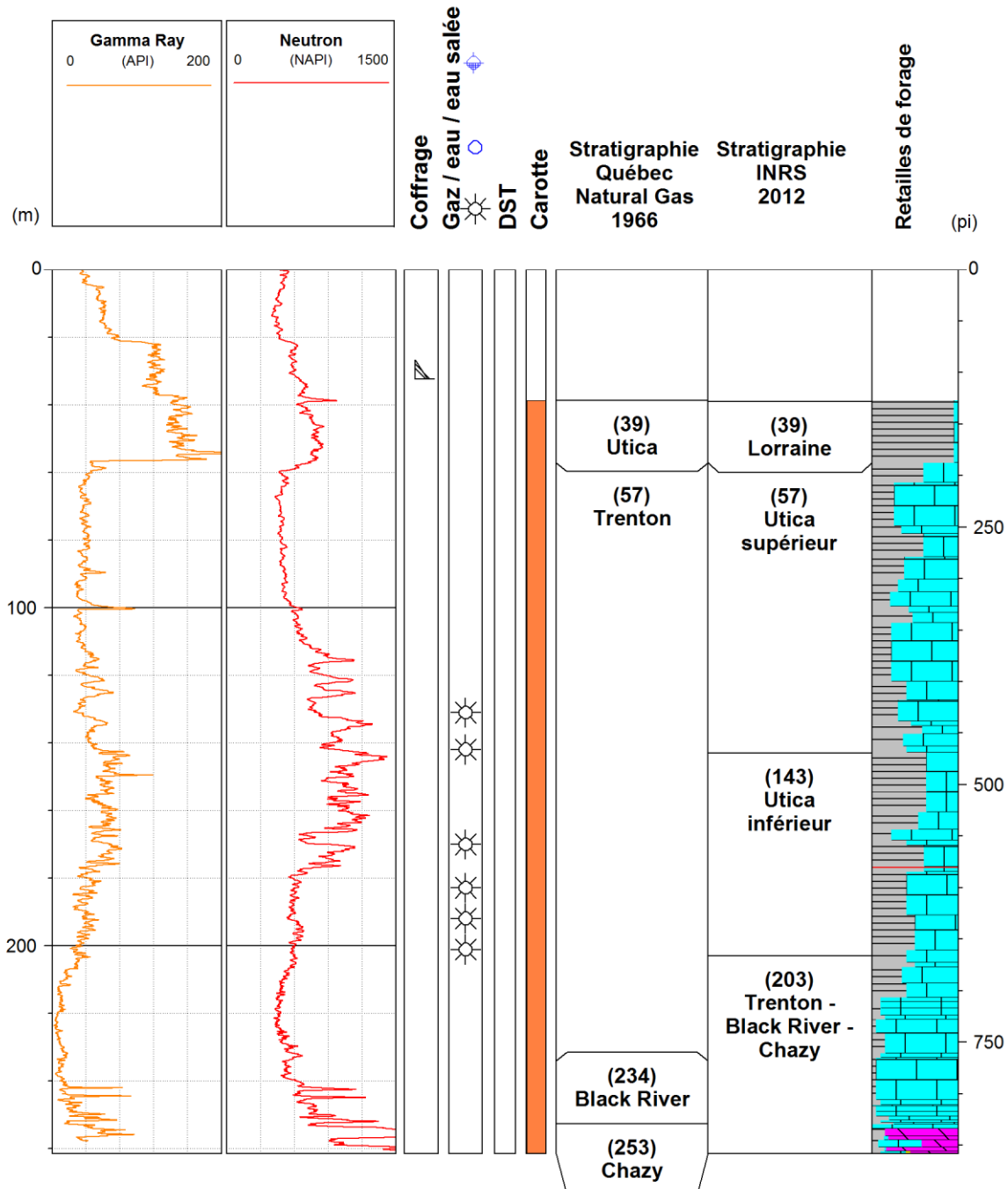


A148 - Québec Natural Gas No 3, Saint-Gérard-Magella

Profondeur totale : 261,5 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 23,2 / 22,3 m

Année de forage : 1966

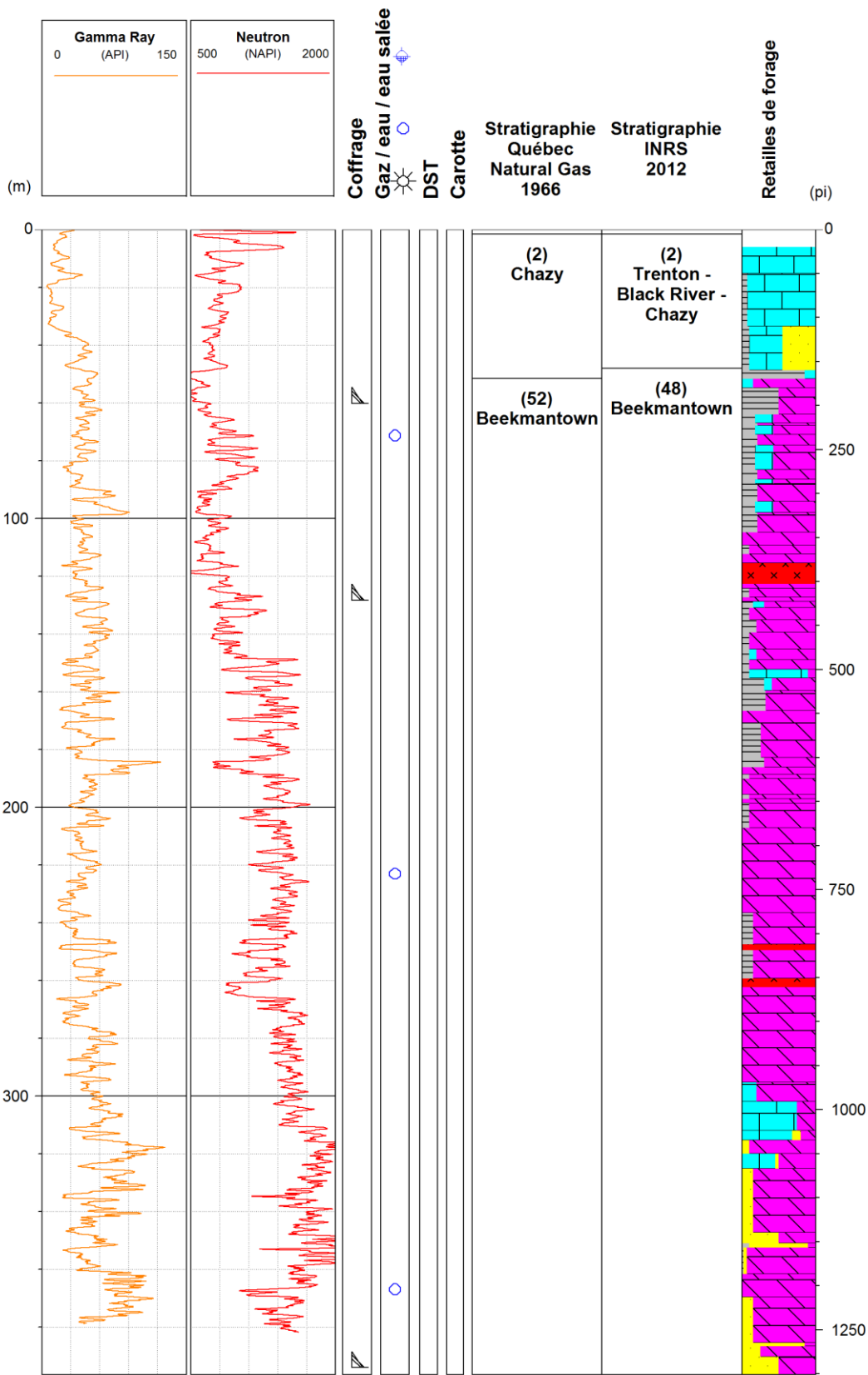


A149 - Québec Natural Gas No 15, Saint-Vincent-de-Paul

Profondeur totale : 396,5 m

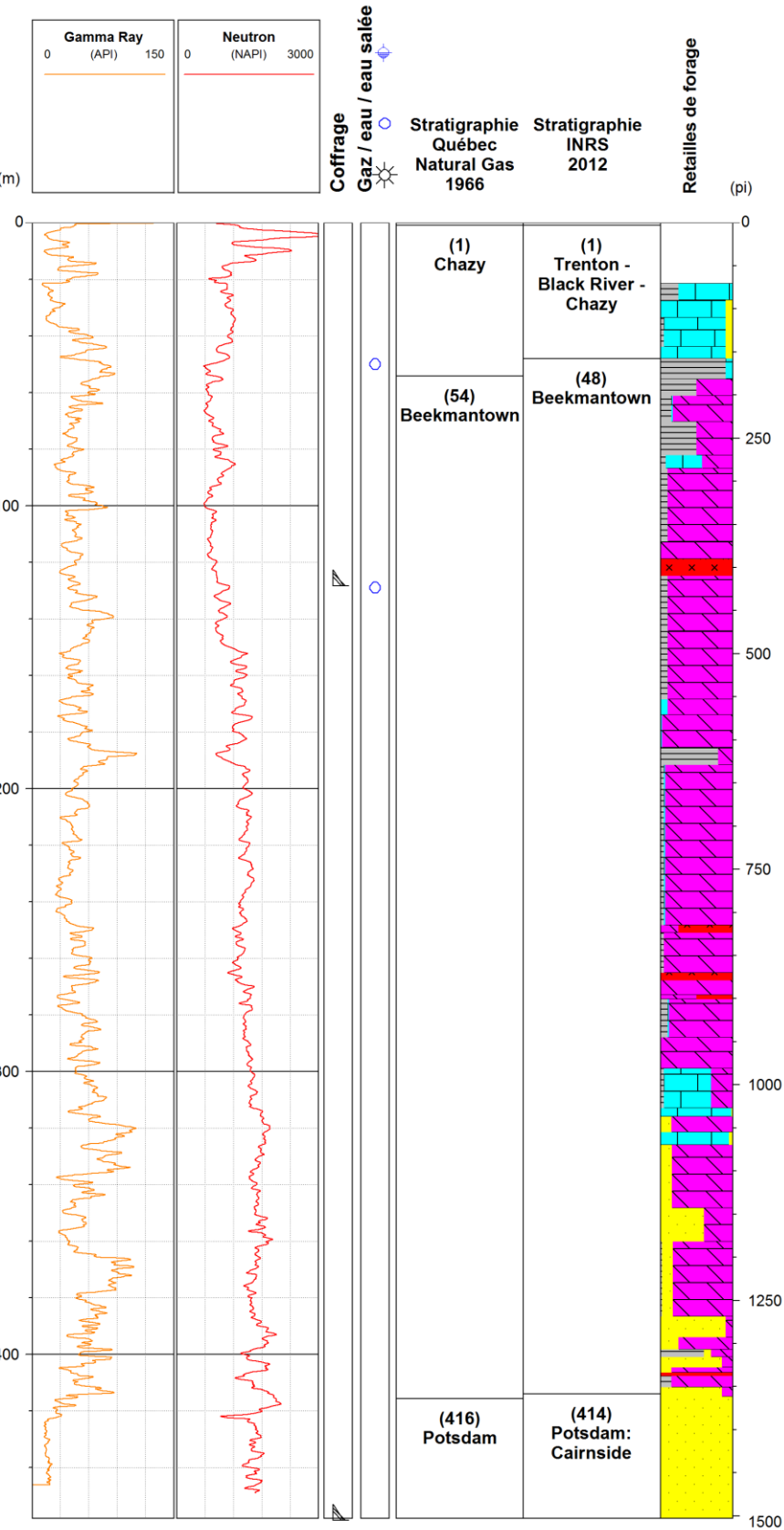
Élévation du KB / sol (p/mer) : 38,4 / 37,5 m

Année de forage : 1966



A150 - Québec Natural Gas No 16, Saint-Vincent-de-Paul

Profondeur totale : 458,1 m
 Élévation du KB / sol (p/mer) : 38,7 / 38,1 m
 Année de forage : 1966

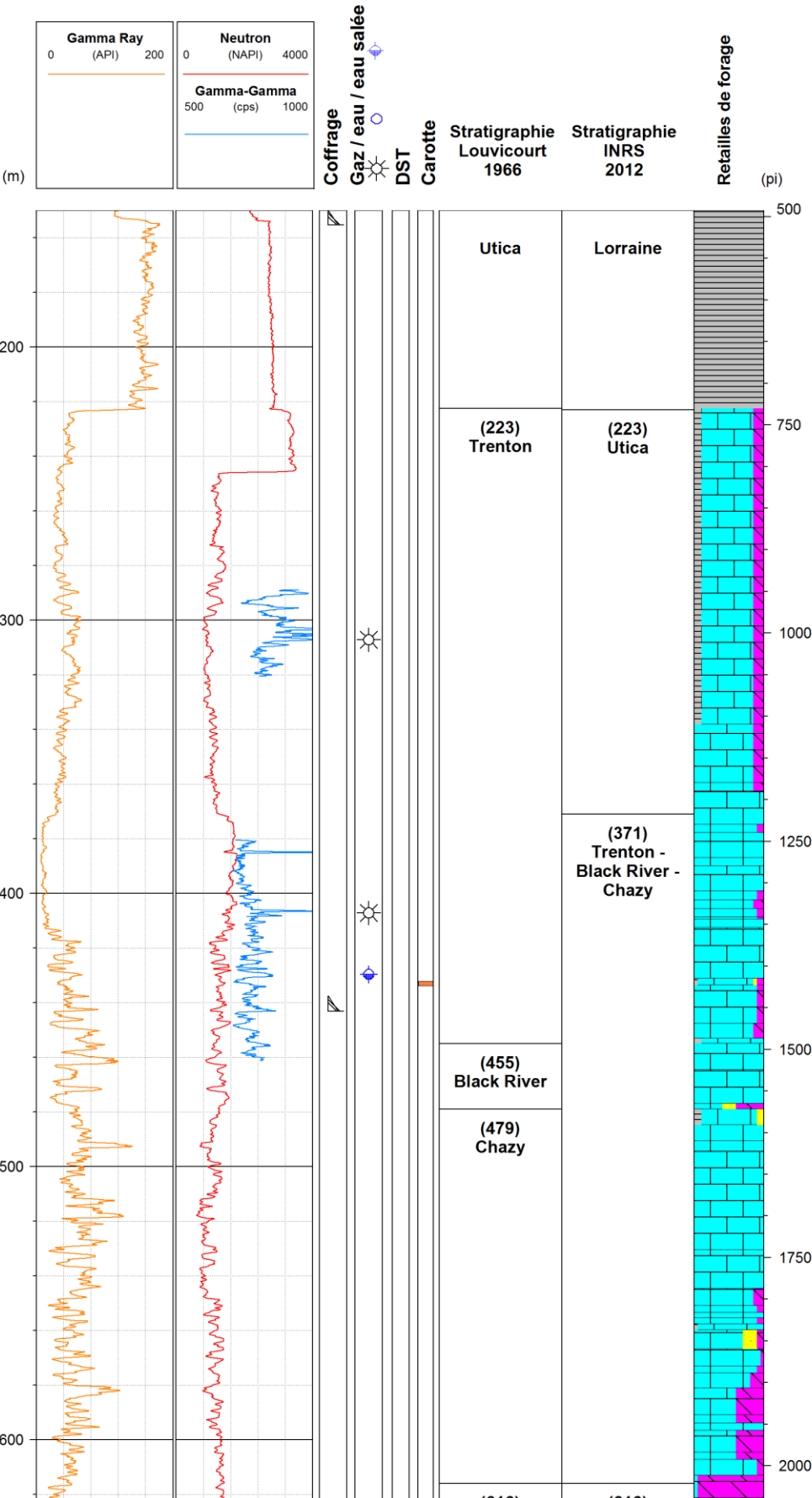


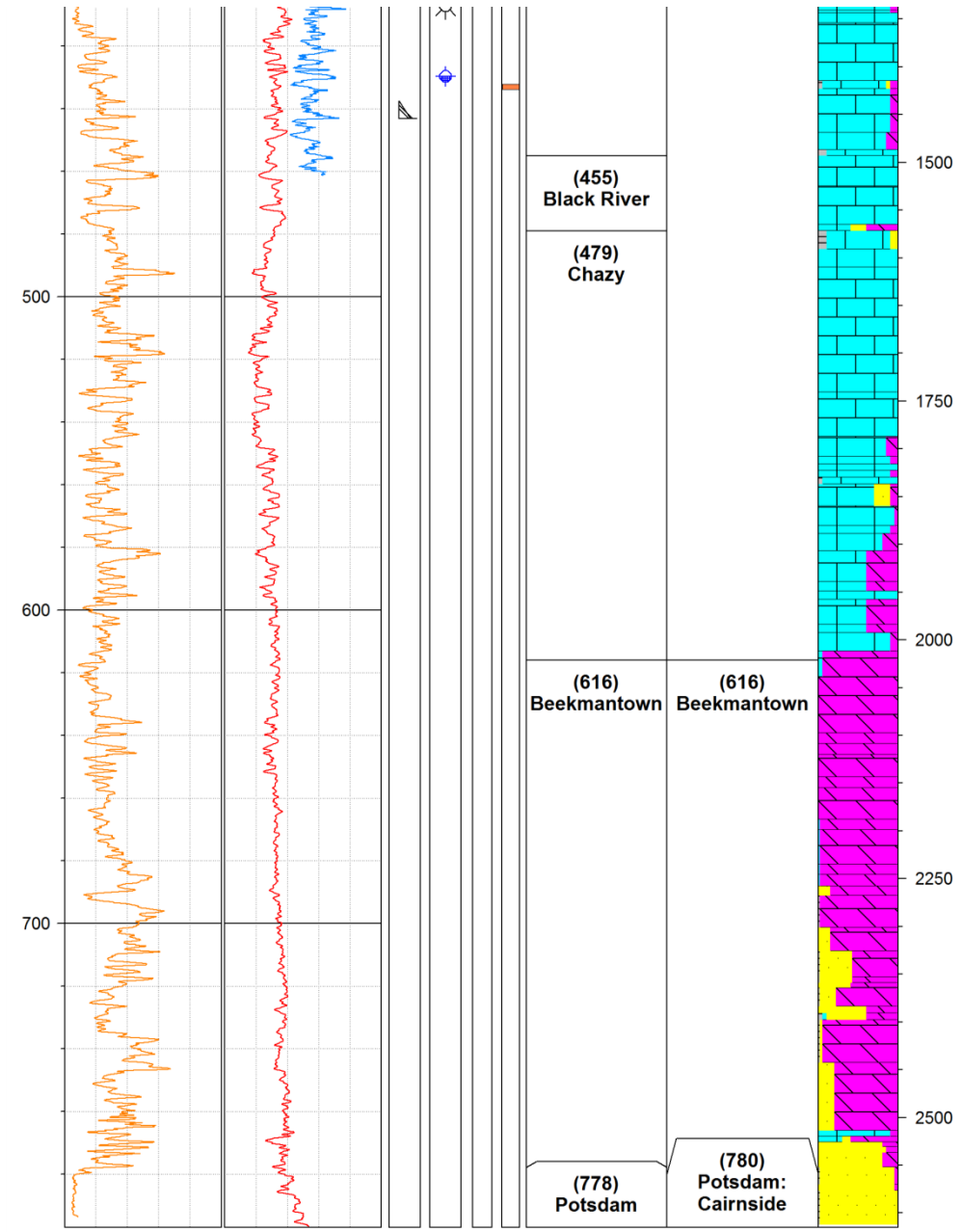
A151 - Louvicourt - Métal l'Assomption No 8

Profondeur totale : 797,1 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 17,4 / 16,2 m

Année de forage : 1966



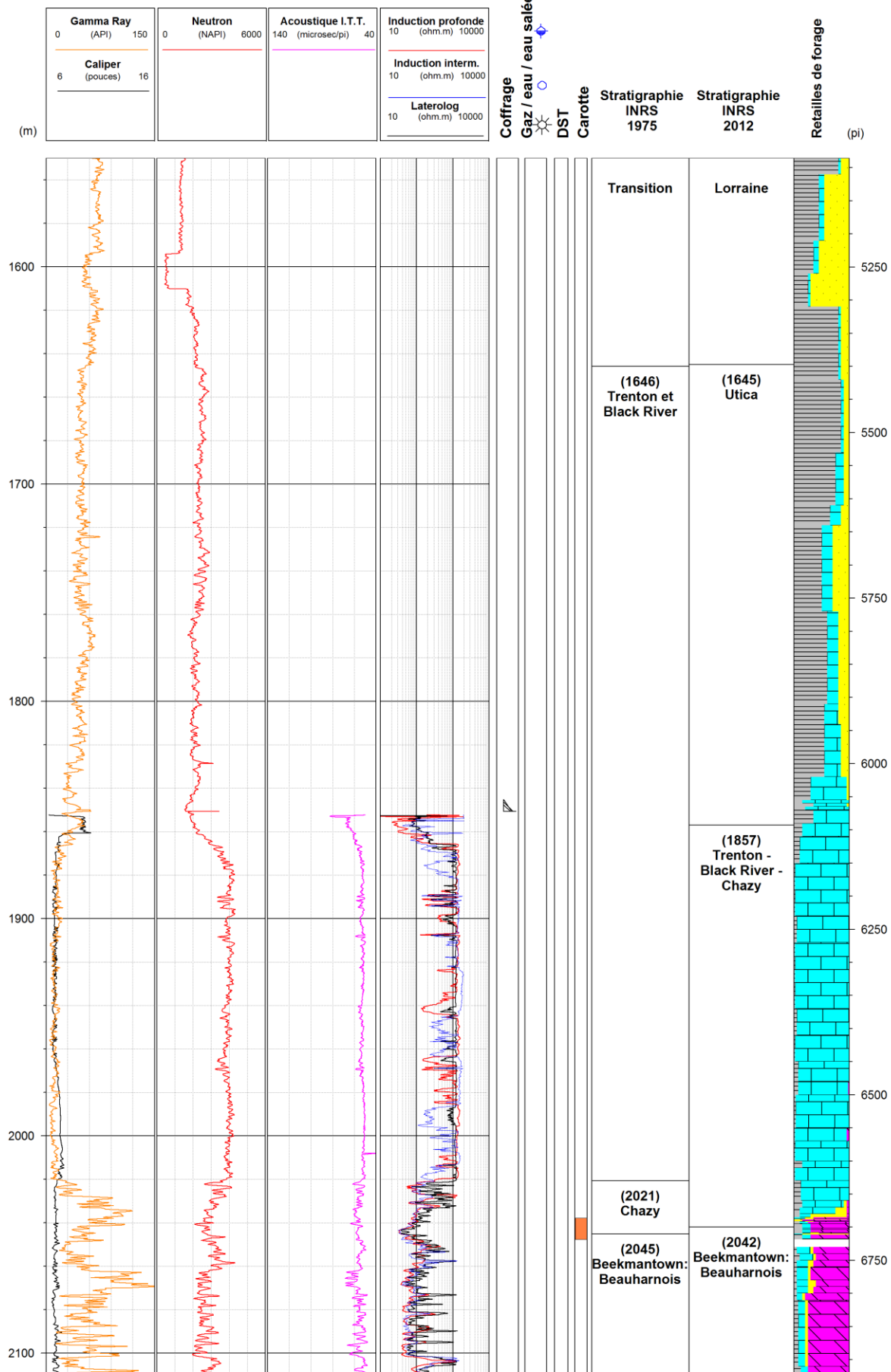


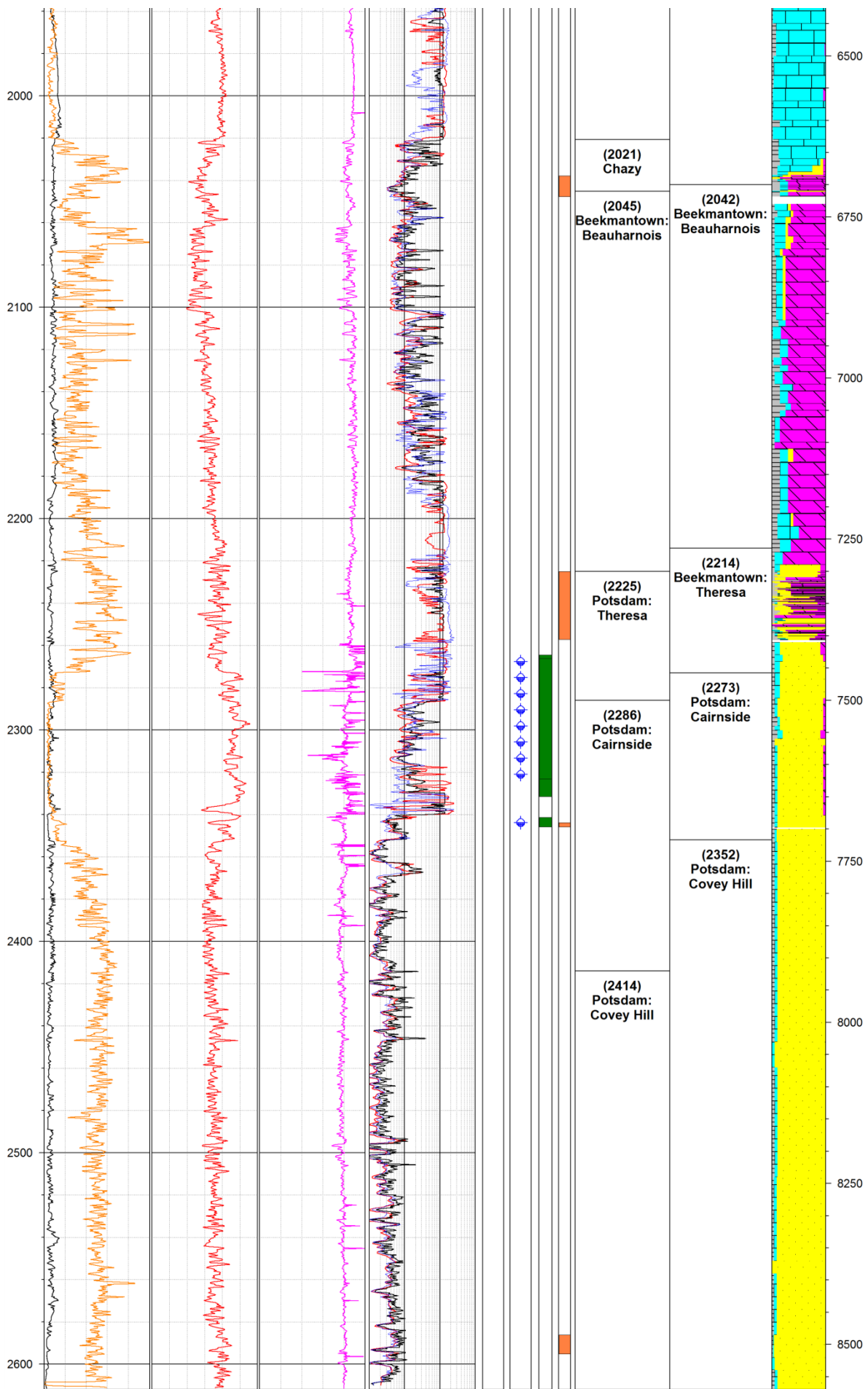
A156 - Husky, Gentilly No 1

Profondeur totale : 2612,1 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 41,8 / 38,4 m

Année de forage : 1971



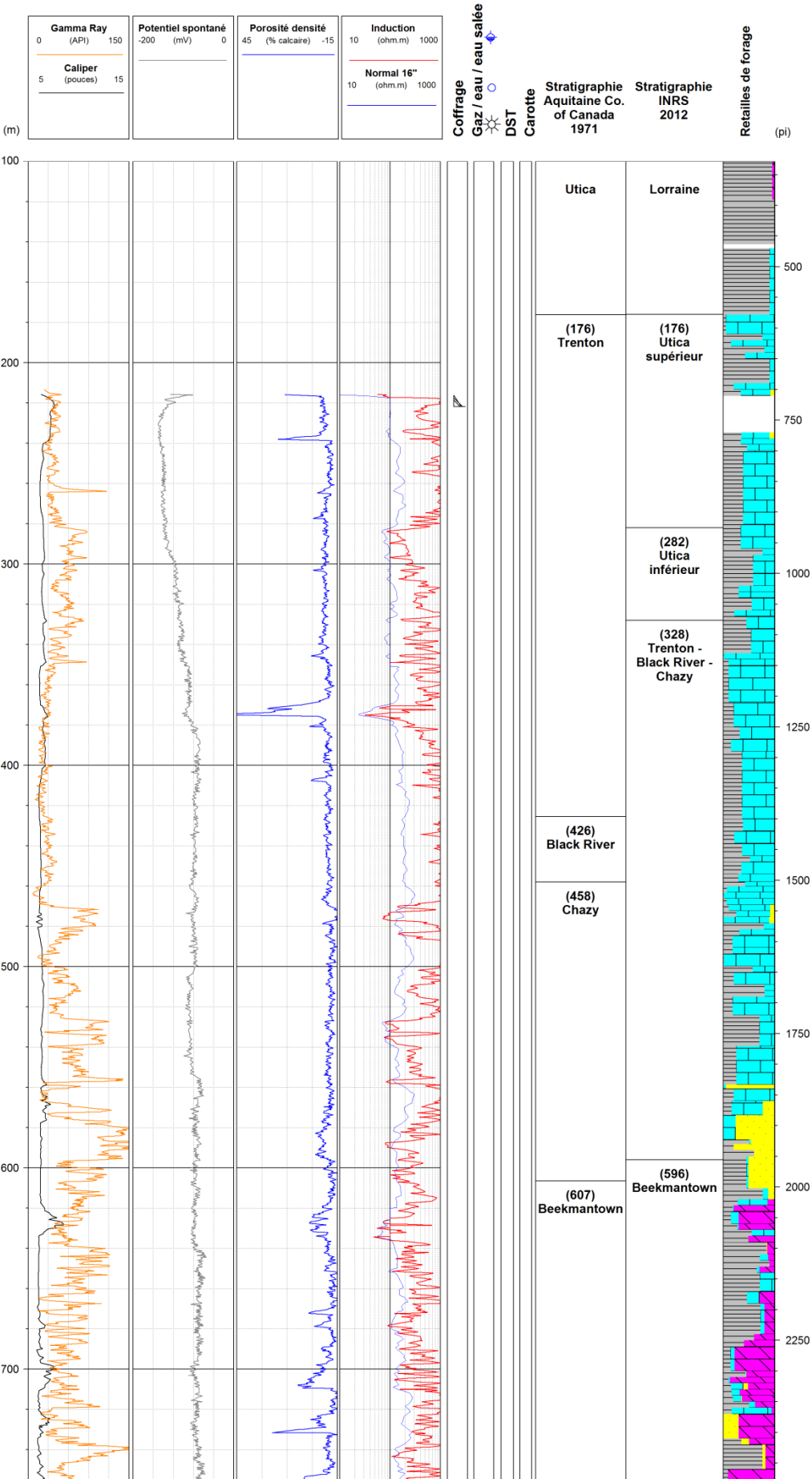


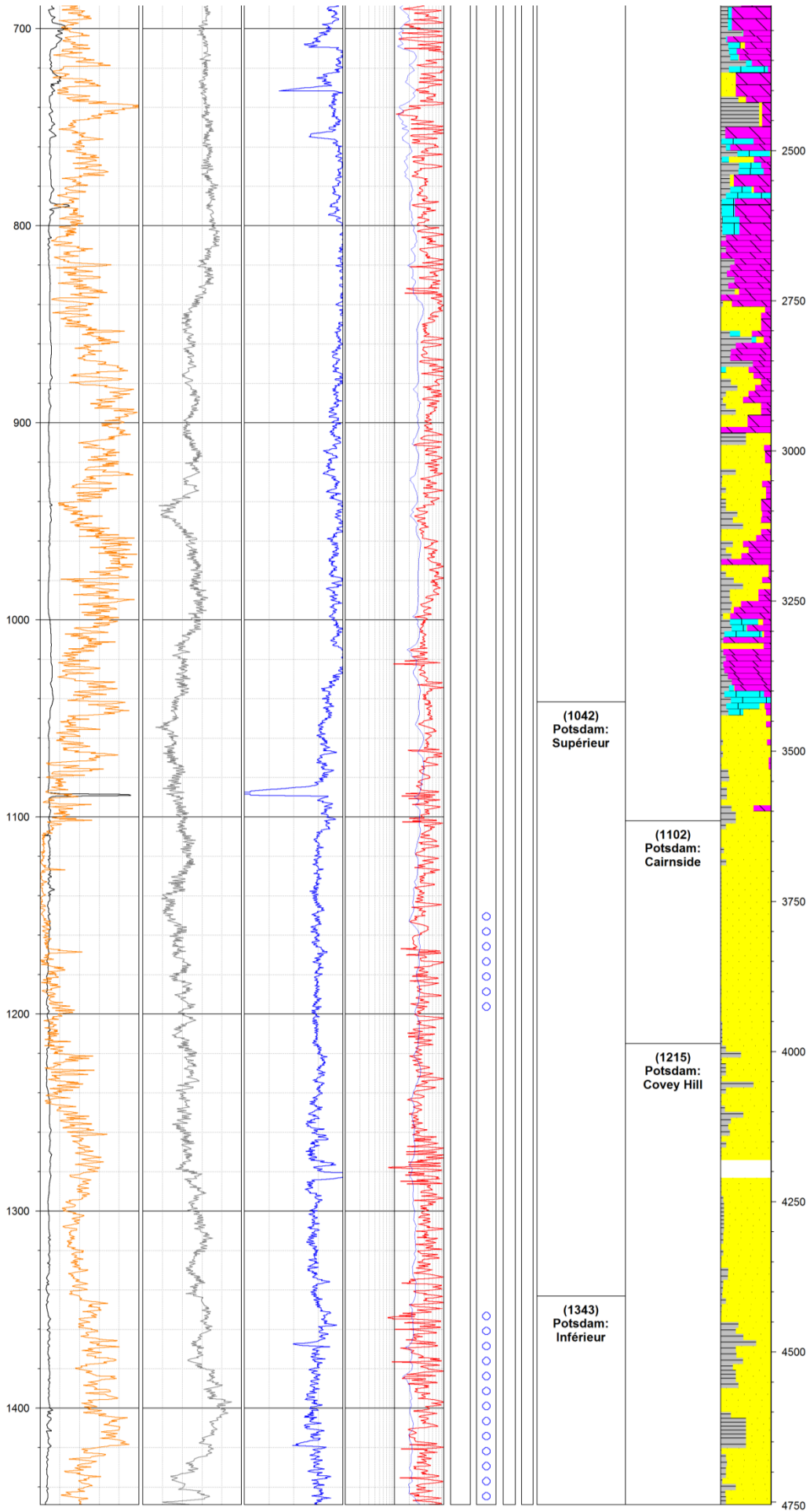
A157 - Canac B.P. Sisque, Brossard No 1

Profondeur totale : 1449,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 19,5 / 16,5 m

Année de forage : 1971



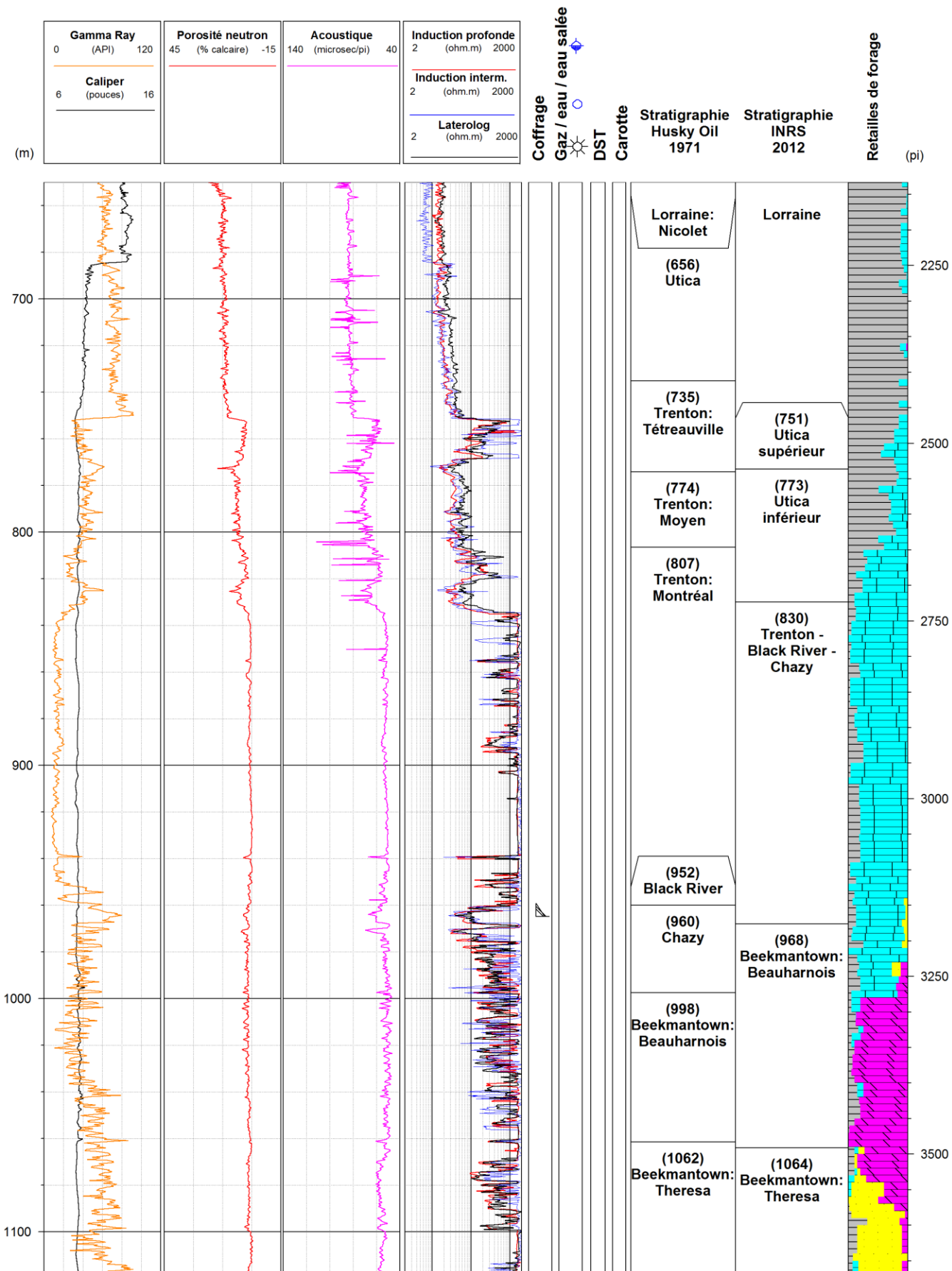


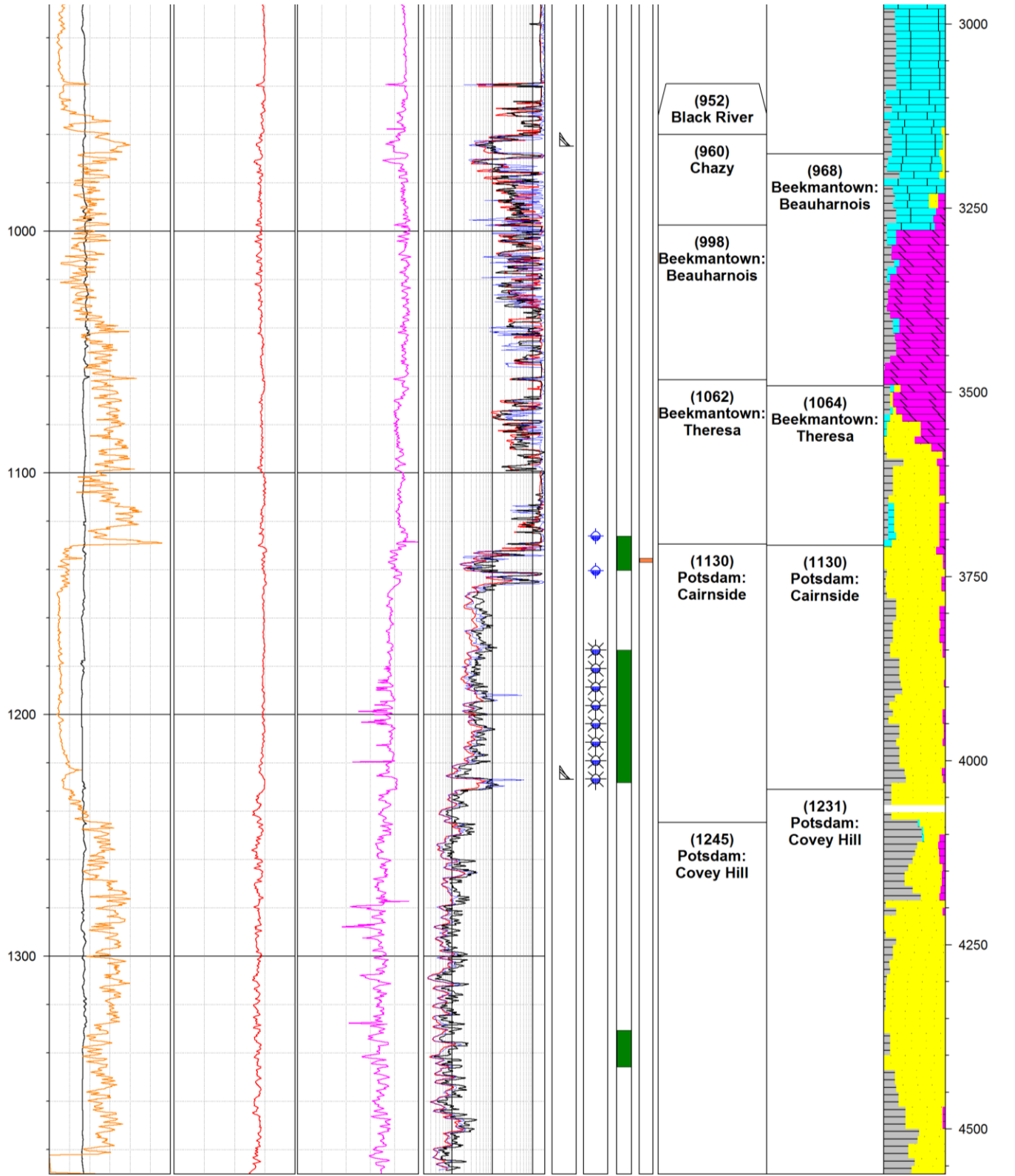
A158 et A158-R1 - Husky Bruyères No 1

Profondeur totale : 1390,2 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 34,1 / 29,9 m

Année de forage : 1971 et 2002



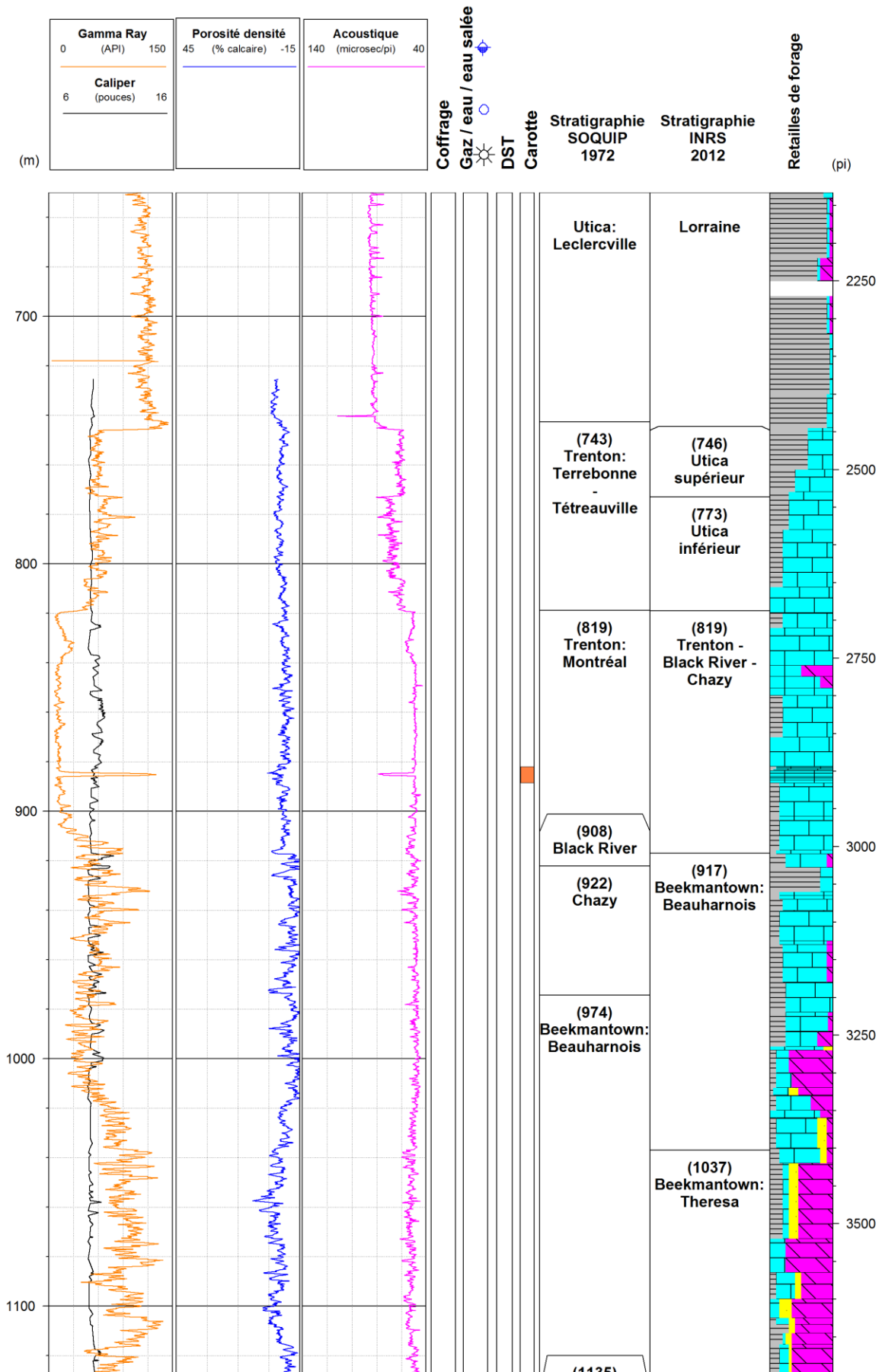


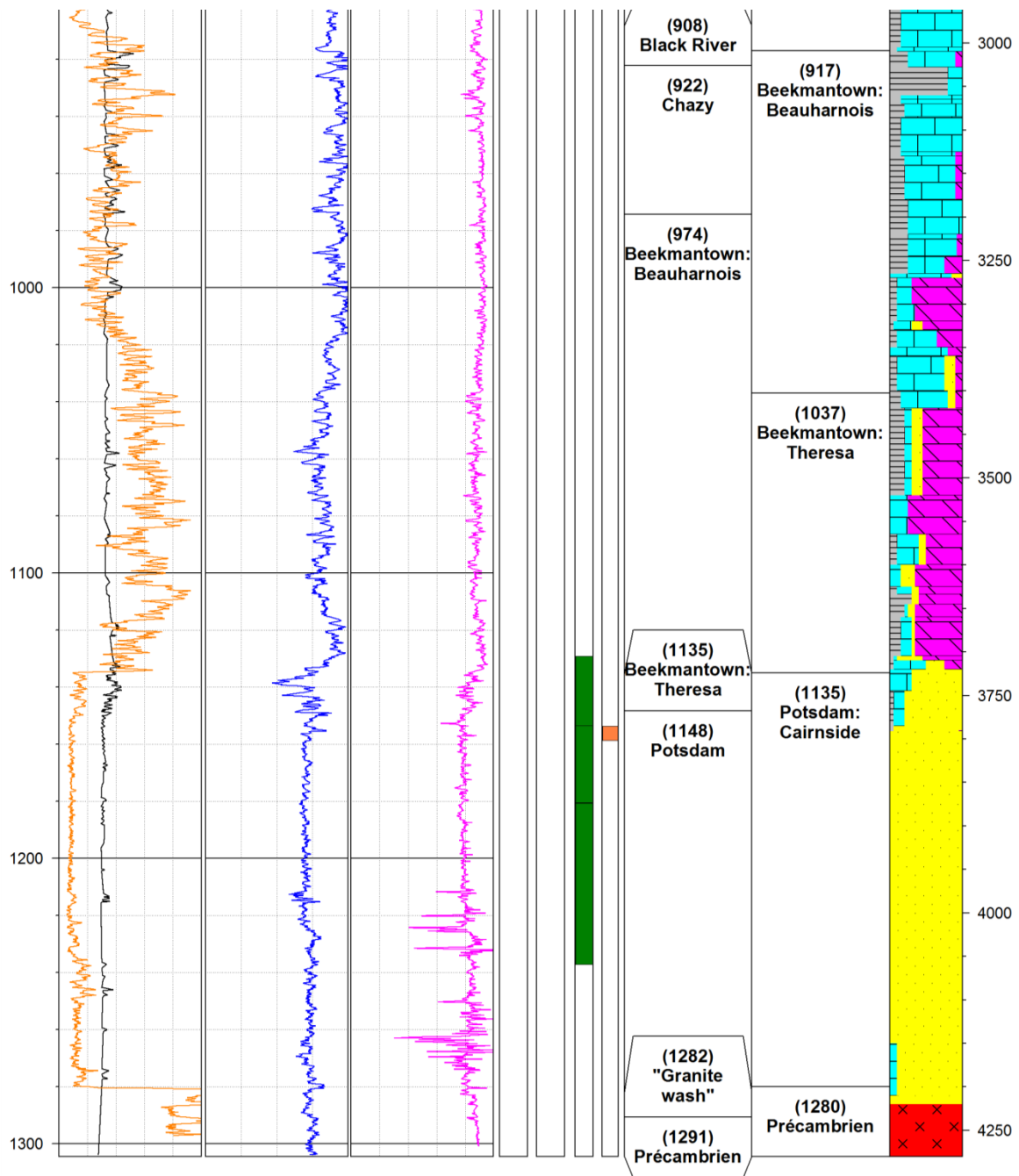
A159 - SOQUIP Laduboro, Baieville No 1

Profondeur totale : 1304,5 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 12,8 / 9,1 m

Année de forage : 1971



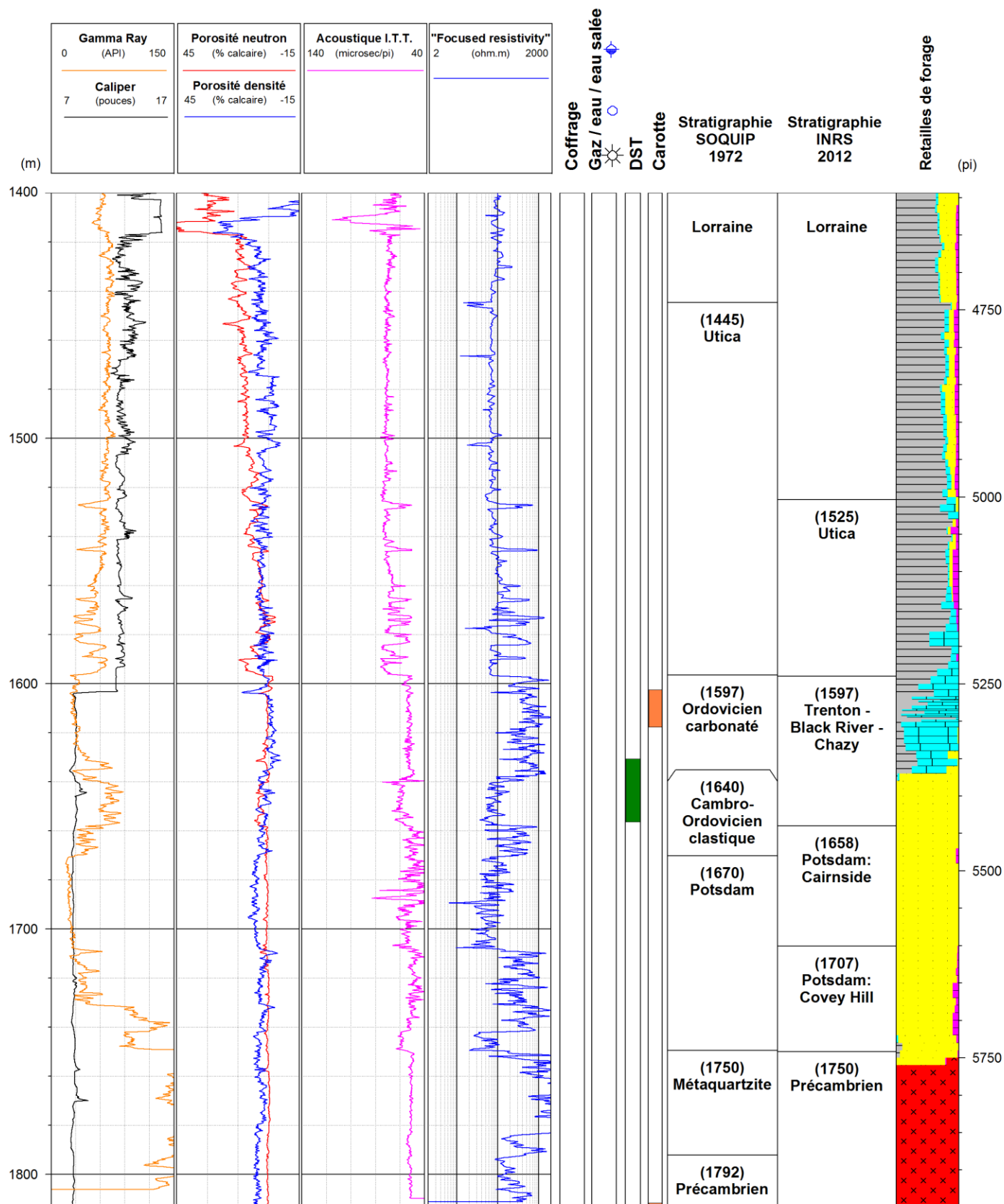


A160 - CPOG SOQUIP Sisque, Île d'Orléans No 1

Profondeur totale : 1813,6 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 137,8 / 132,9 m

Année de forage : 1971

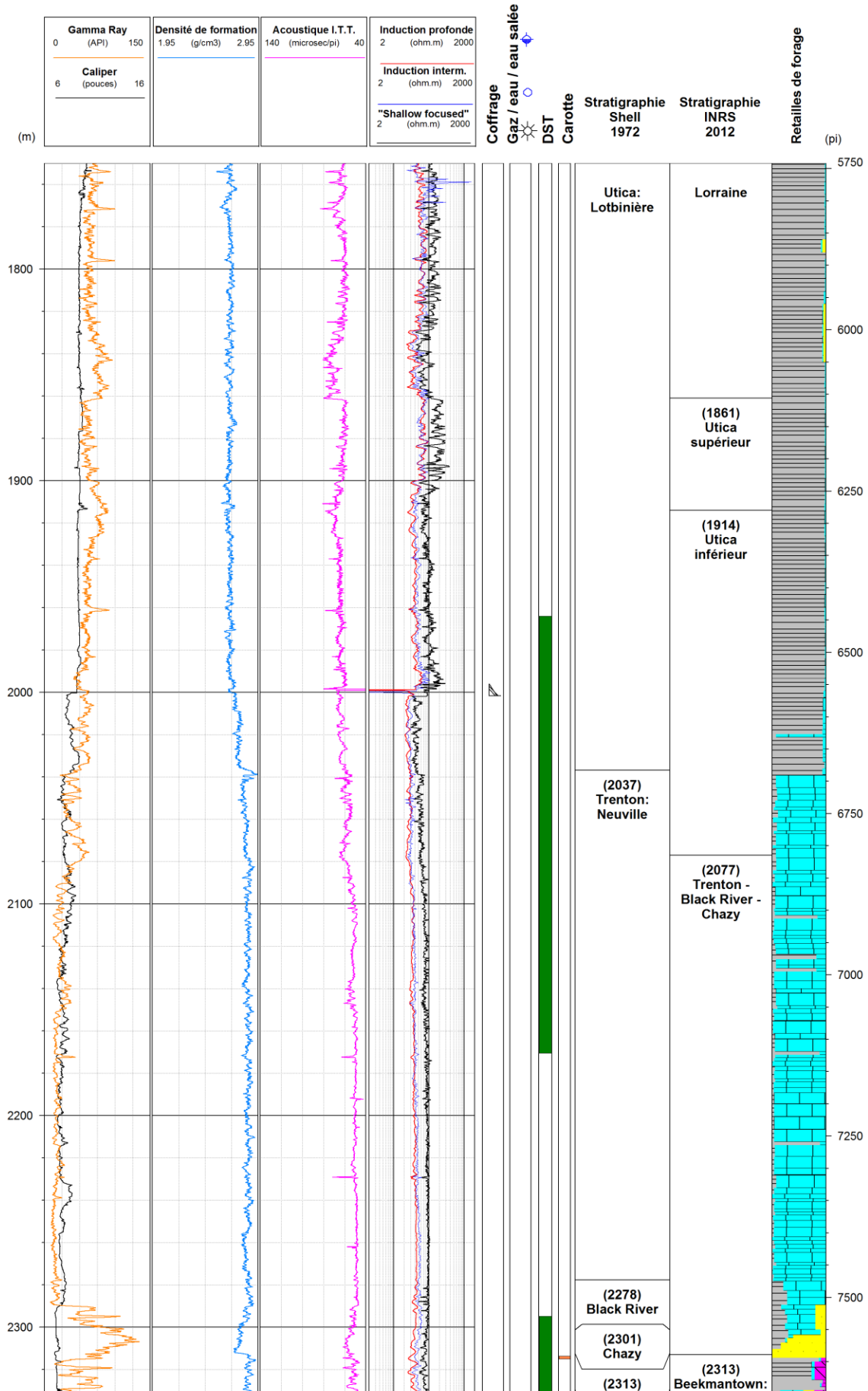


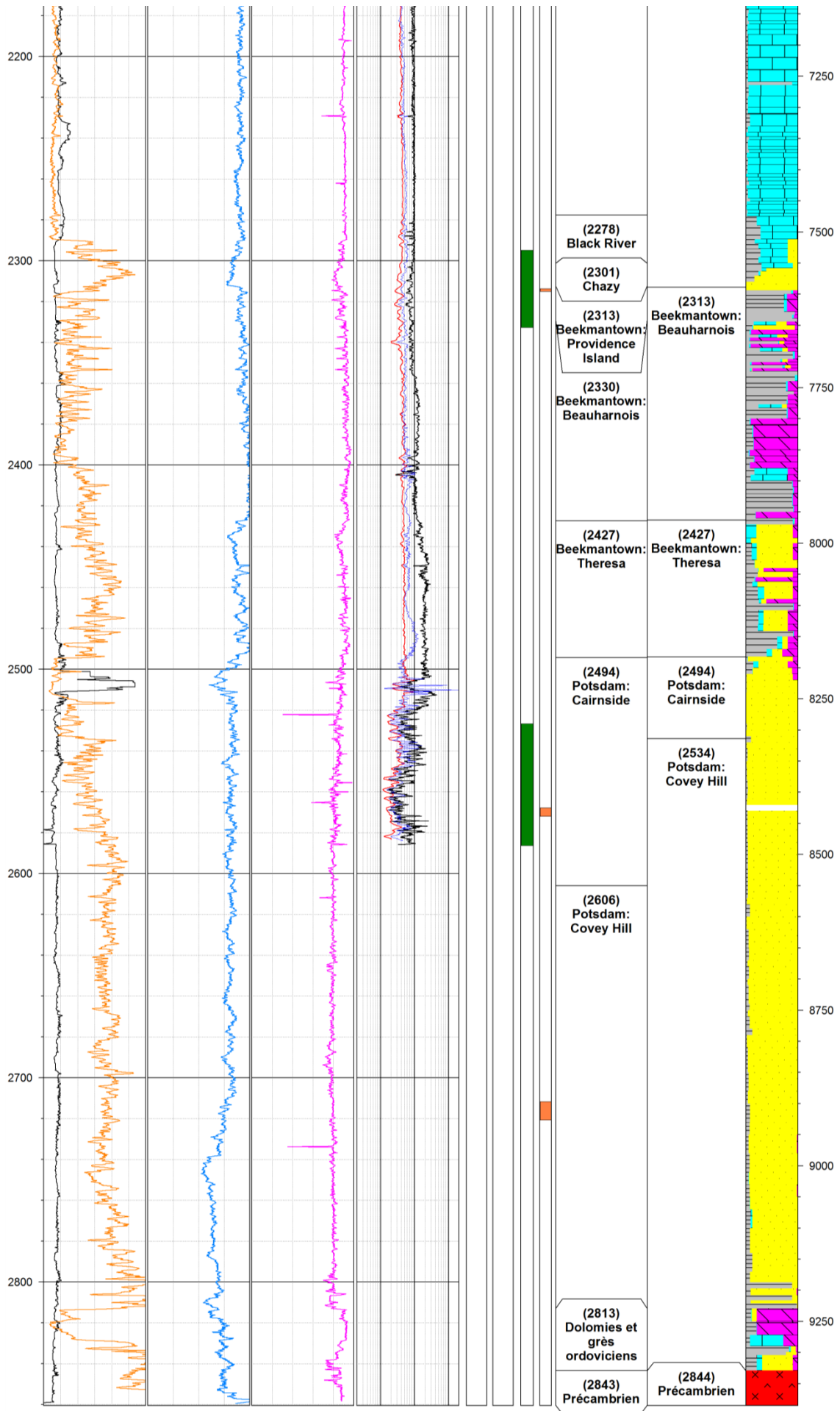
A161 - Shell, Sainte-Françoise-Romaine No 1

Profondeur totale : 2860,5 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 91,1 / 85,6 m

Année de forage : 1971



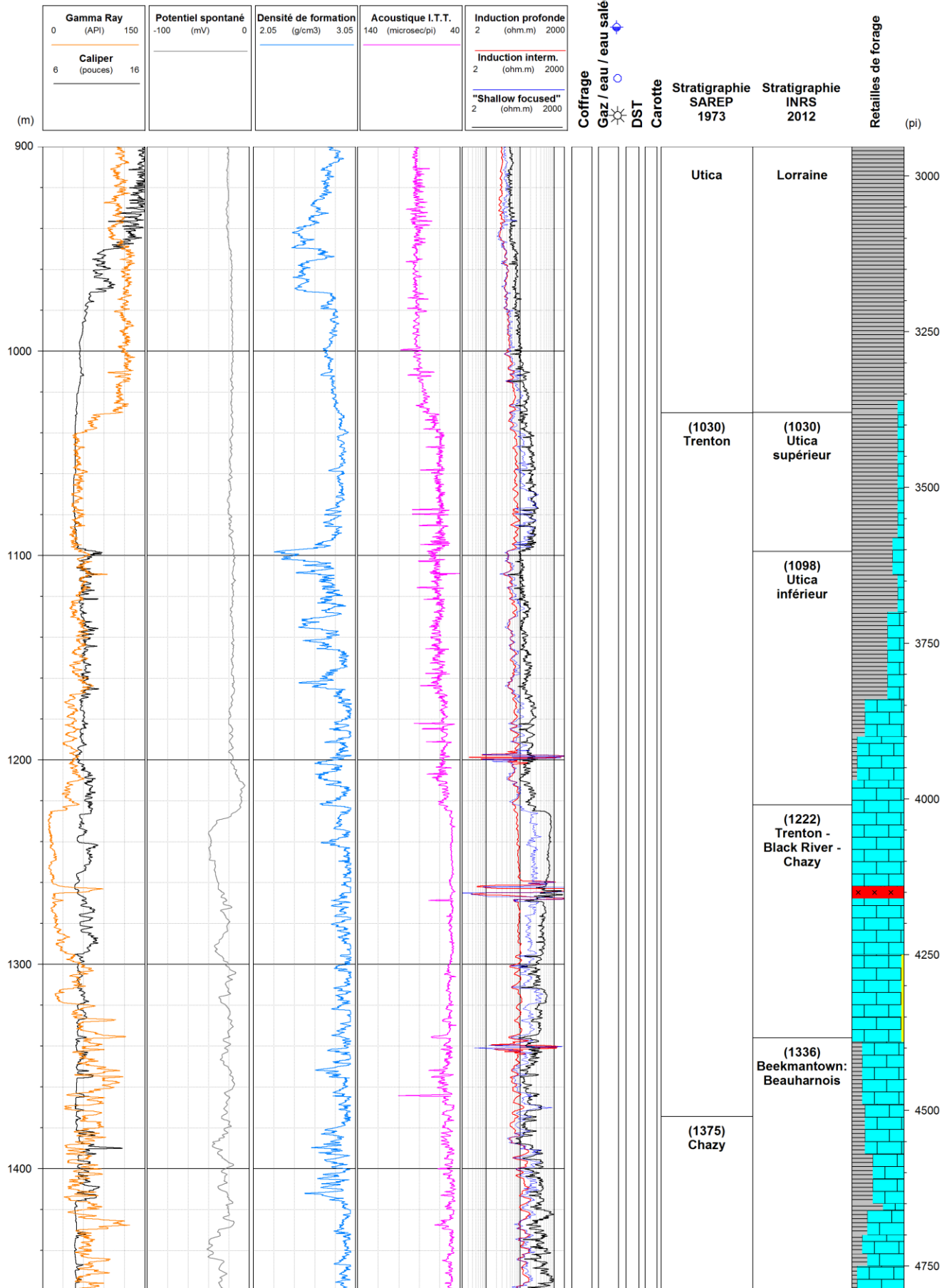


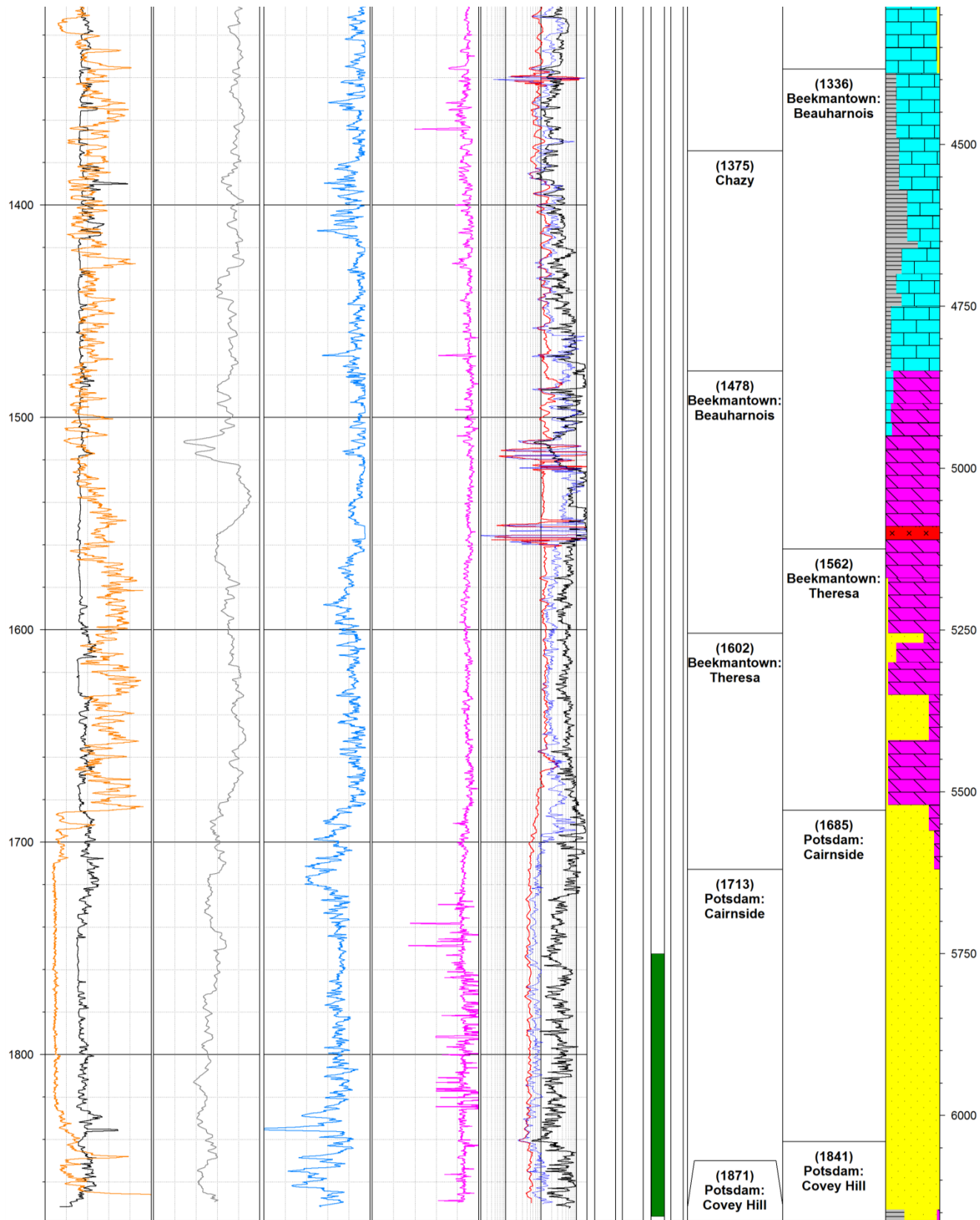
A162 - Sarep Laduboro, Saint-Ours No 1

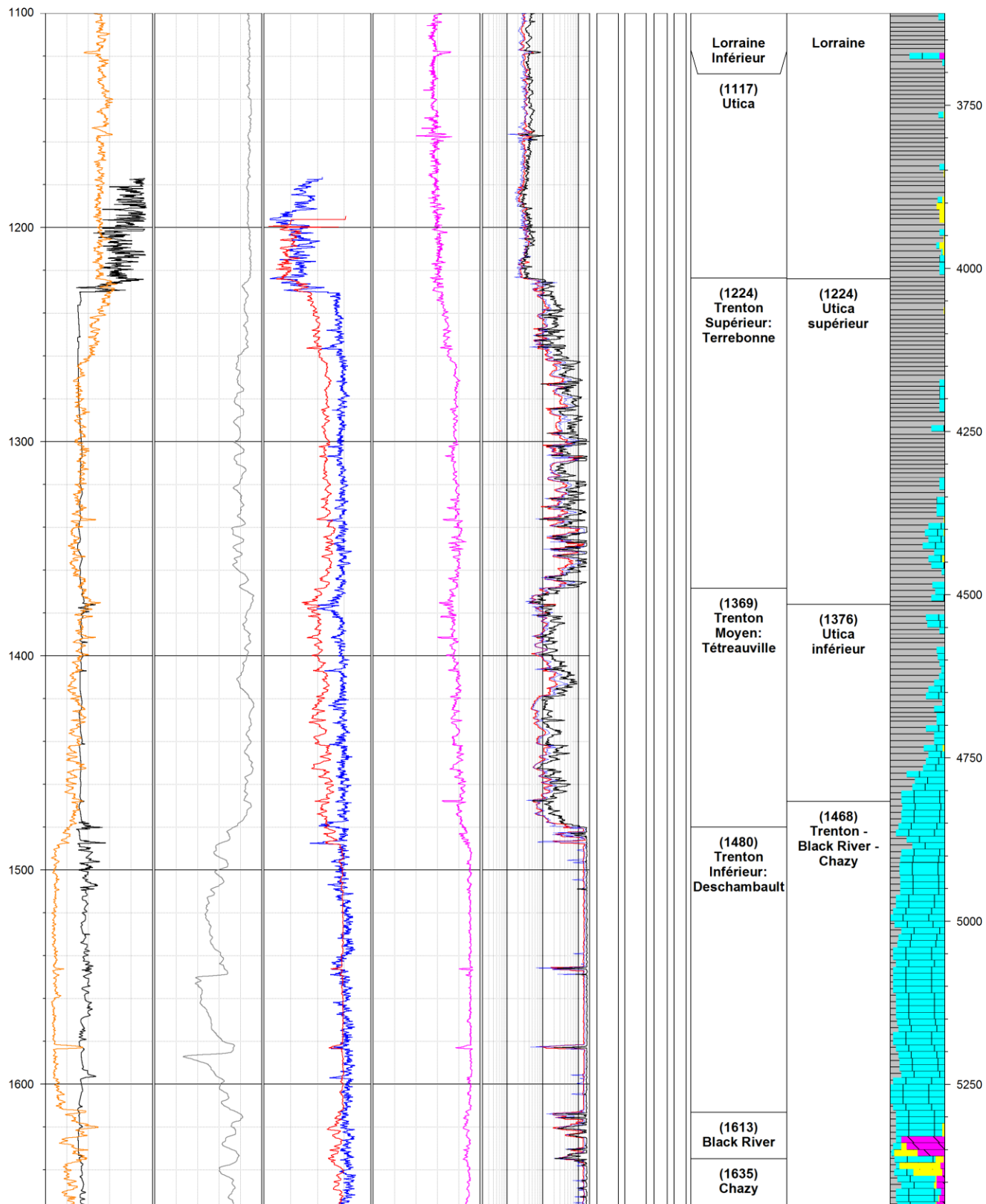
Profondeur totale : 1878,5 m

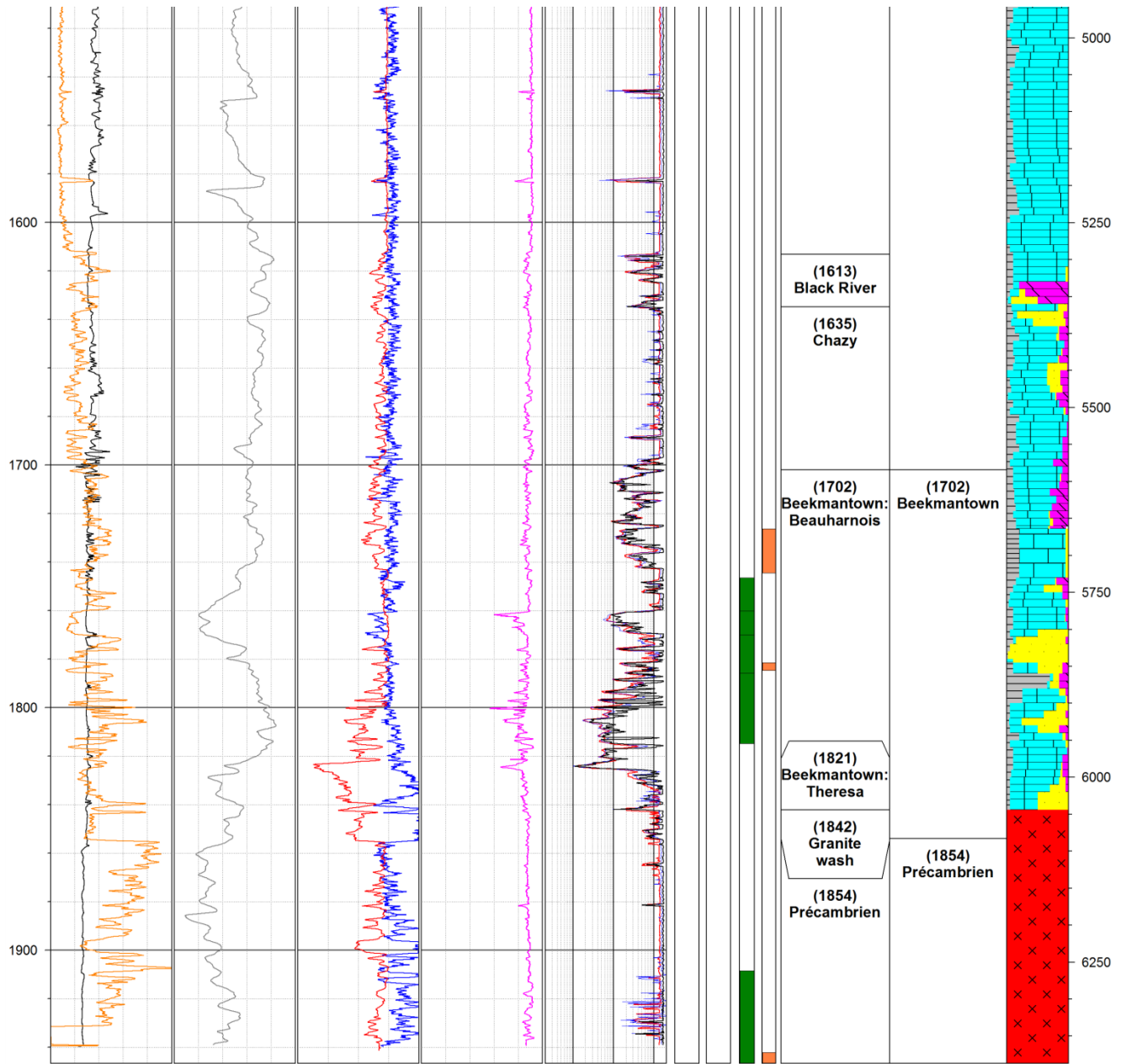
Élévation du KB / sol (p/mer) : 25,9 / 20,7 m

Année du forage : 1972







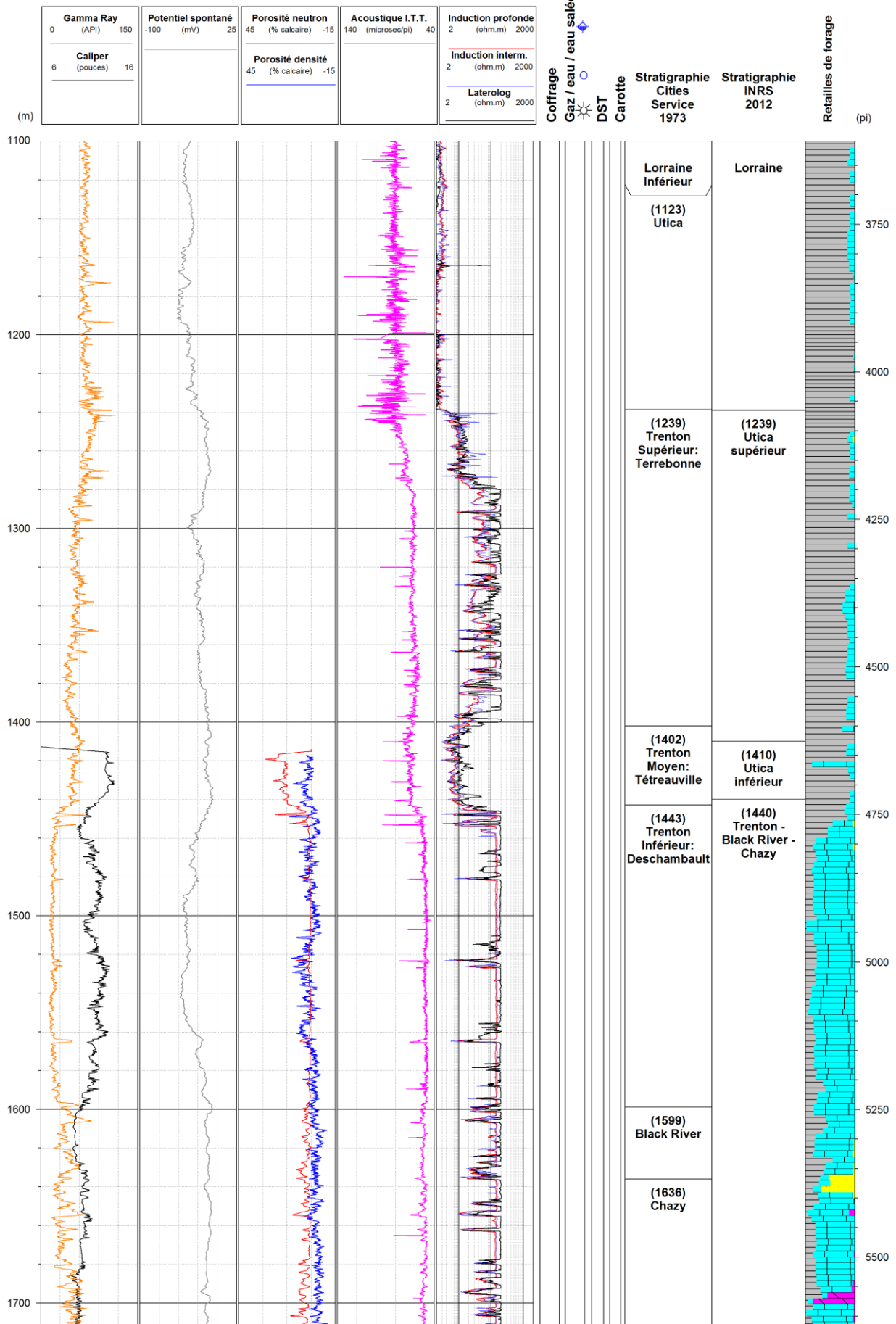


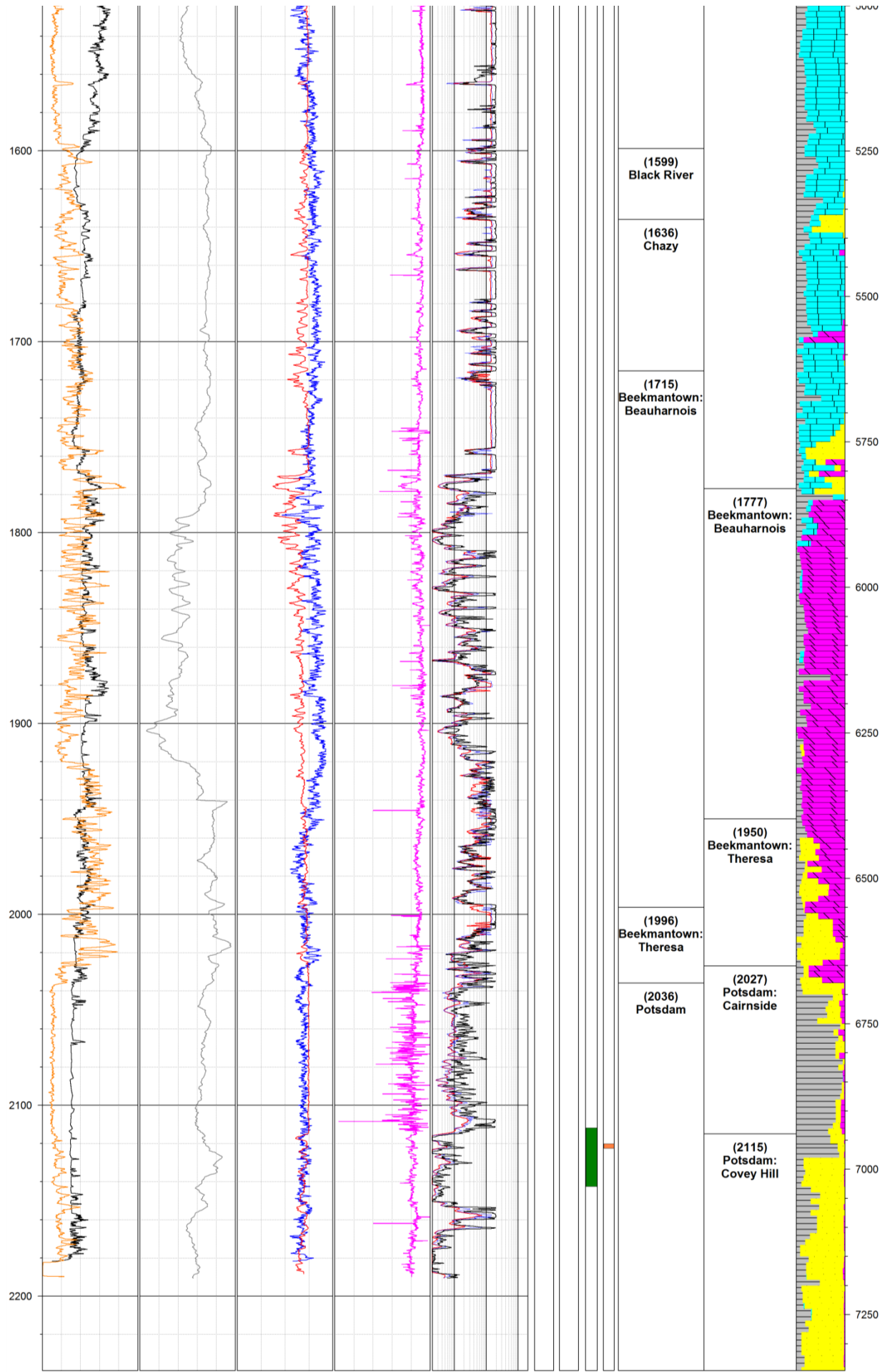
A165a - C.S. SOQUIP Laduboro, Nicolet No 1a

Profondeur totale : 2239,1 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 41,5 / 35,4 m

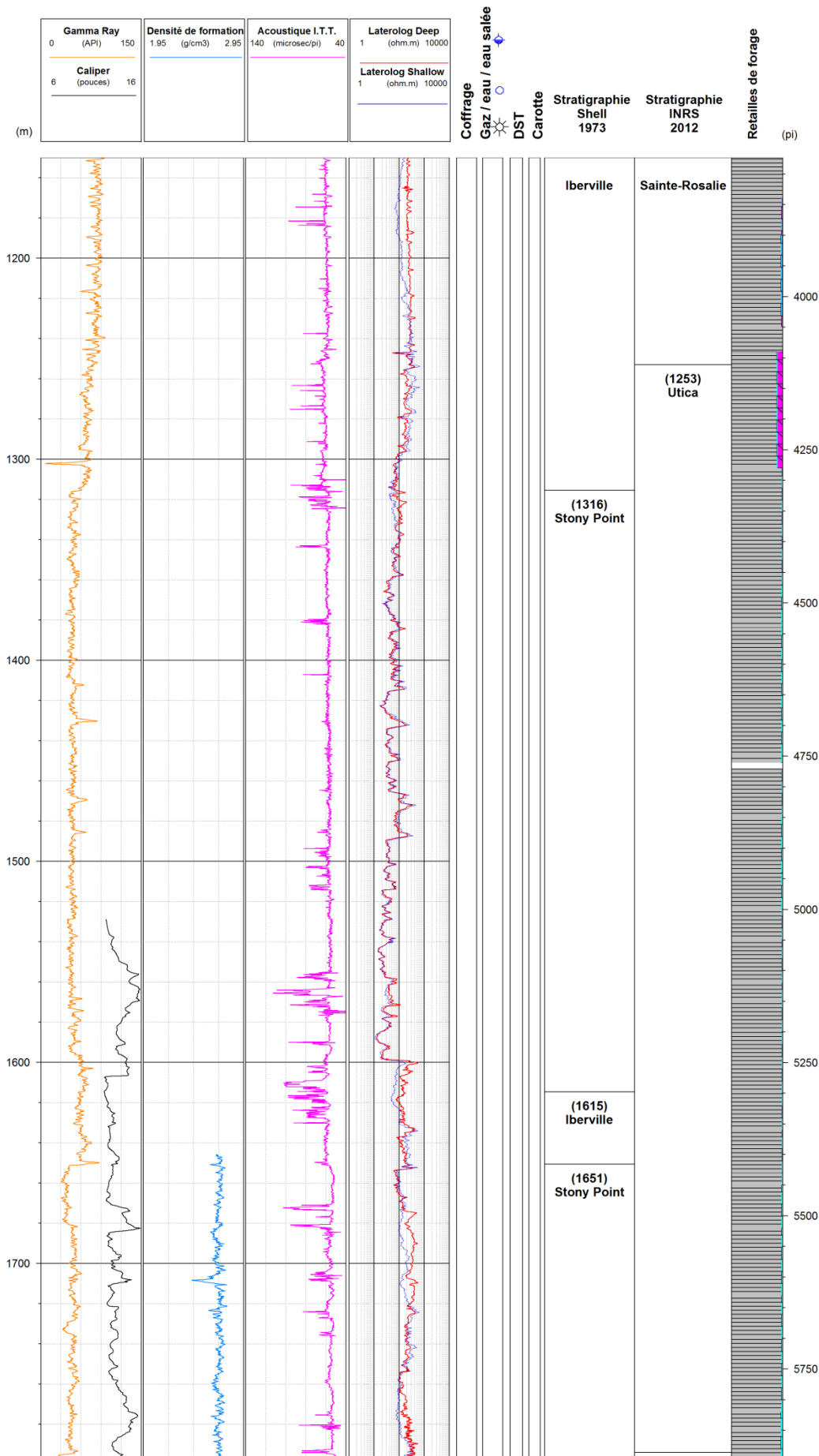
Année de forage : 1972

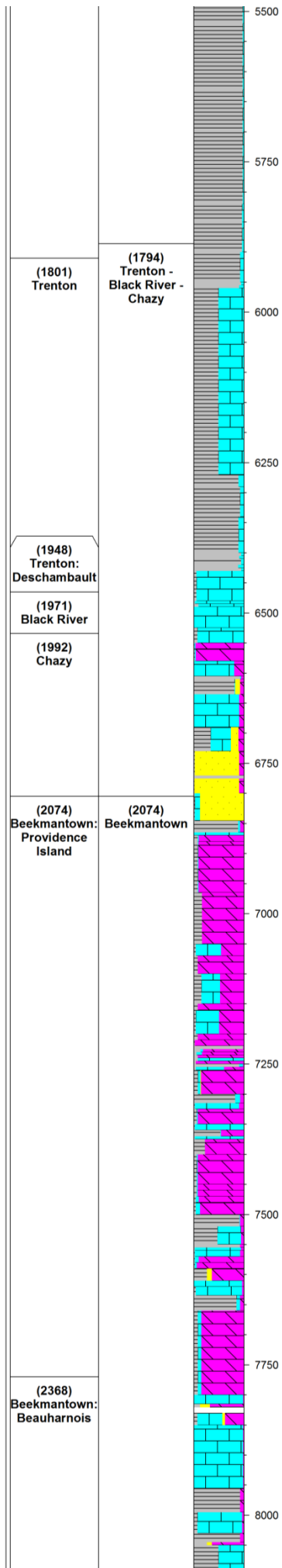
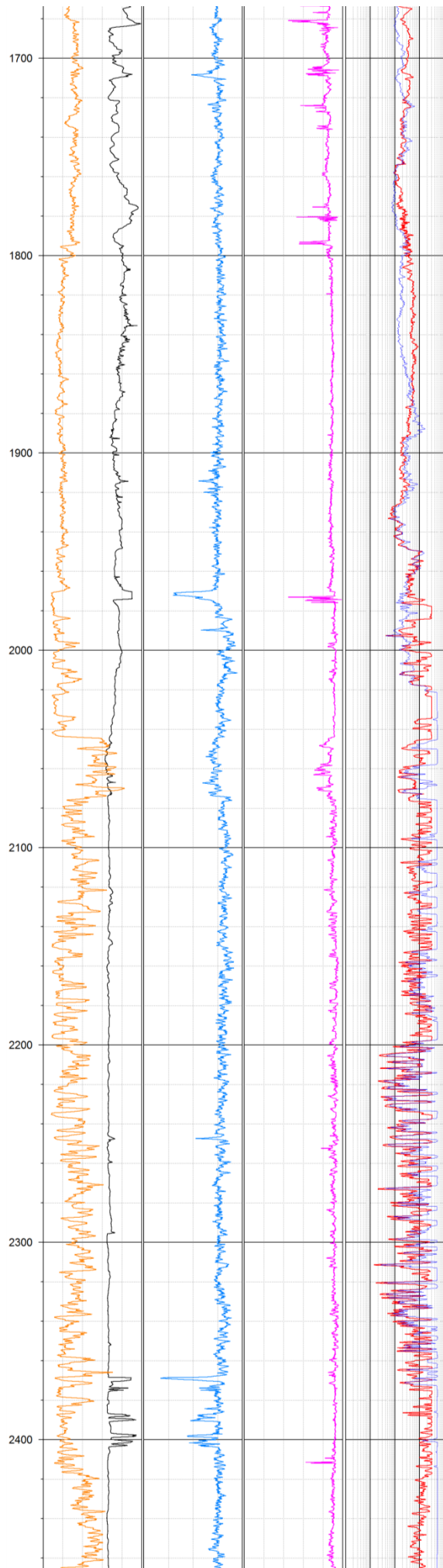


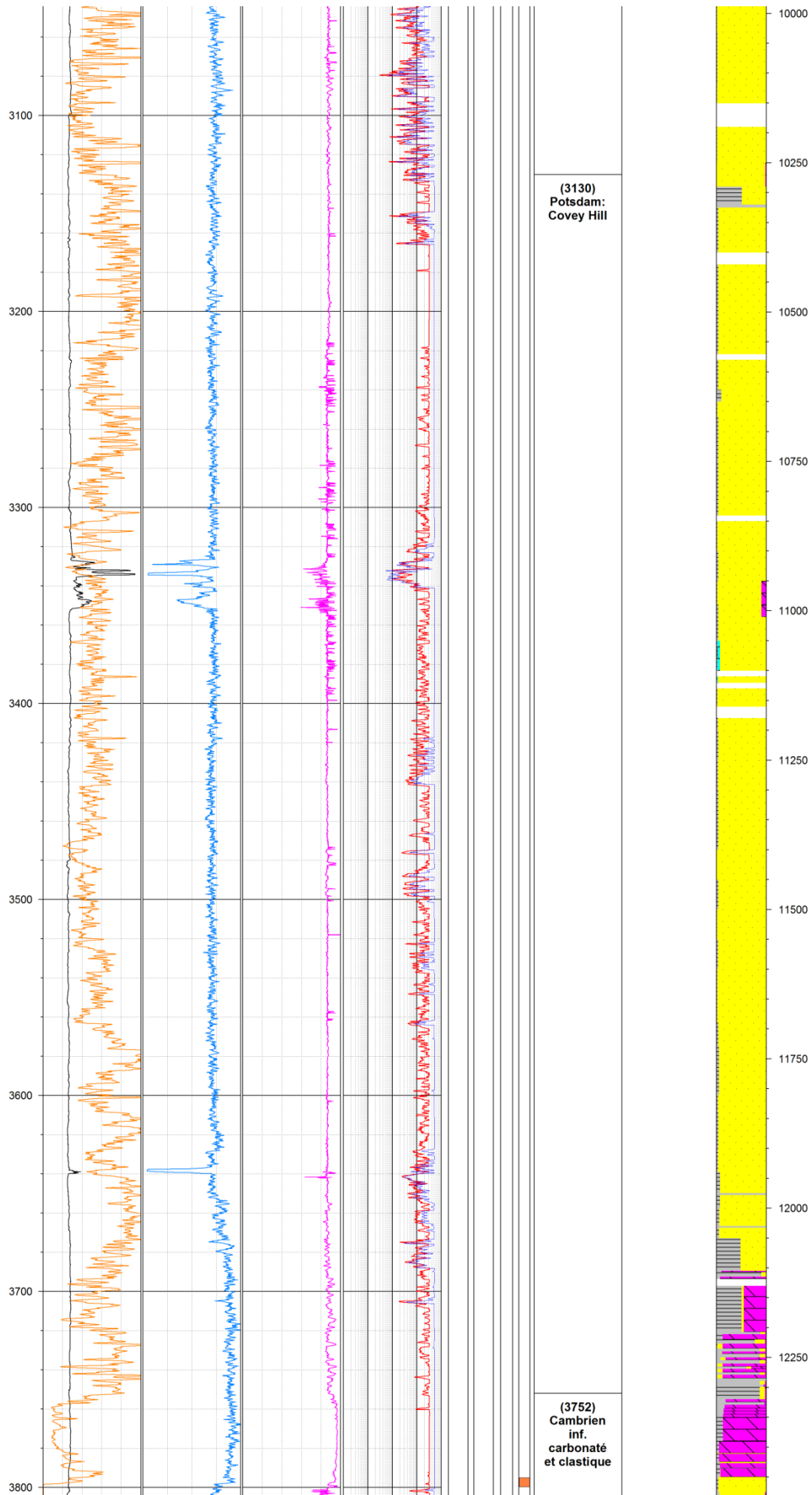


A166 - Shell, Saint-Armand ouest No 1

Profondeur totale : 3804,8 m
Élévation du KB / sol (p/mer) : 42,7 / 38,1 m
Année de forage : 1972





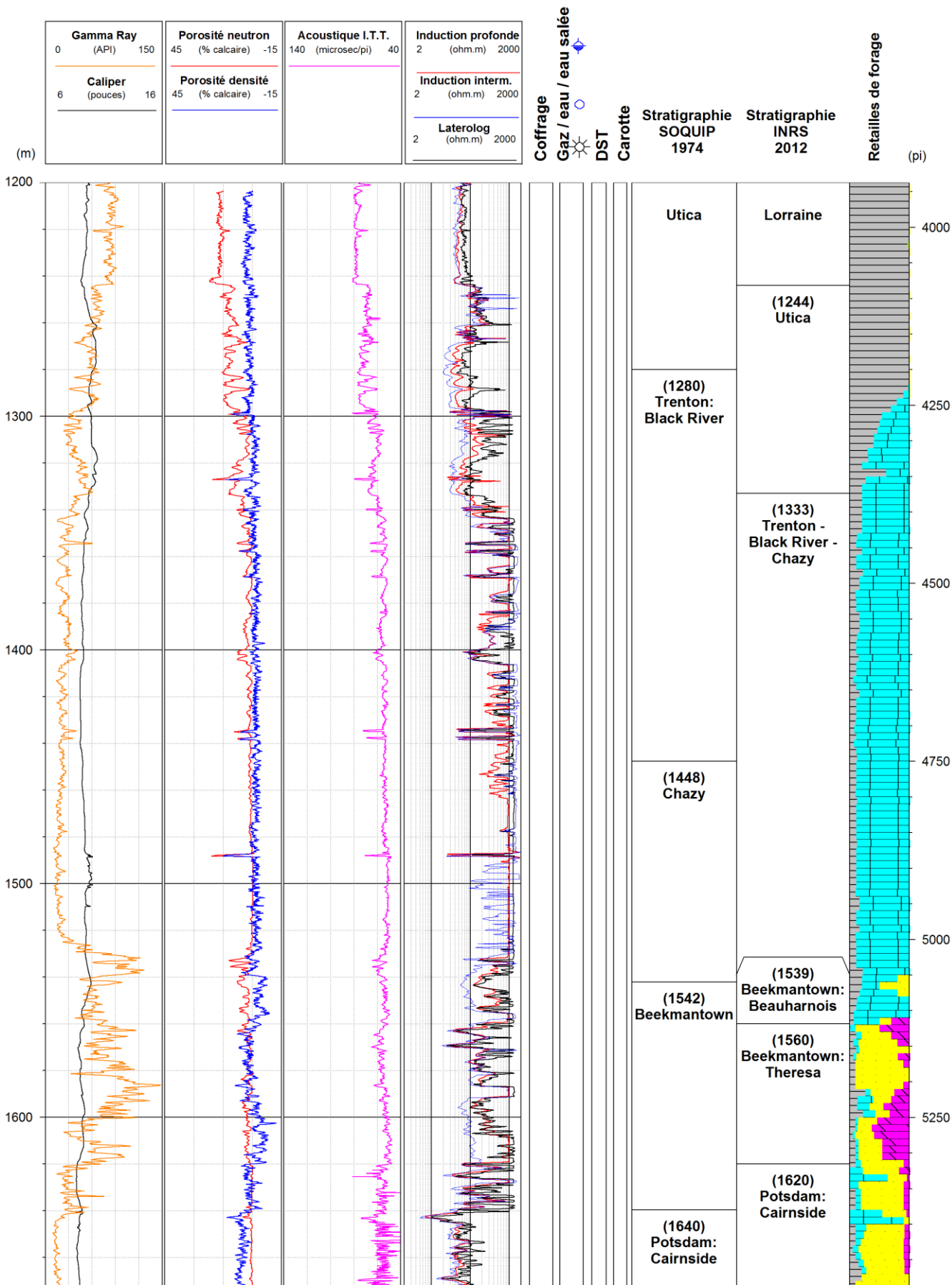


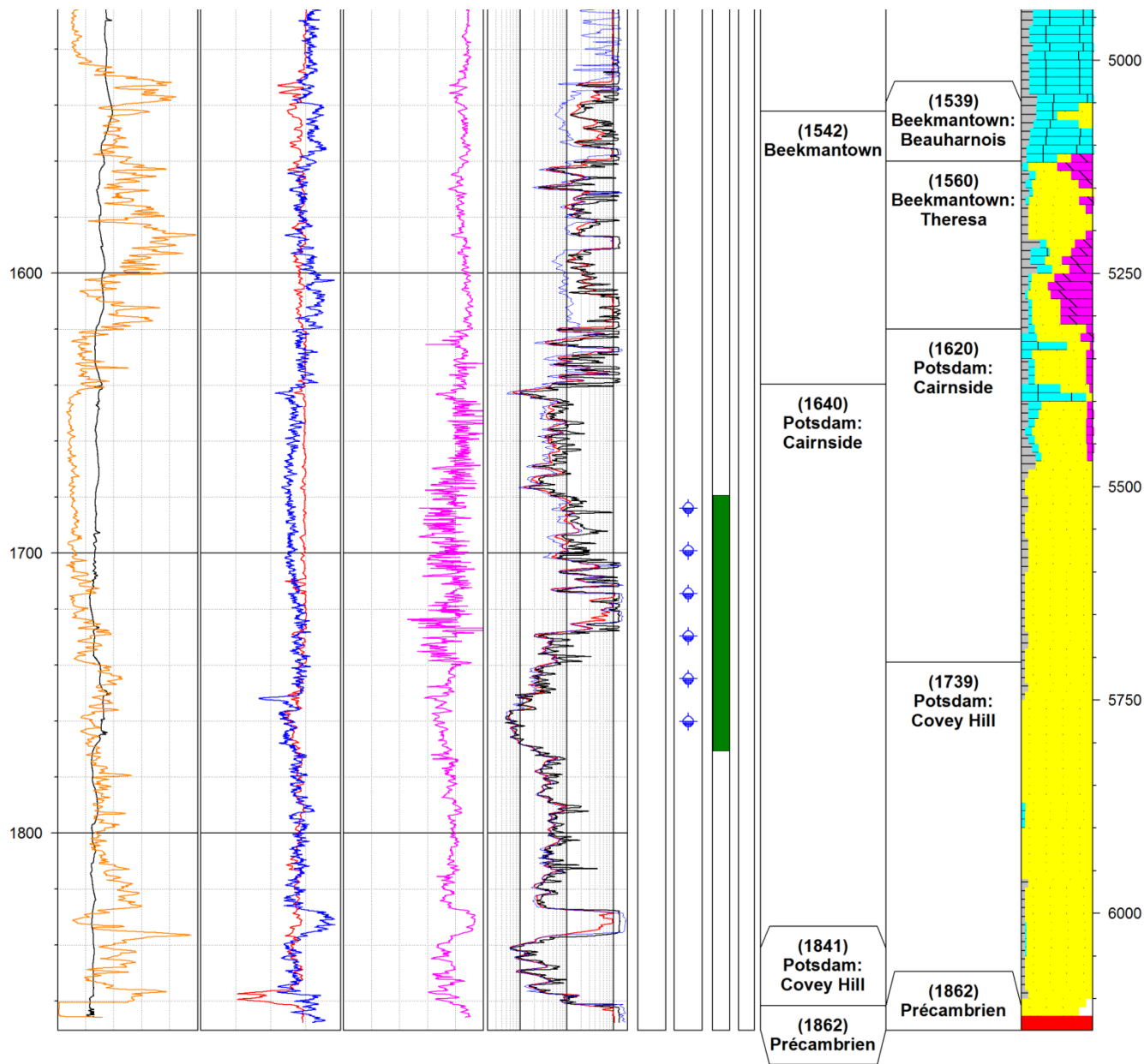
A167 - SOQUIP Shell, Sainte-Croix No 1

Profondeur totale : 1870,6 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 74,7 / 68,6 m

Année de forage : 1973



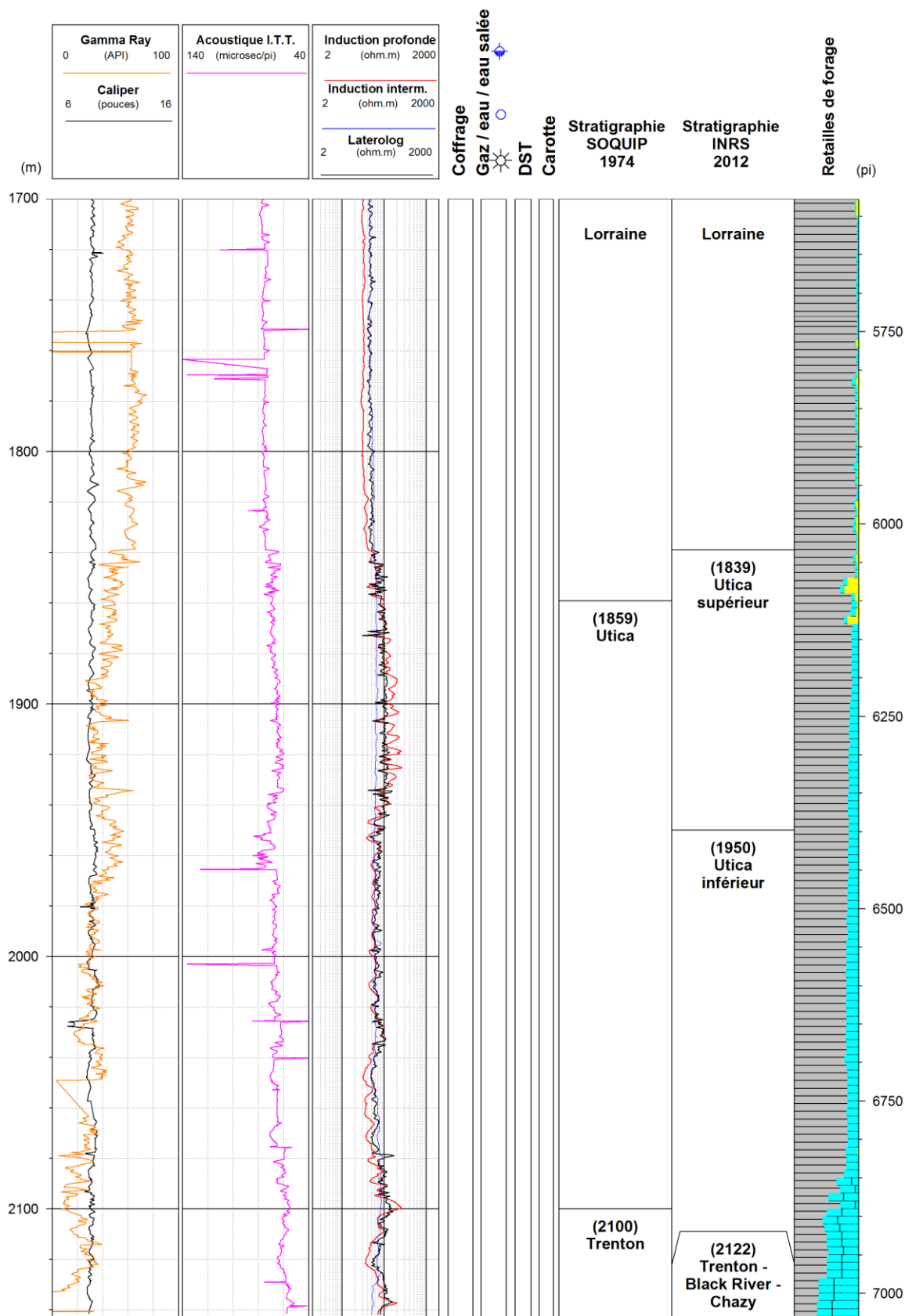


A168 - SOQUIP Shell, Villeroy No 1

Profondeur totale : 2144,3 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 103,0 / 97,8 m

Année de forage : 1973

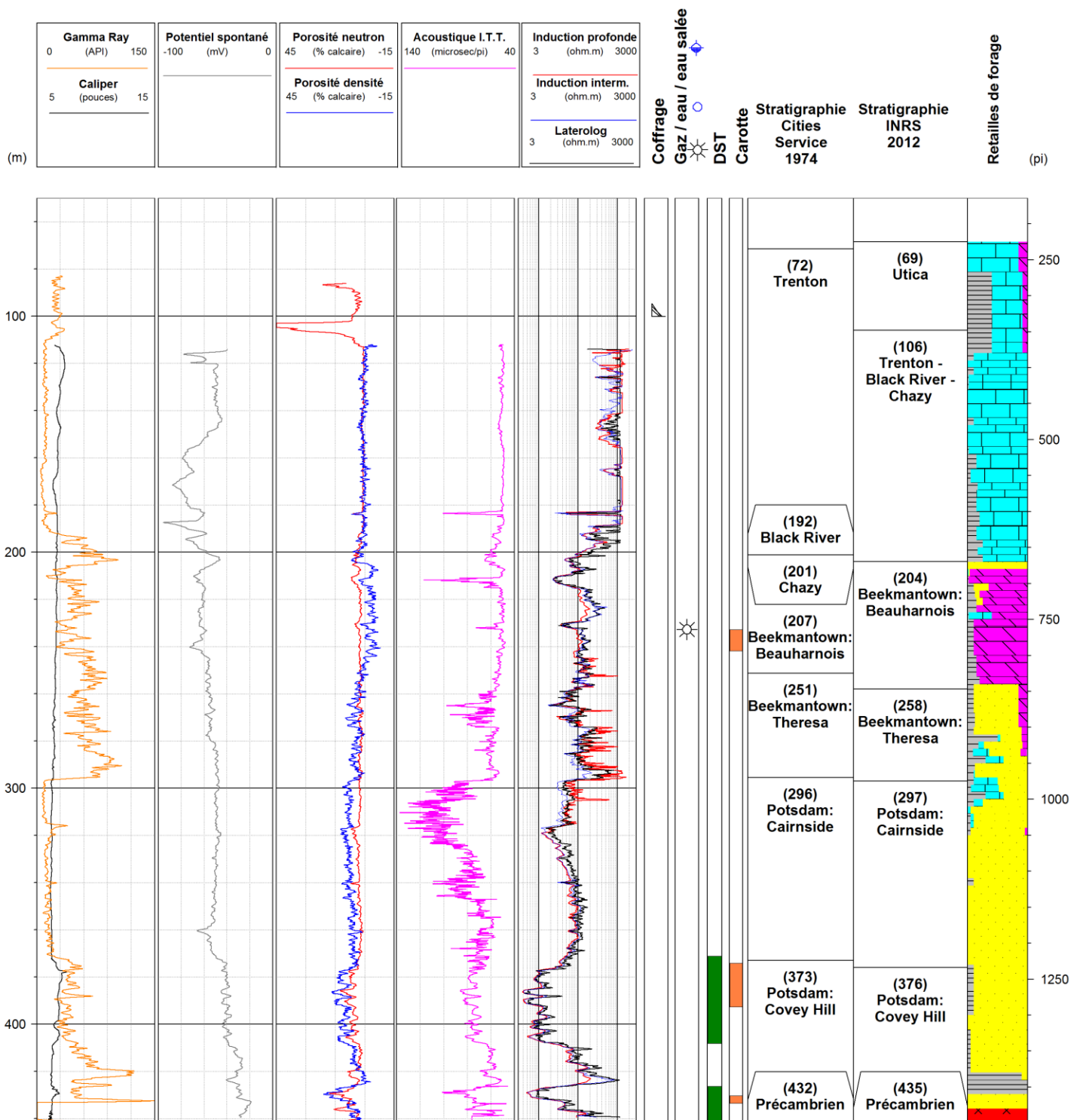


A170 - C.S. SOQUIP, Yamachiche No 1

Profondeur totale : 441,4 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 11,3 / 7,3 m

Année de forage : 1974

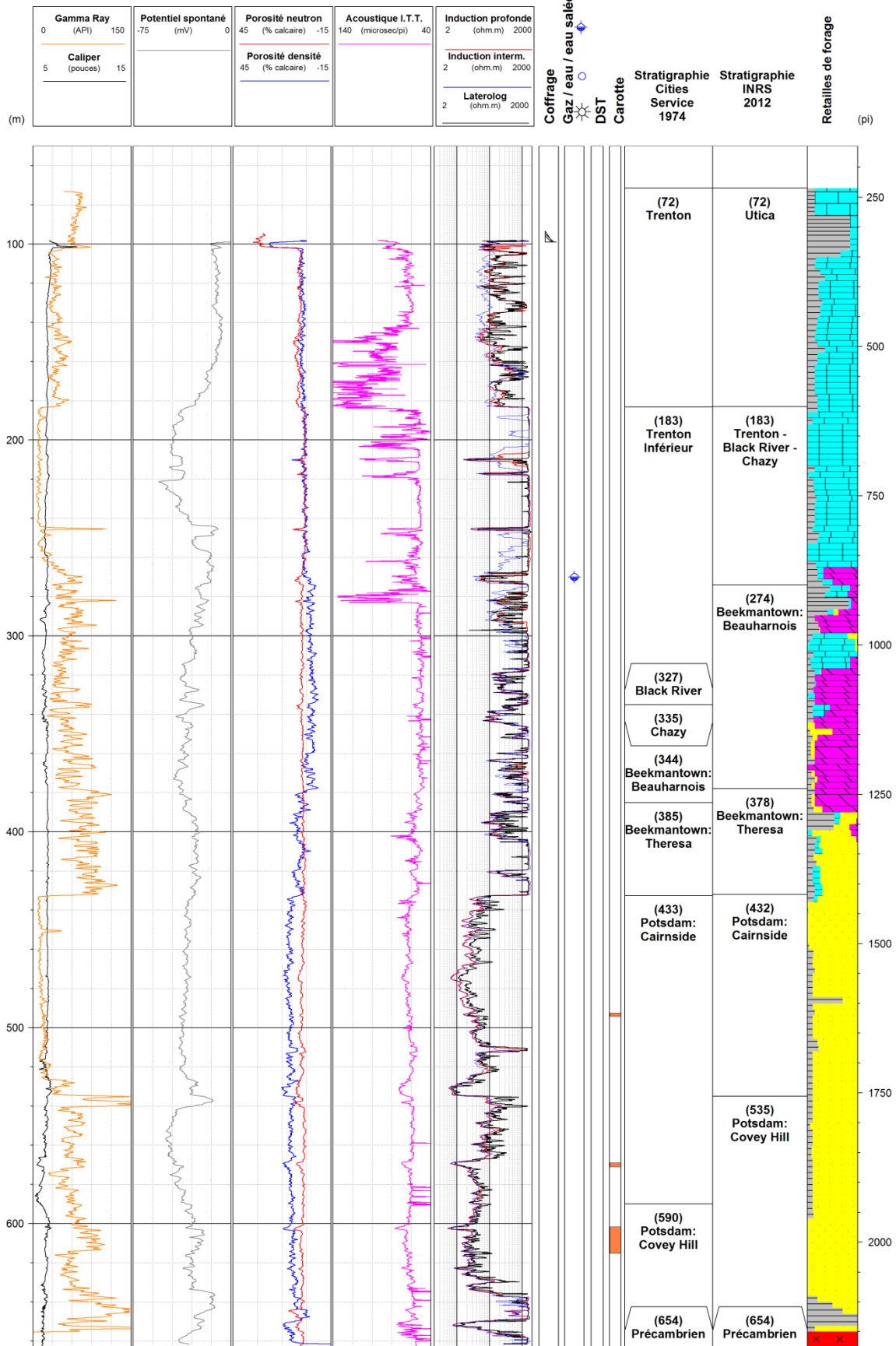


A172 - C.S. SOQUIP S.W., Maskinongé No 1

Profondeur totale : 663,6 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 9,4 / 6,1 m

Année de forage : 1974

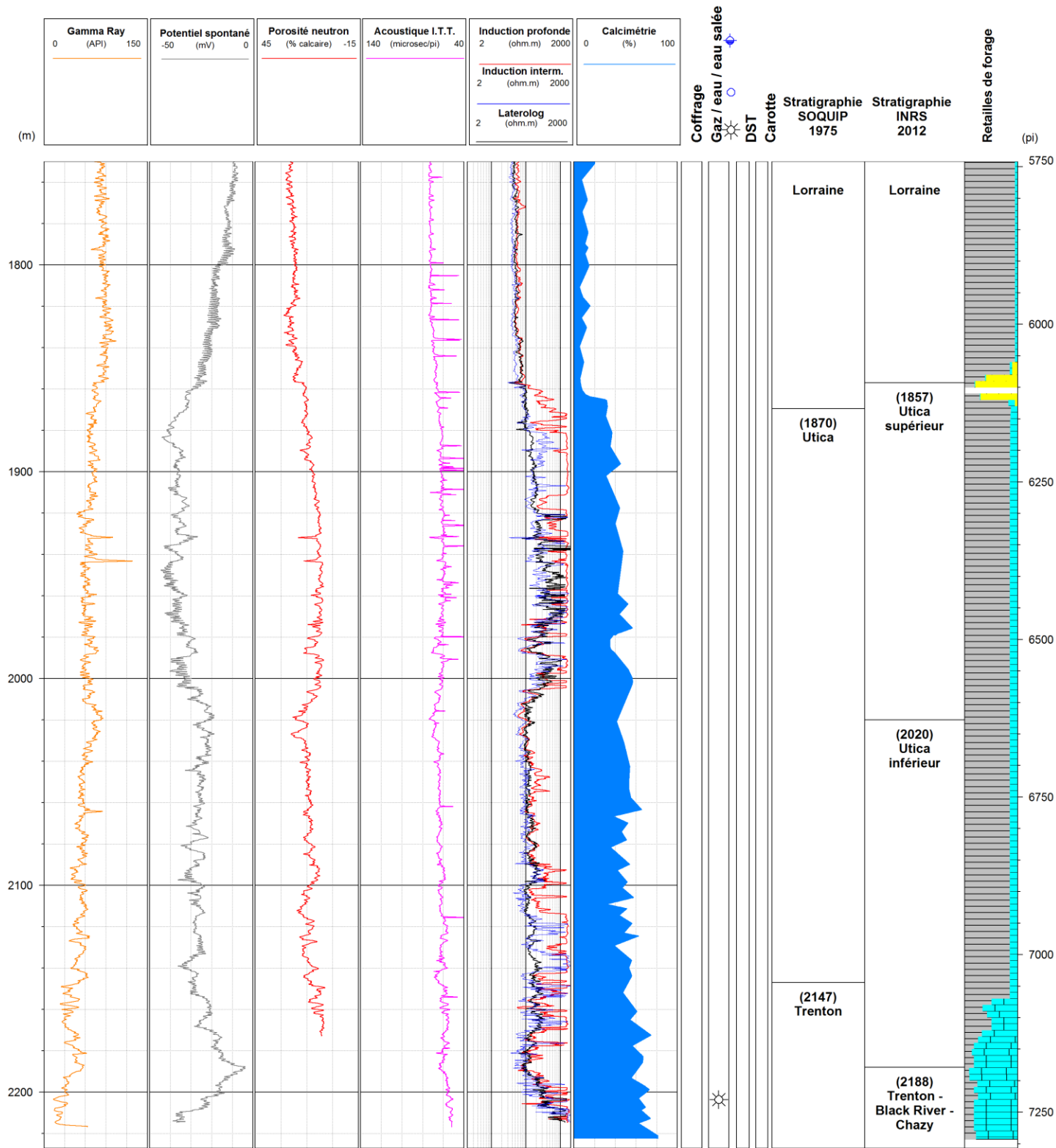


A173 - SOQUIP et al., Villeroy No 2

Profondeur totale : 2227,2 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 100,5 / 96,2 m

Année de forage : 1974

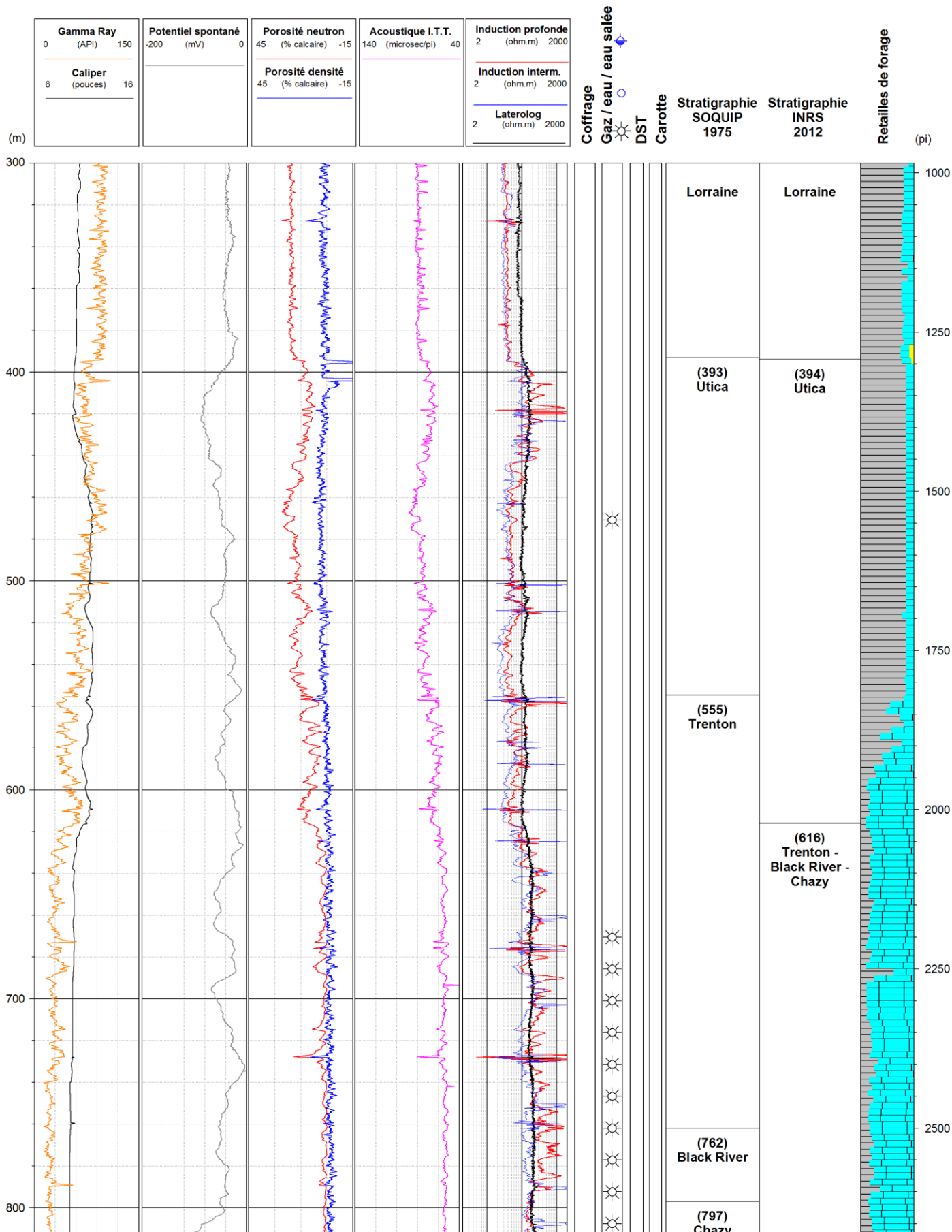


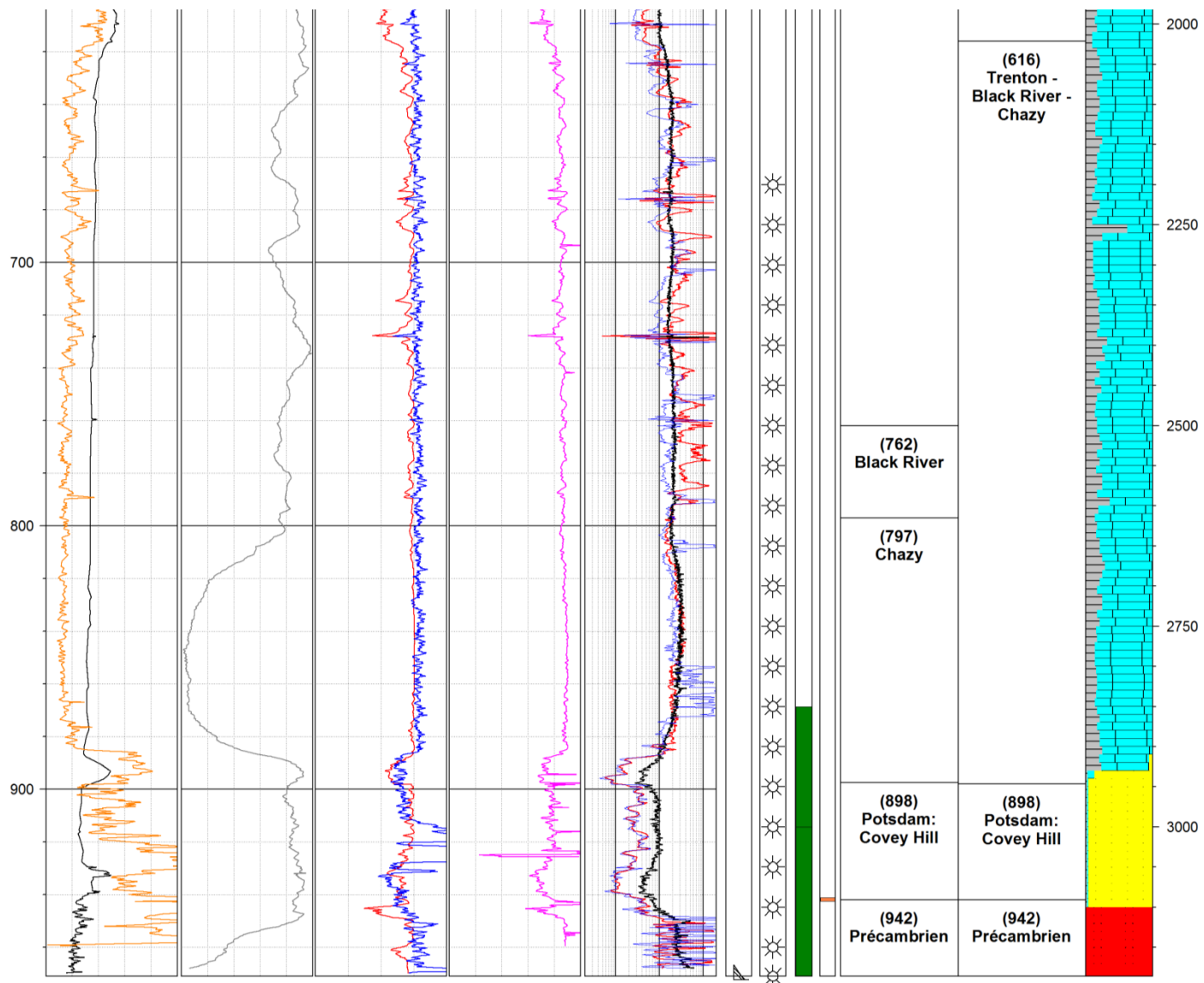
A175 - SOQUIP et al., Les Saules No 1

Profondeur totale : 971,1 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 52,7 / 48,2 m

Année de forage : 1975



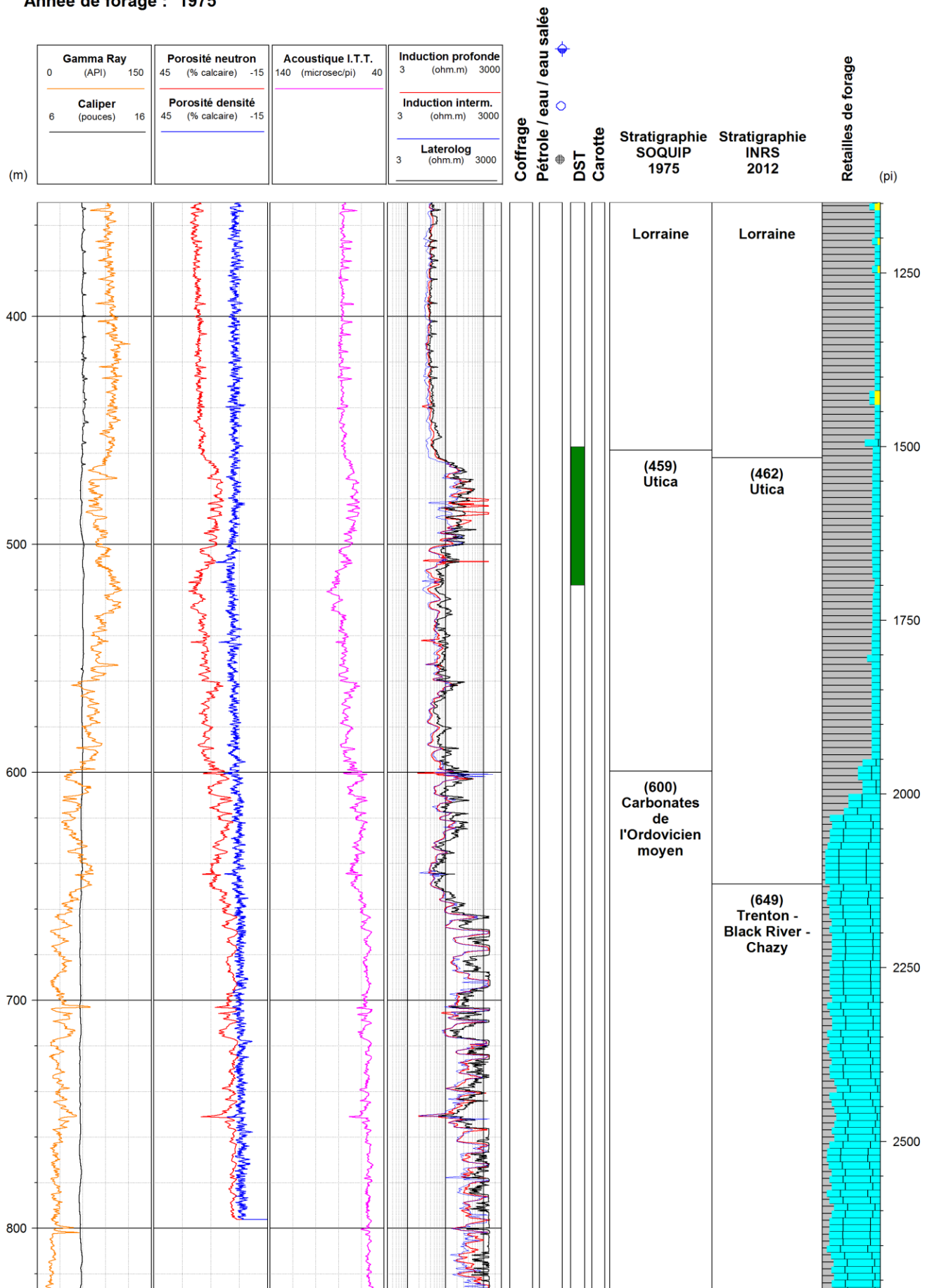


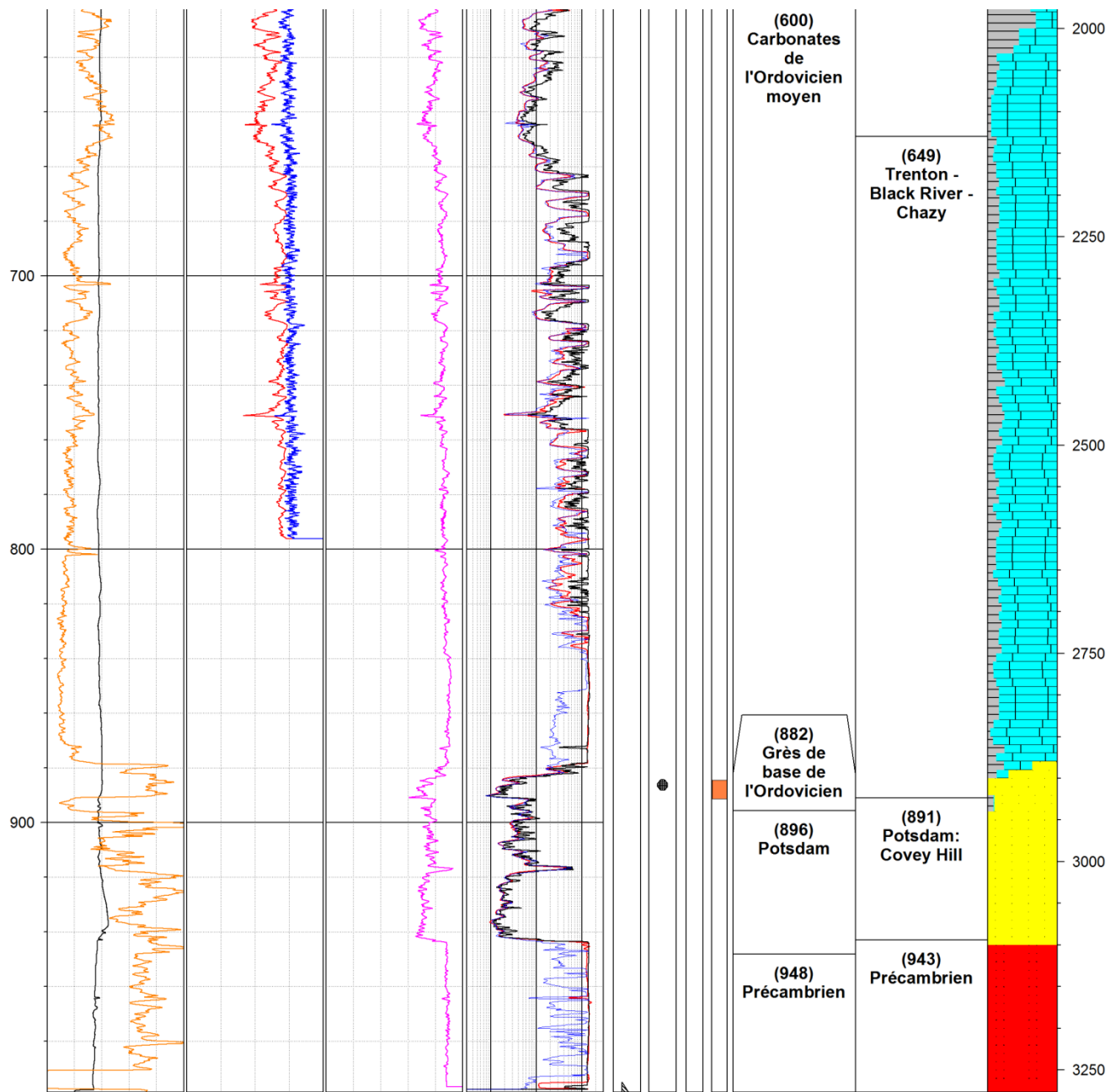
A176 - SOQUIP et al., Ancienne Lorette No 1

Profondeur totale : 998,3 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 75,9 / 71,3 m

Année de forage : 1975



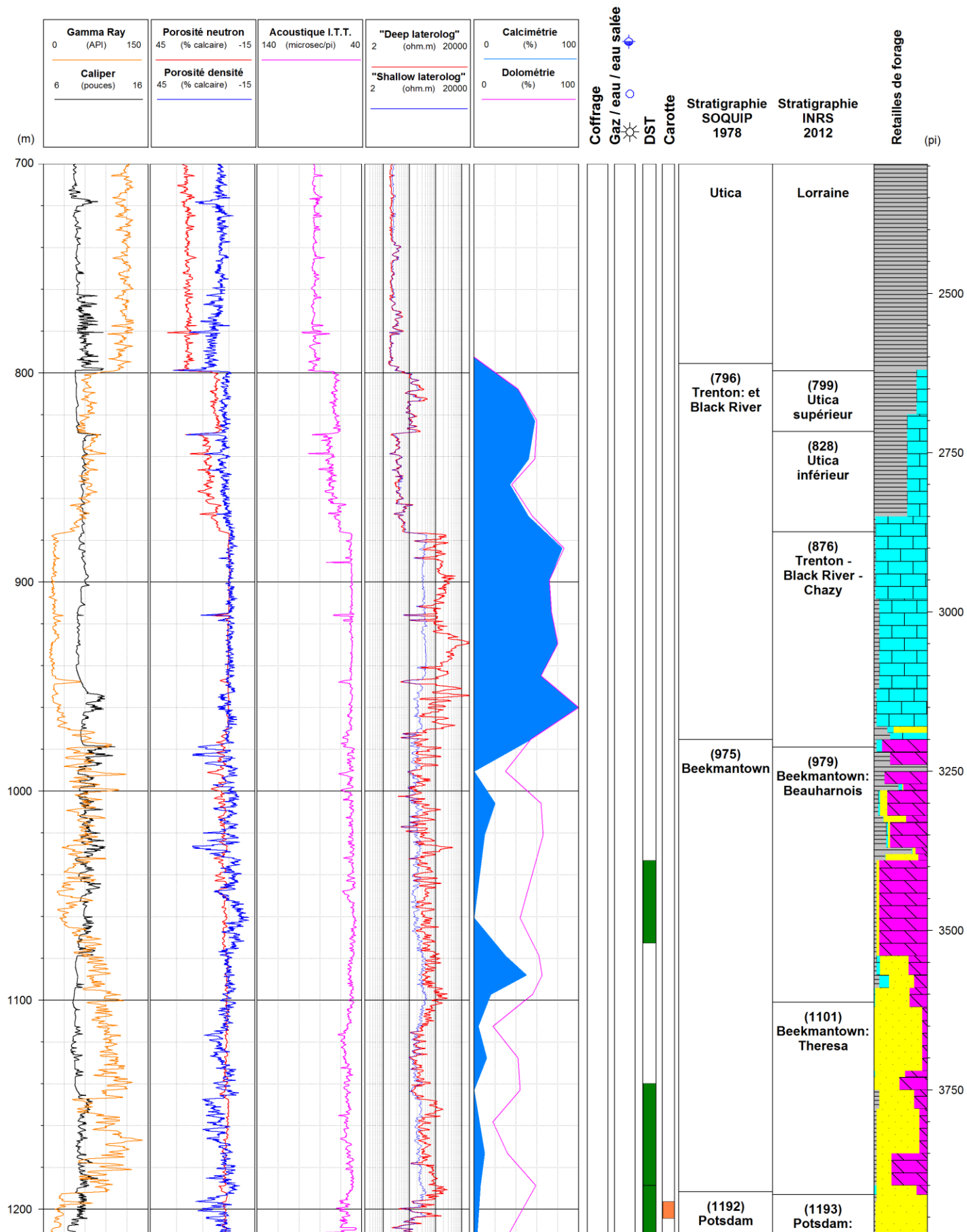


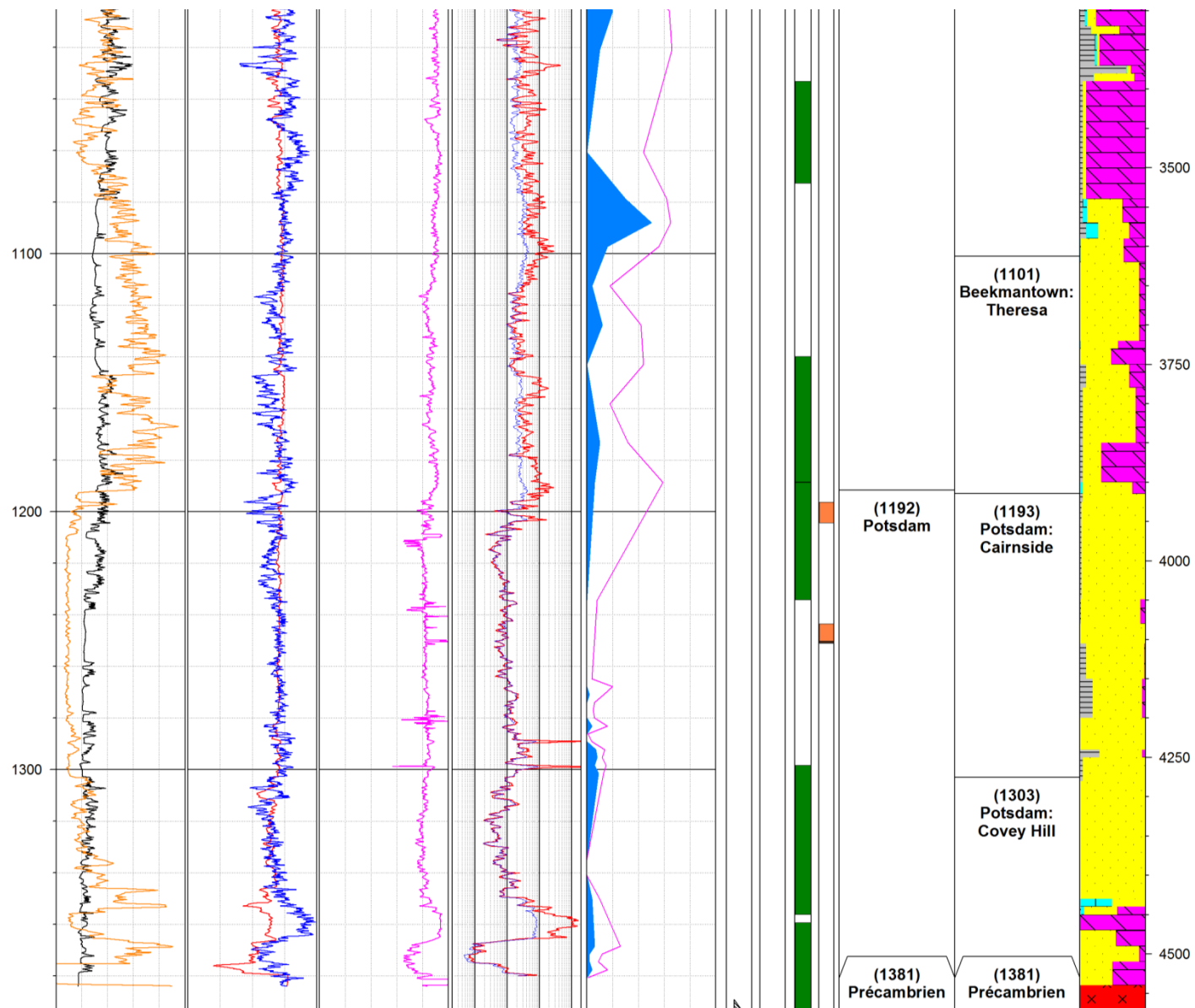
A186 - SOQUIP, Nicolet No 1

Profondeur totale : 1393,6 m

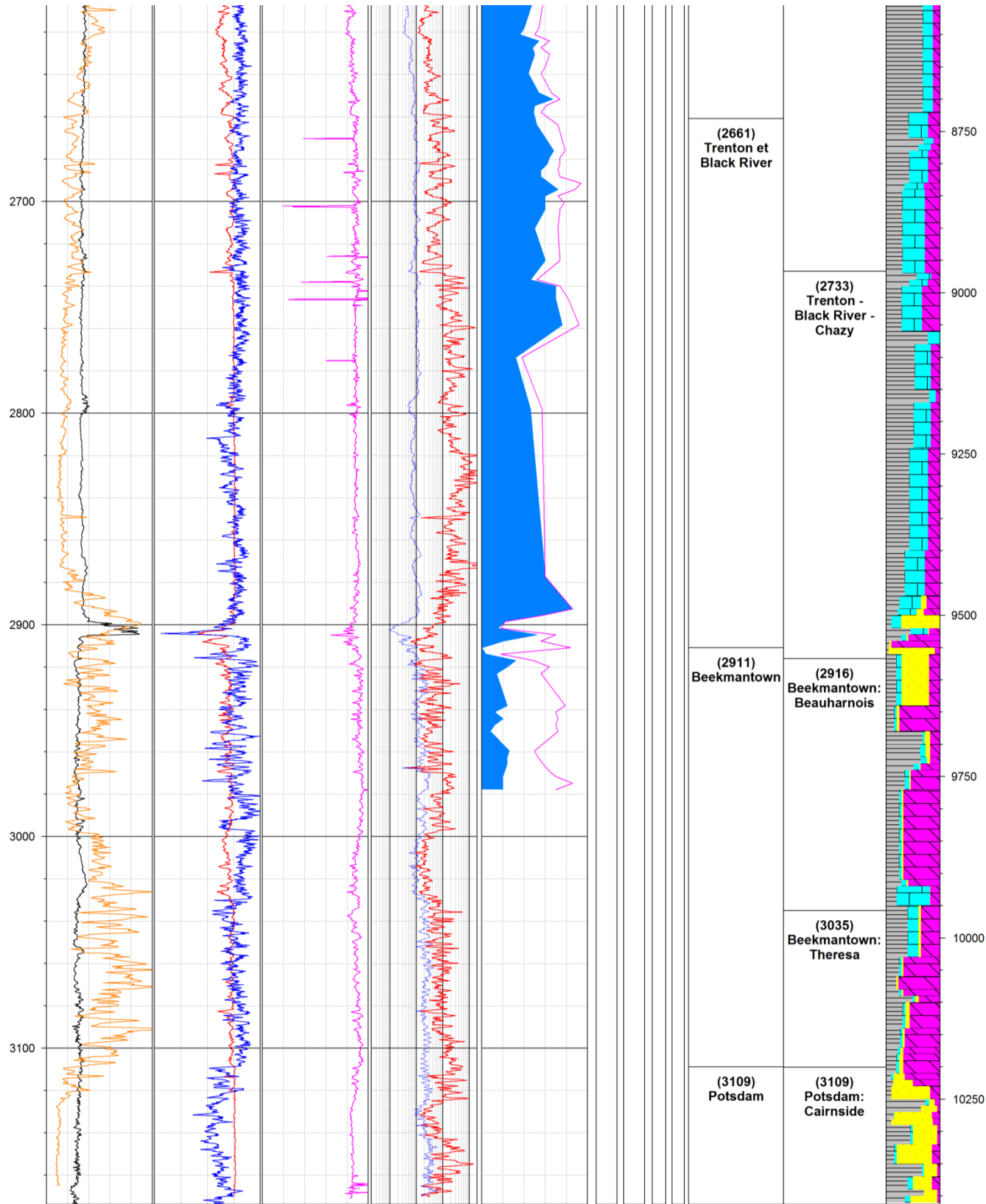
Élévation du KB / sol (p/mer) : 29,3 / 24,4 m

Année de forage : 1977





The figure displays a geological cross-section of the Lorraine area, oriented North-South. The vertical axis represents depth in meters (m), ranging from 2200 to 2700. The horizontal axis represents distance in kilometers (km), ranging from 0 to 10. The cross-section shows several geological units, including the Lorraine, Utica, and Trenton formations. The Lorraine formation is shown in the upper part of the section, with a thickness of approximately 100 meters. The Utica formation is shown in the middle part, with a thickness of approximately 100 meters. The Trenton formation is shown in the lower part, with a thickness of approximately 100 meters. The cross-section also includes a depth profile (m) and a stratigraphic column (m) on the right side, which shows the relative positions of the Lorraine, Utica, and Trenton formations. The stratigraphic column is color-coded: Lorraine is yellow, Utica is orange, and Trenton is green. The depth profile is a line graph showing the depth of the Lorraine, Utica, and Trenton formations. The Lorraine formation is shown in yellow, the Utica formation in orange, and the Trenton formation in green. The depth profile shows that the Lorraine formation is approximately 100 meters thick, the Utica formation is approximately 100 meters thick, and the Trenton formation is approximately 100 meters thick. The cross-section also includes a legend on the right side, which identifies the geological units and their colors. The legend shows that the Lorraine formation is yellow, the Utica formation is orange, and the Trenton formation is green. The cross-section also includes a title 'Lorraine' at the top left and a scale bar at the bottom left.

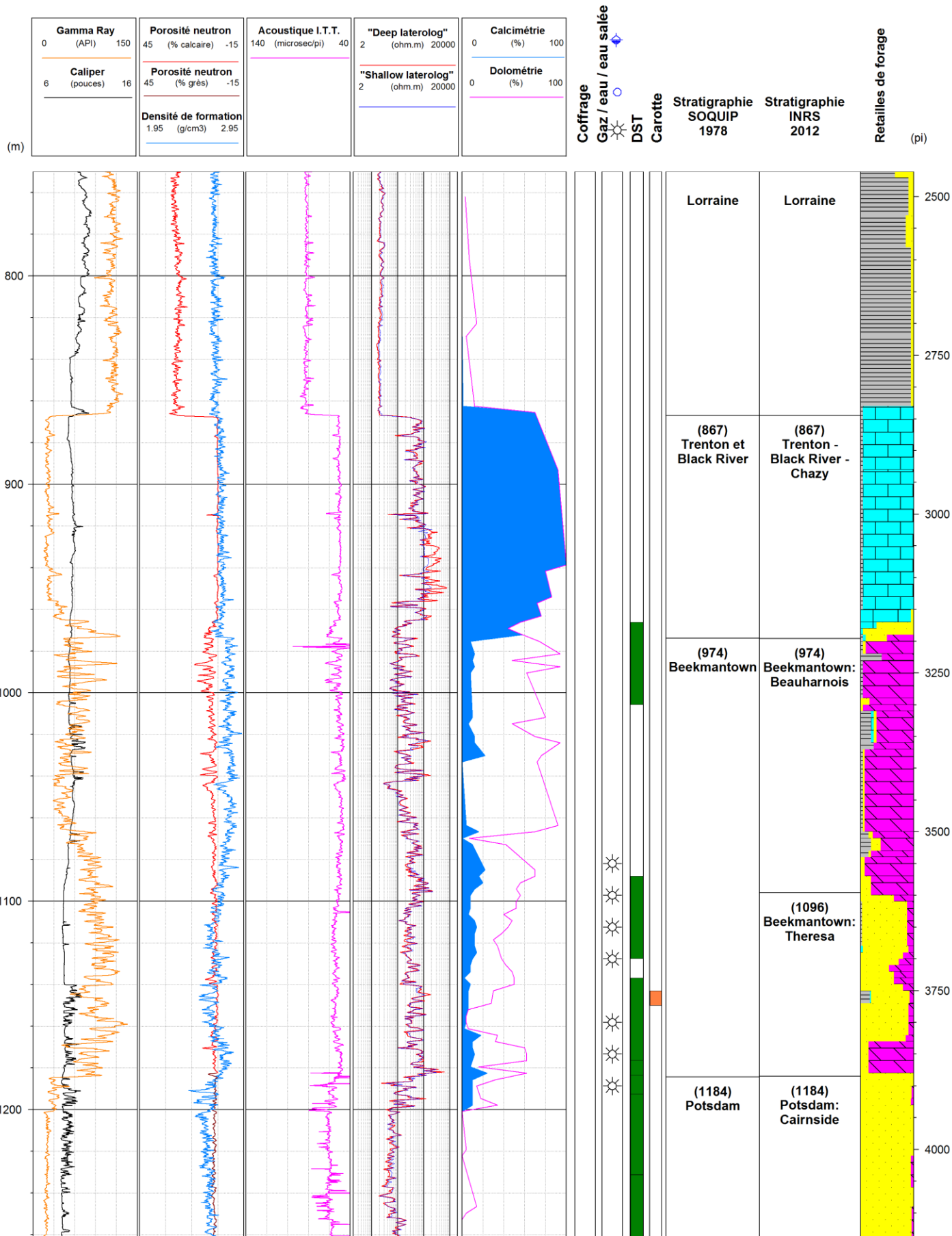


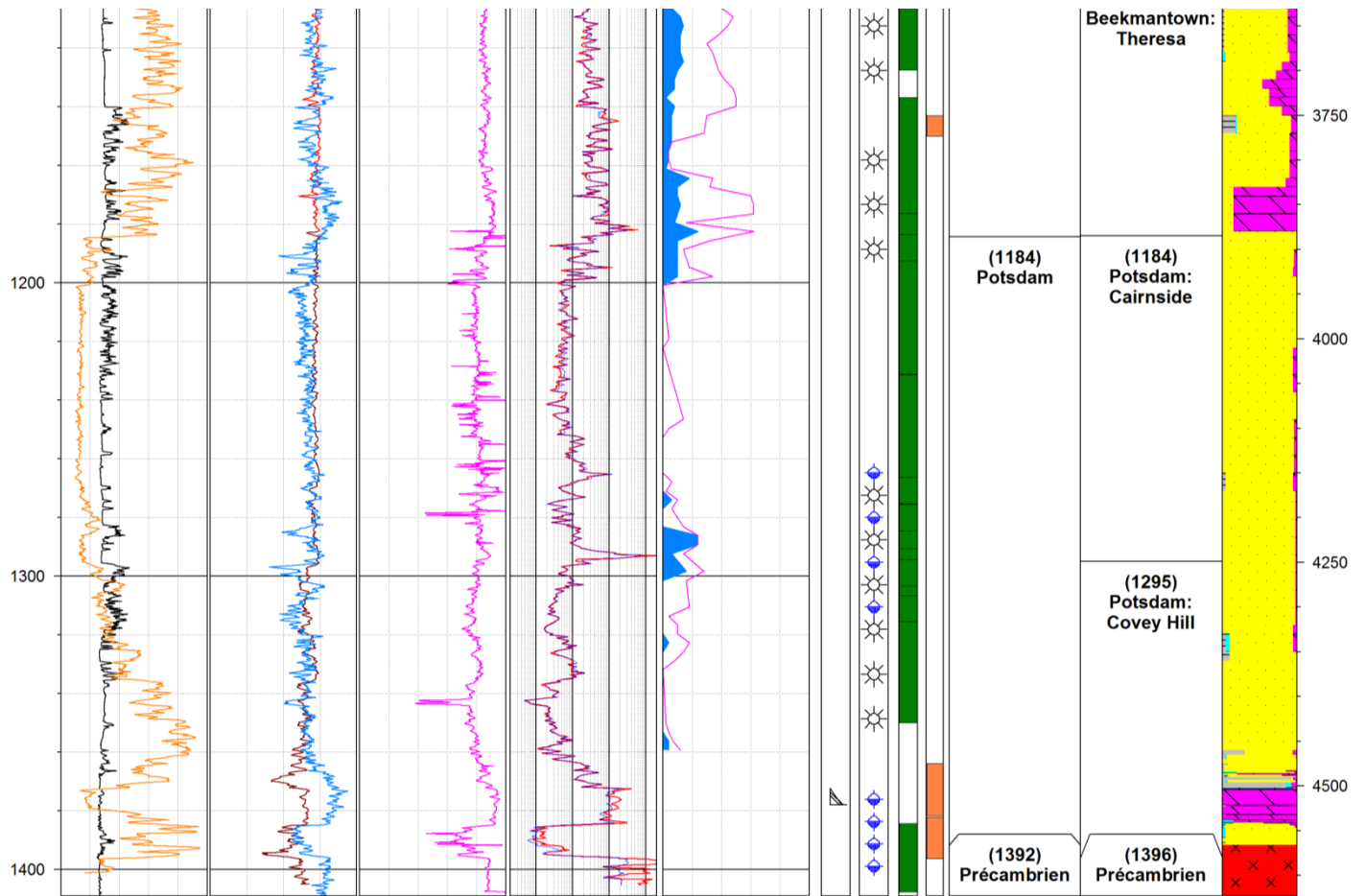
A188 - SOQUIP, Nicolet No 2

Profondeur totale : 1409,1 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 30,2 / 25,3 m

Année de forage : 1978



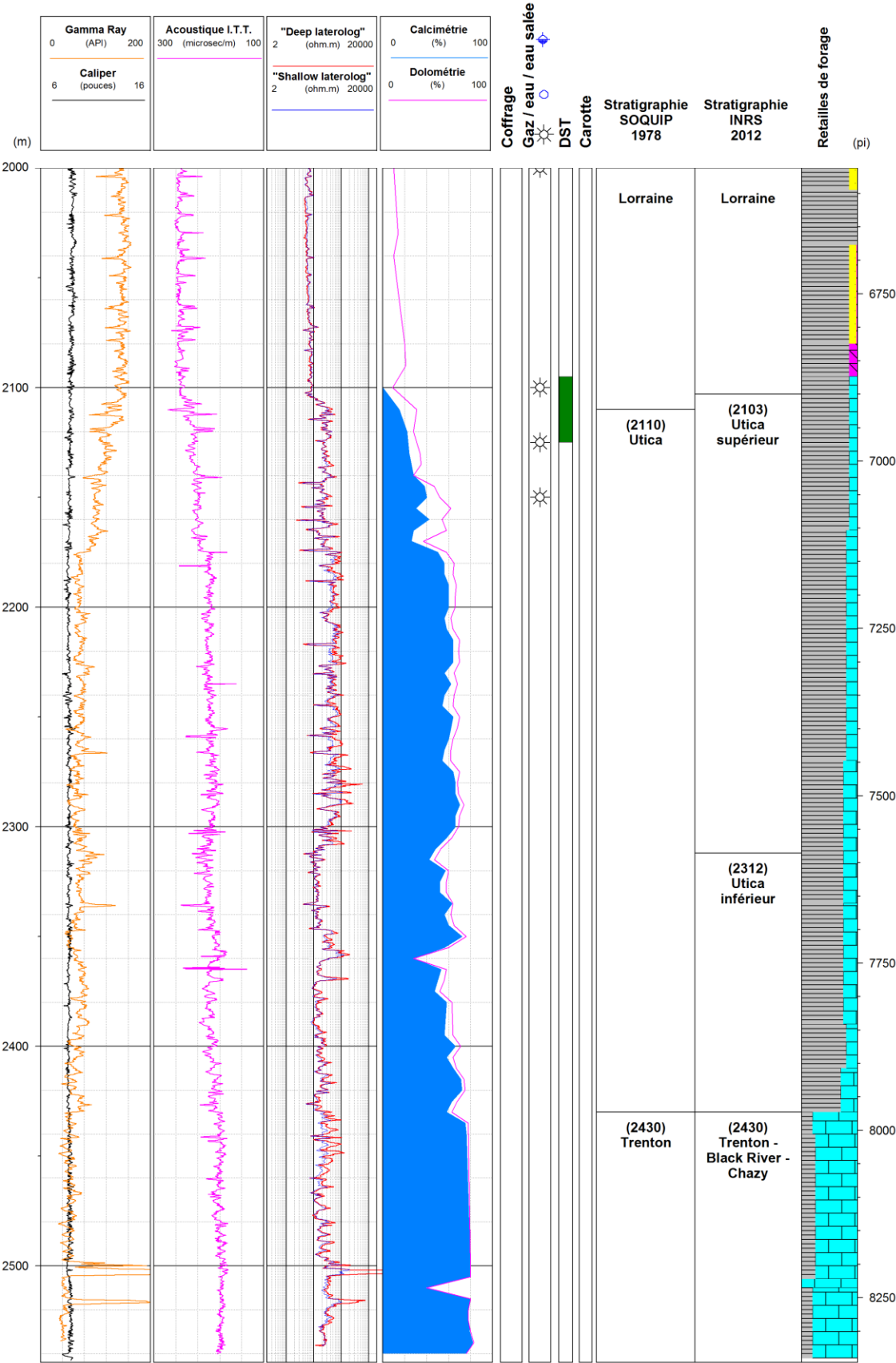


A189 - SOQUIP, Saint-Thomas-d'Aquin No 1

Profondeur totale : 2544,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 41,0 / 35,0 m

Année de forage : 1978

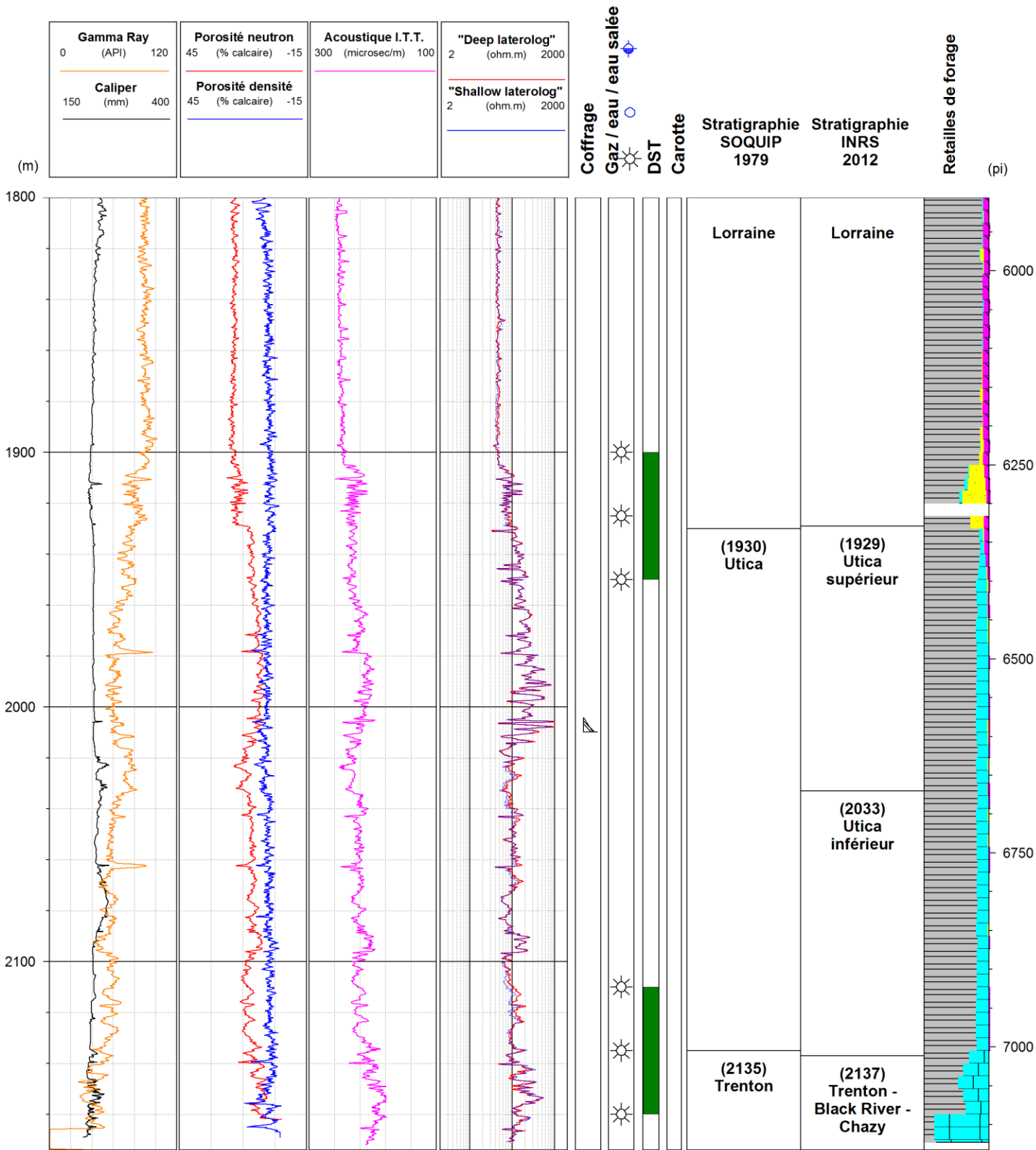


A190 - SOQUIP, Sainte-Françoise-Romaine No 1

Profondeur totale : 2174,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 111,0 / 106,0 m

Année de forage : 1978

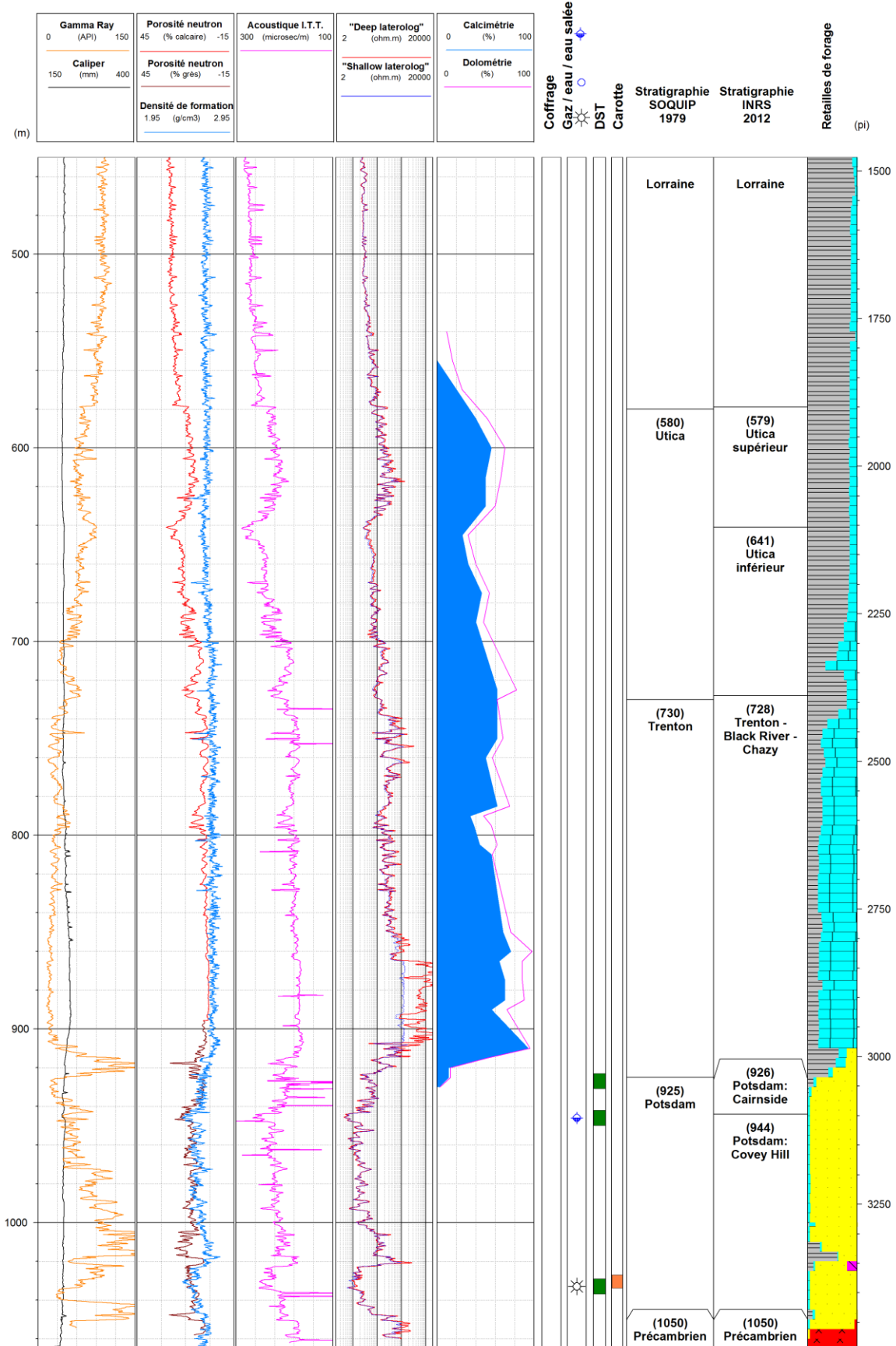


A192 - SOQUIP, Sainte-Croix No 1 Lotbinière

Profondeur totale : 1066,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 73,0 / 67,0 m

Année de forage : 1979

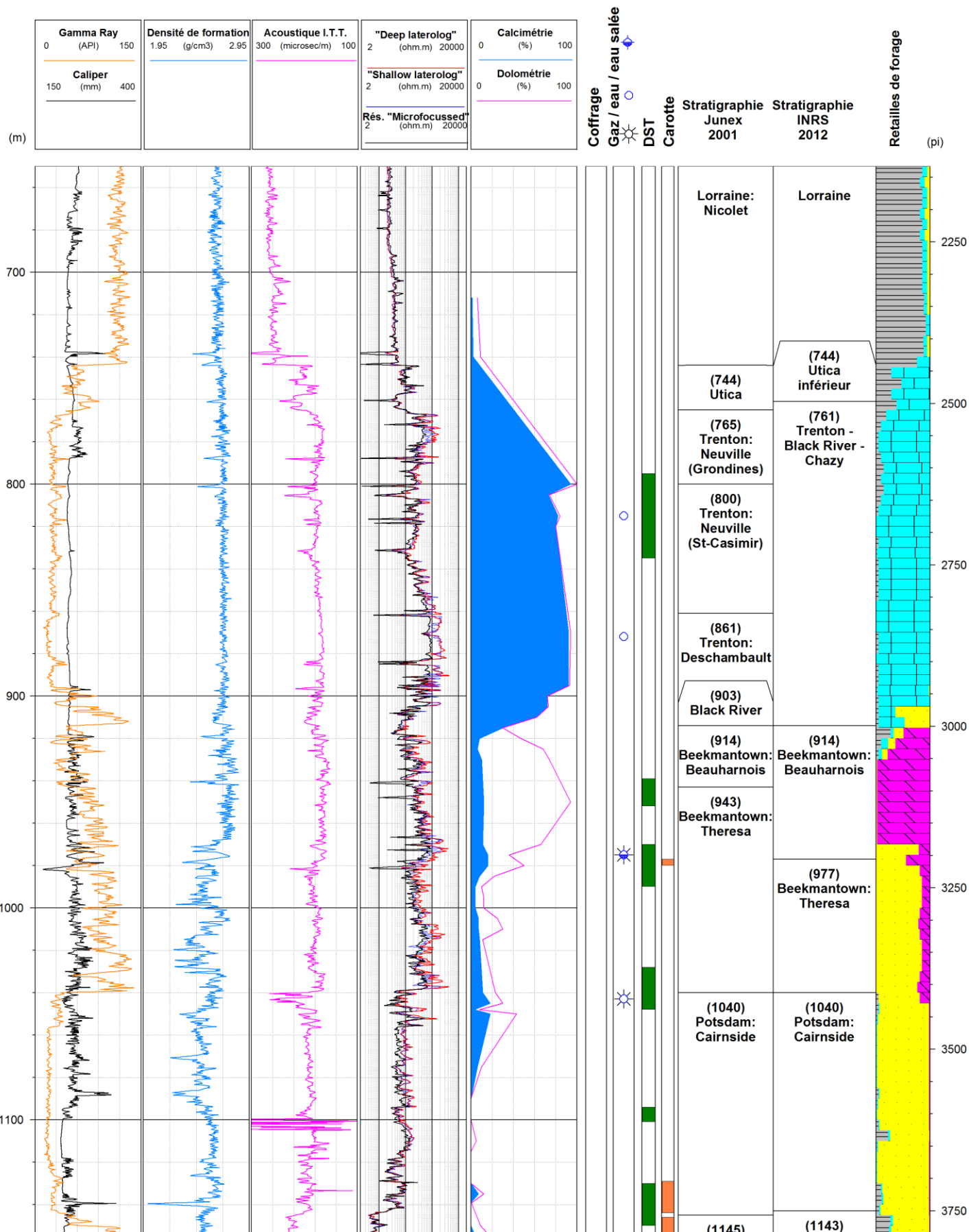


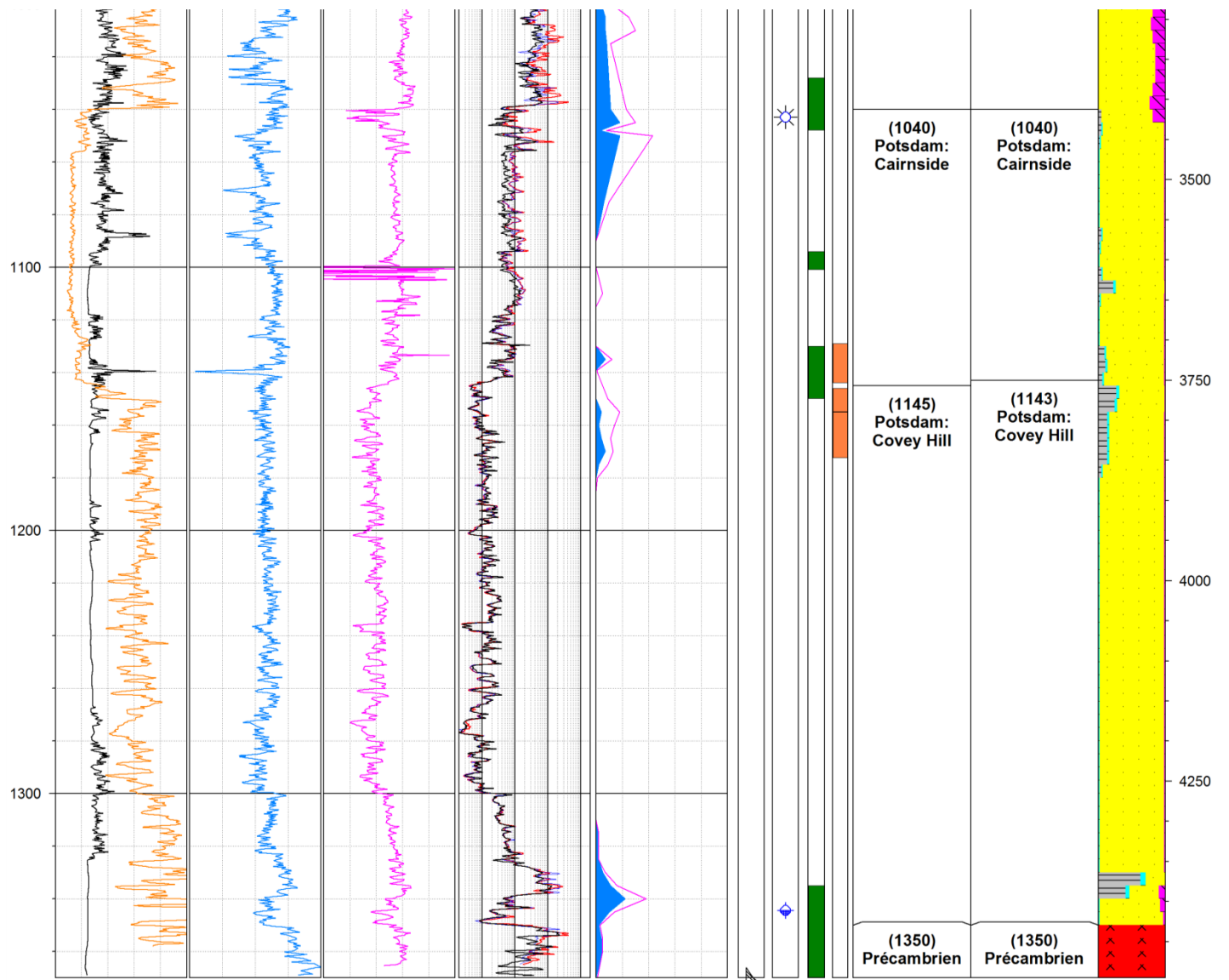
A196 et A196-R1 - SOQUIP Pétrofina, Bécancour No 1

Profondeur totale : 1370,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 10,7 / 7,5 m

Année de forage : 1980 et 1999



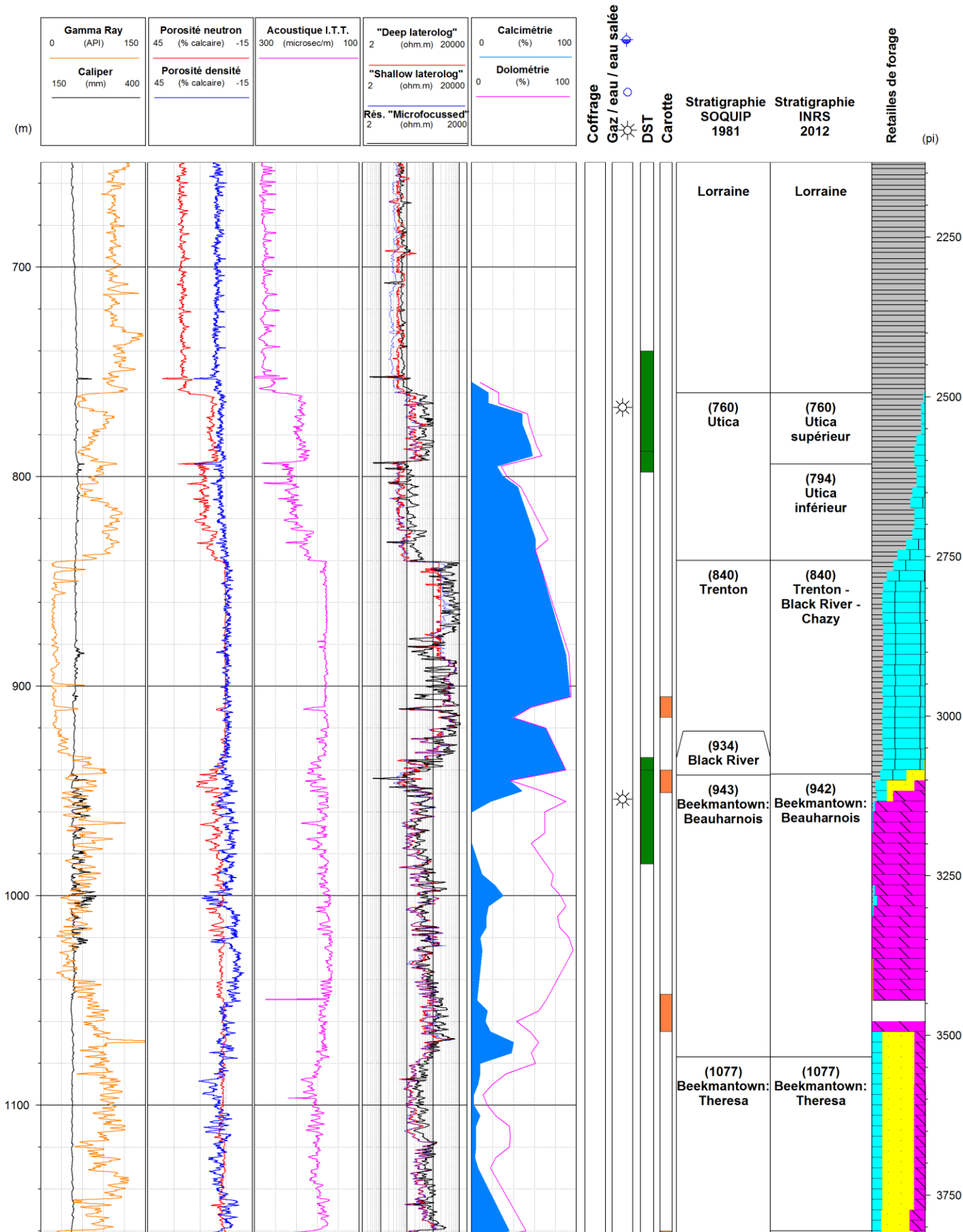


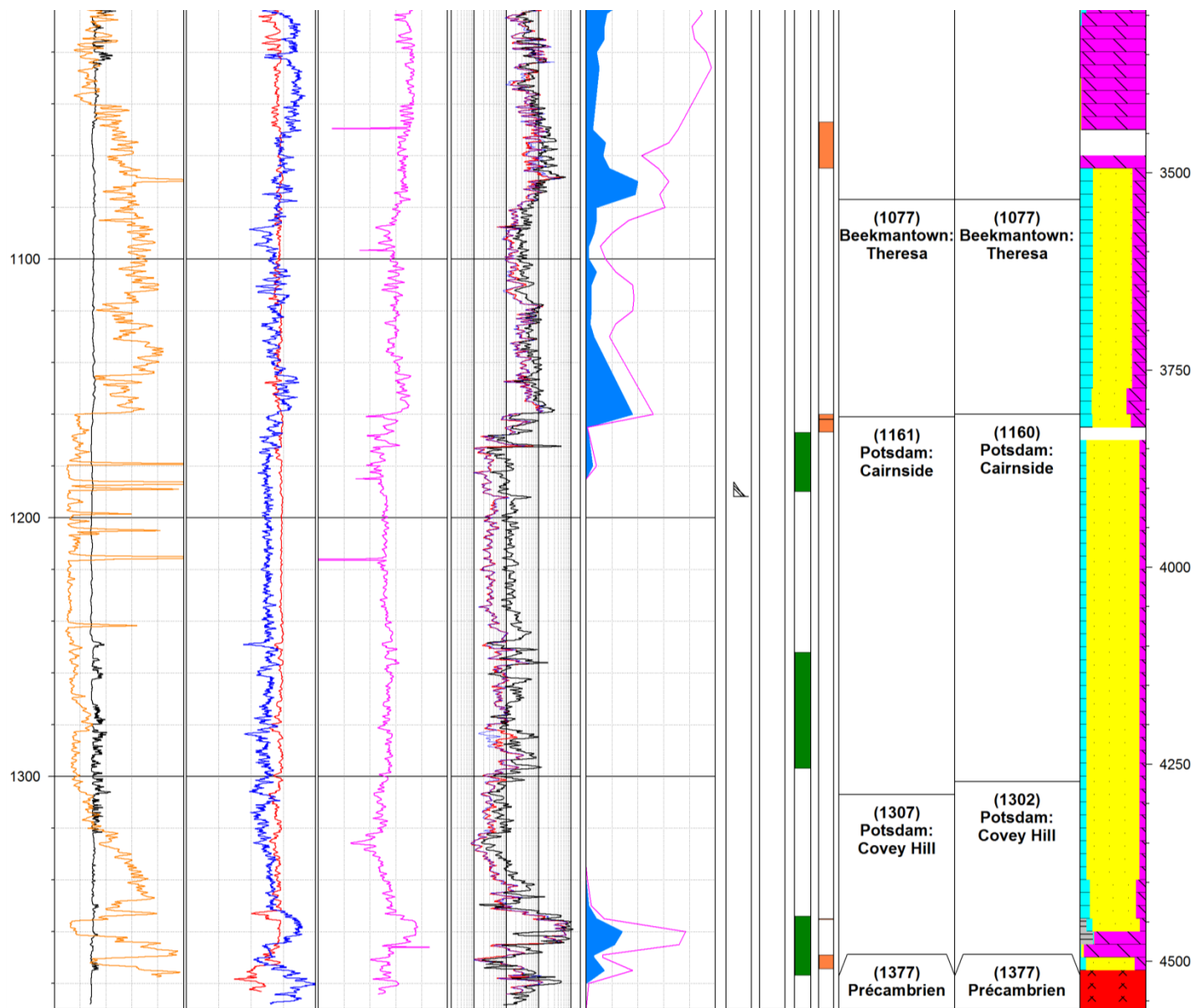
A197 - Texaco SOQUIP, Baieville No 1 Yamaska

Profondeur totale : 1390,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 10,0 / 6,0 m

Année de forage : 1980



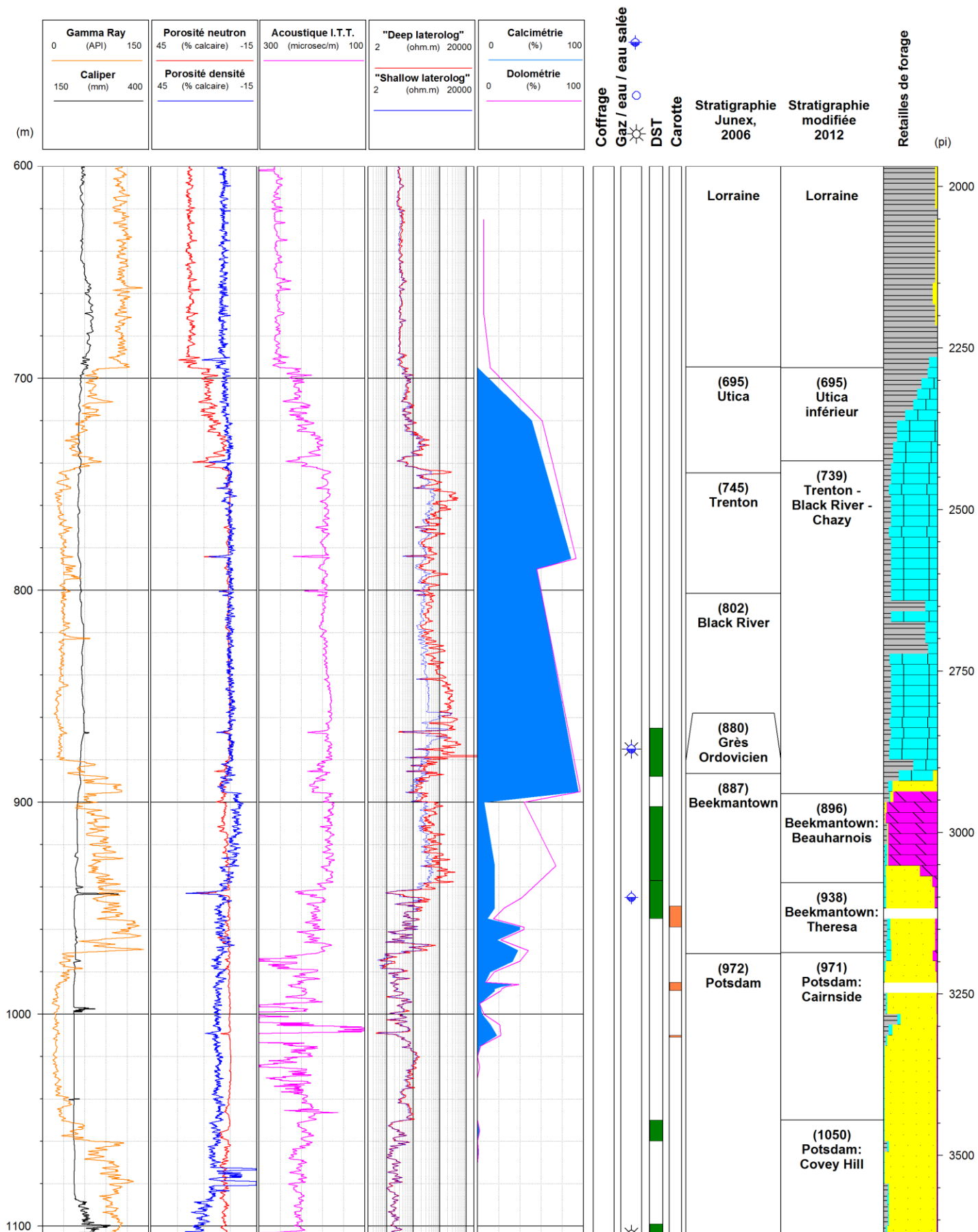


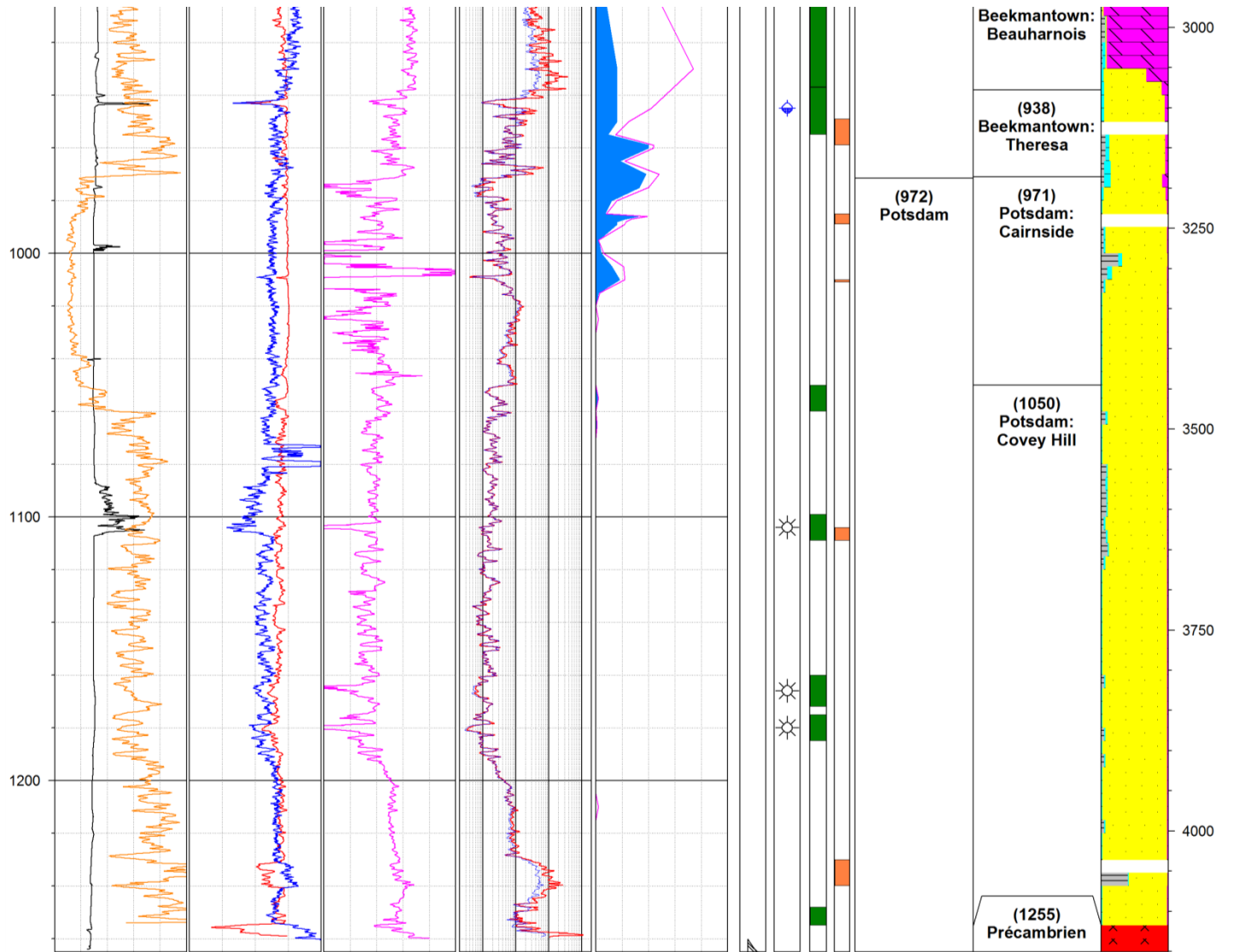
A198 et A198-R1 - SOQUIP Pétrofina, Bécancour No 2

Profondeur totale : 1265,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 11,6 / 6,3 m

Année de forage : 1981 et 1999



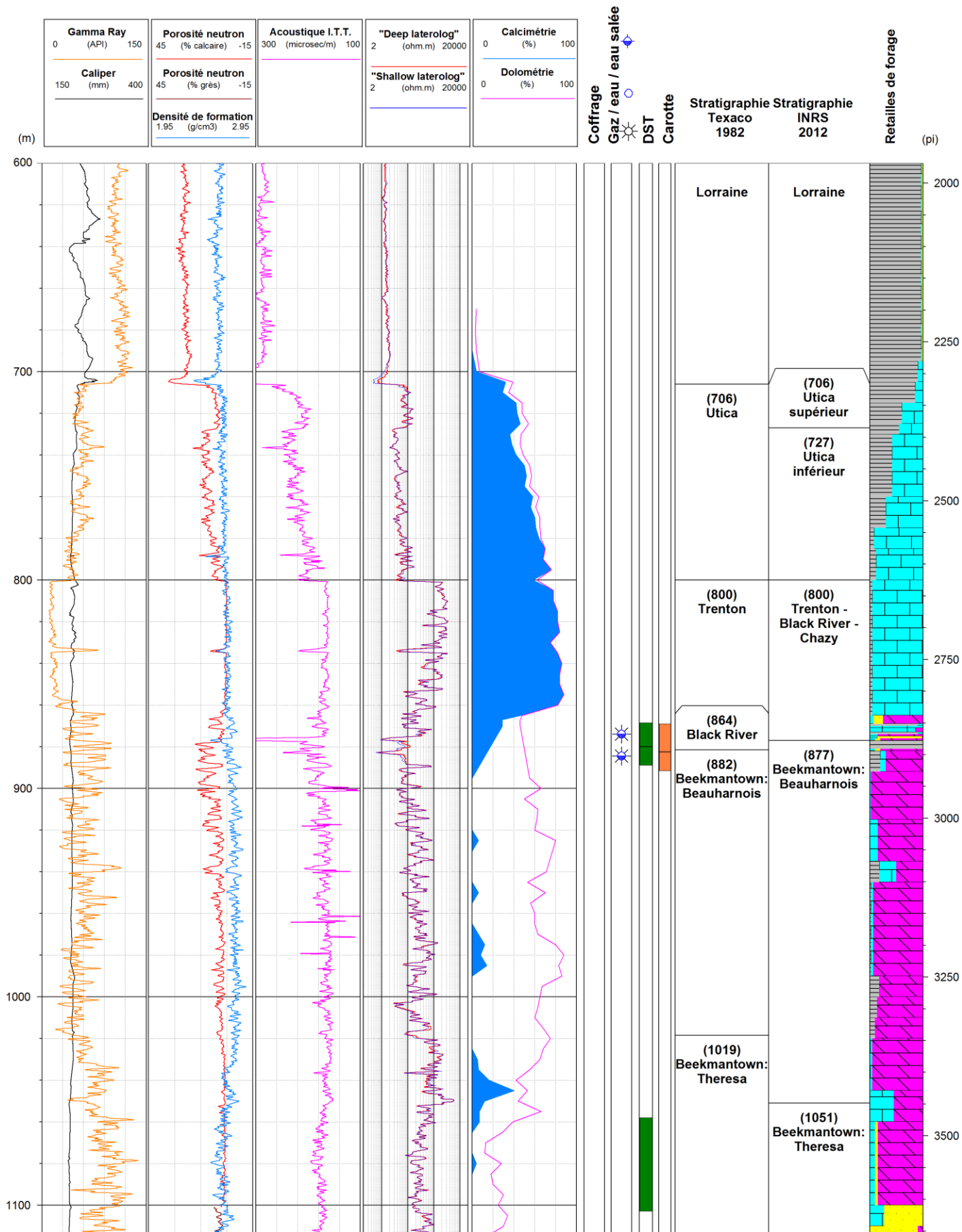


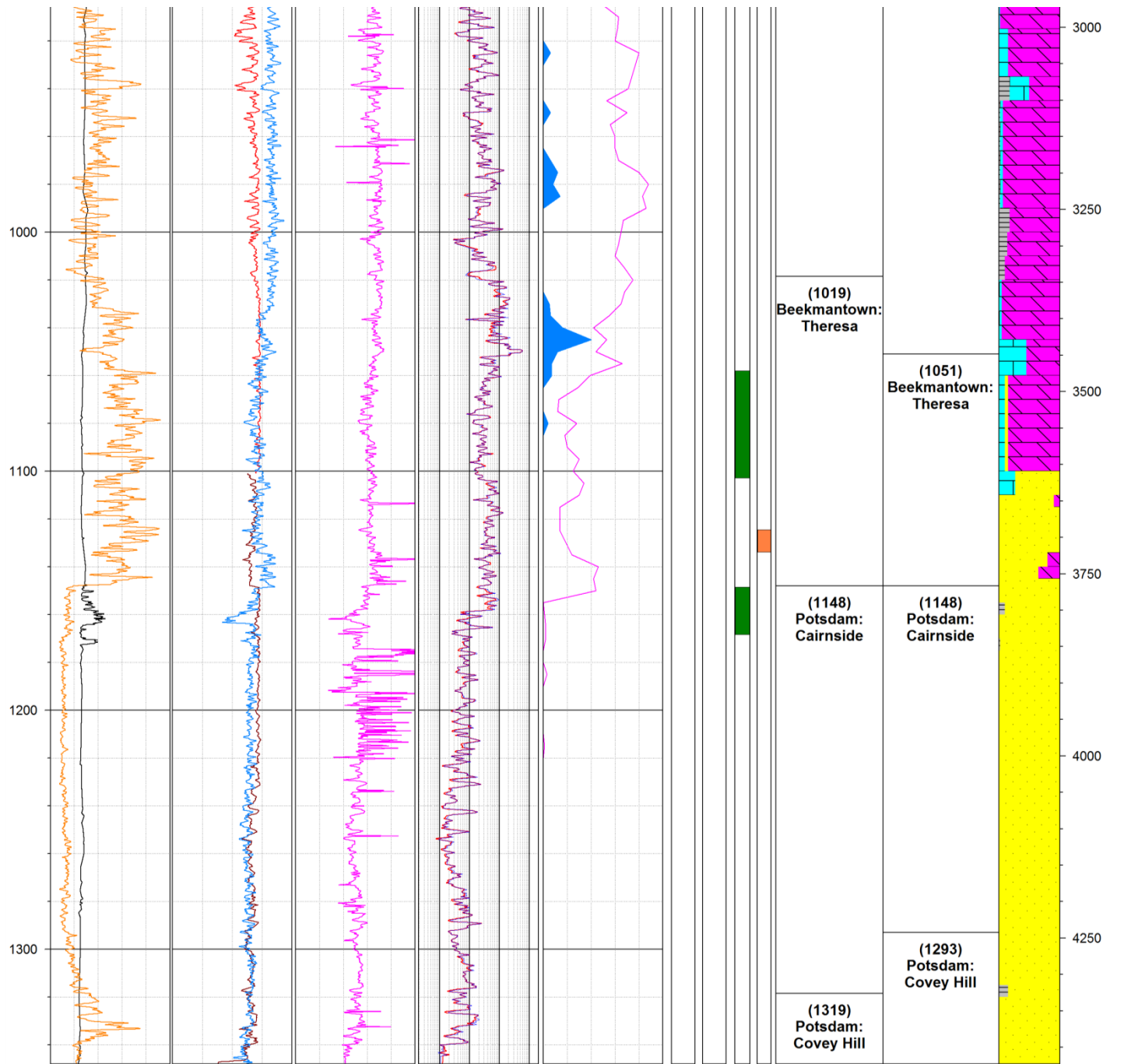
A199 - Texaco, Yamaska-Est No 1

Profondeur totale : 1348,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 14,0 / 9,0 m

Année de forage : 1981



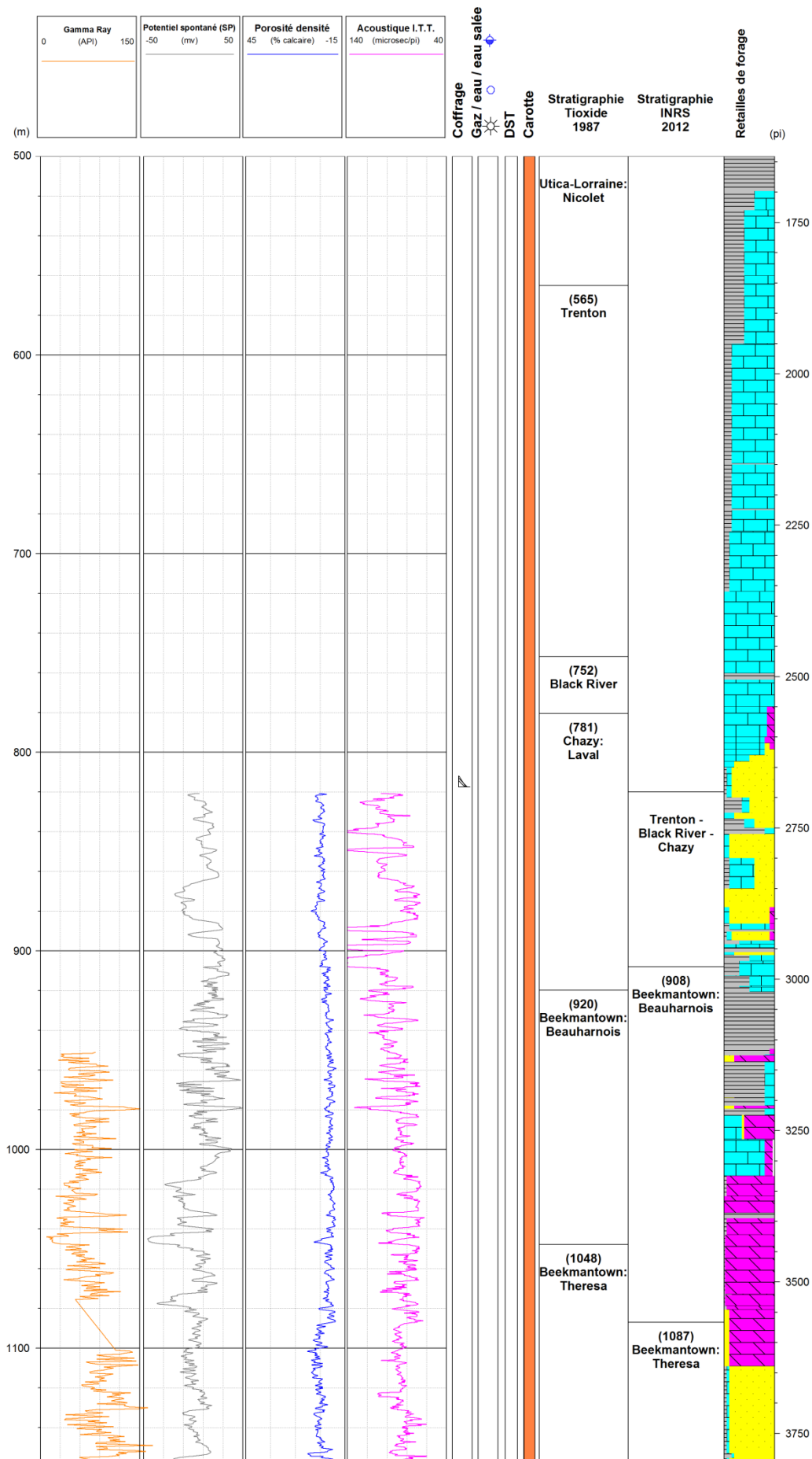


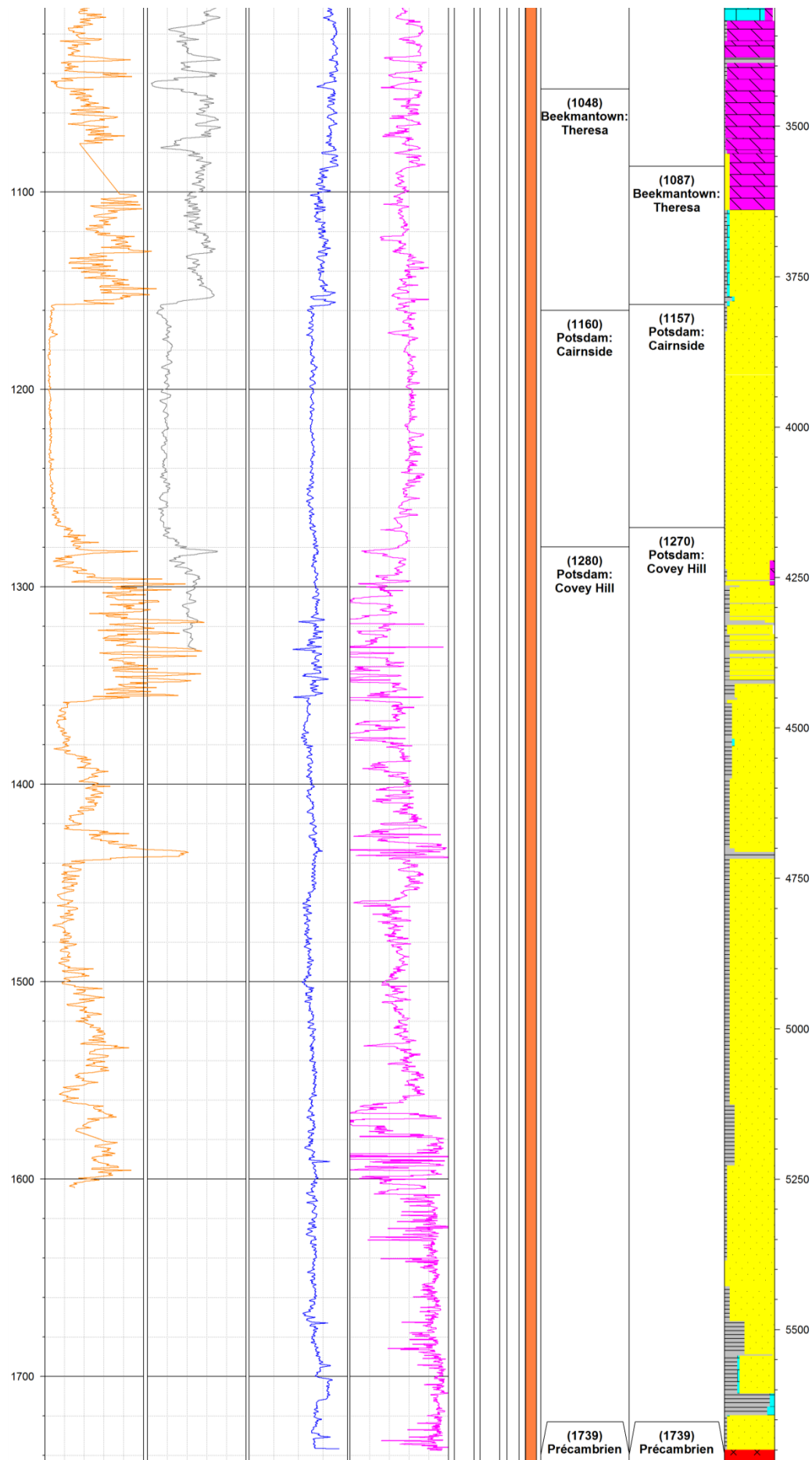
A203 - Tioxide, Tracy No 1

Profondeur totale : 1744,1 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 13,1 / 11,0 m

Année de forage : 1986



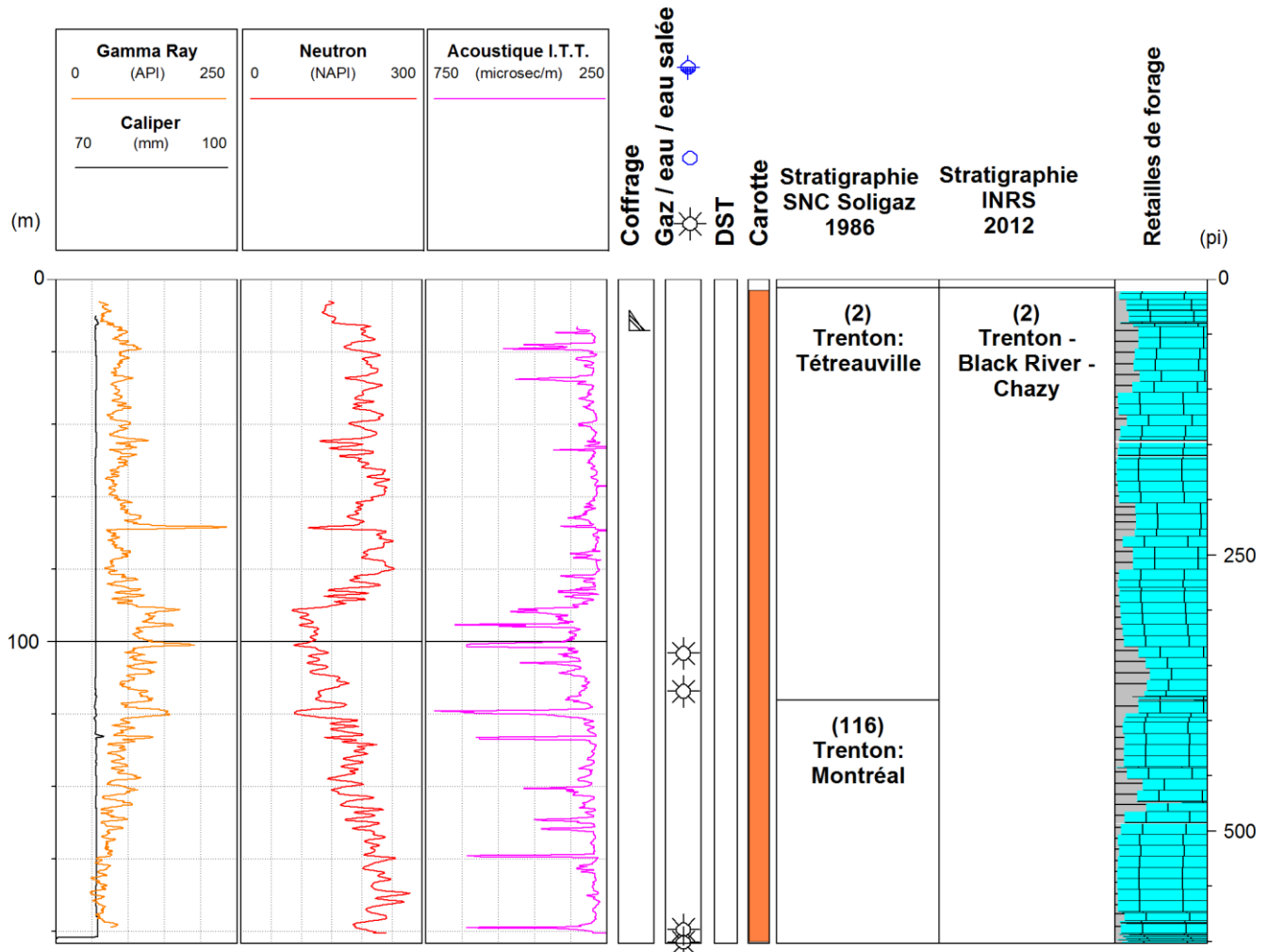


A204 - SNC Soligaz, Montréal-Est No 1

Profondeur totale : 183,4 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 15,4 / 15,4 m

Année de forage : 1986

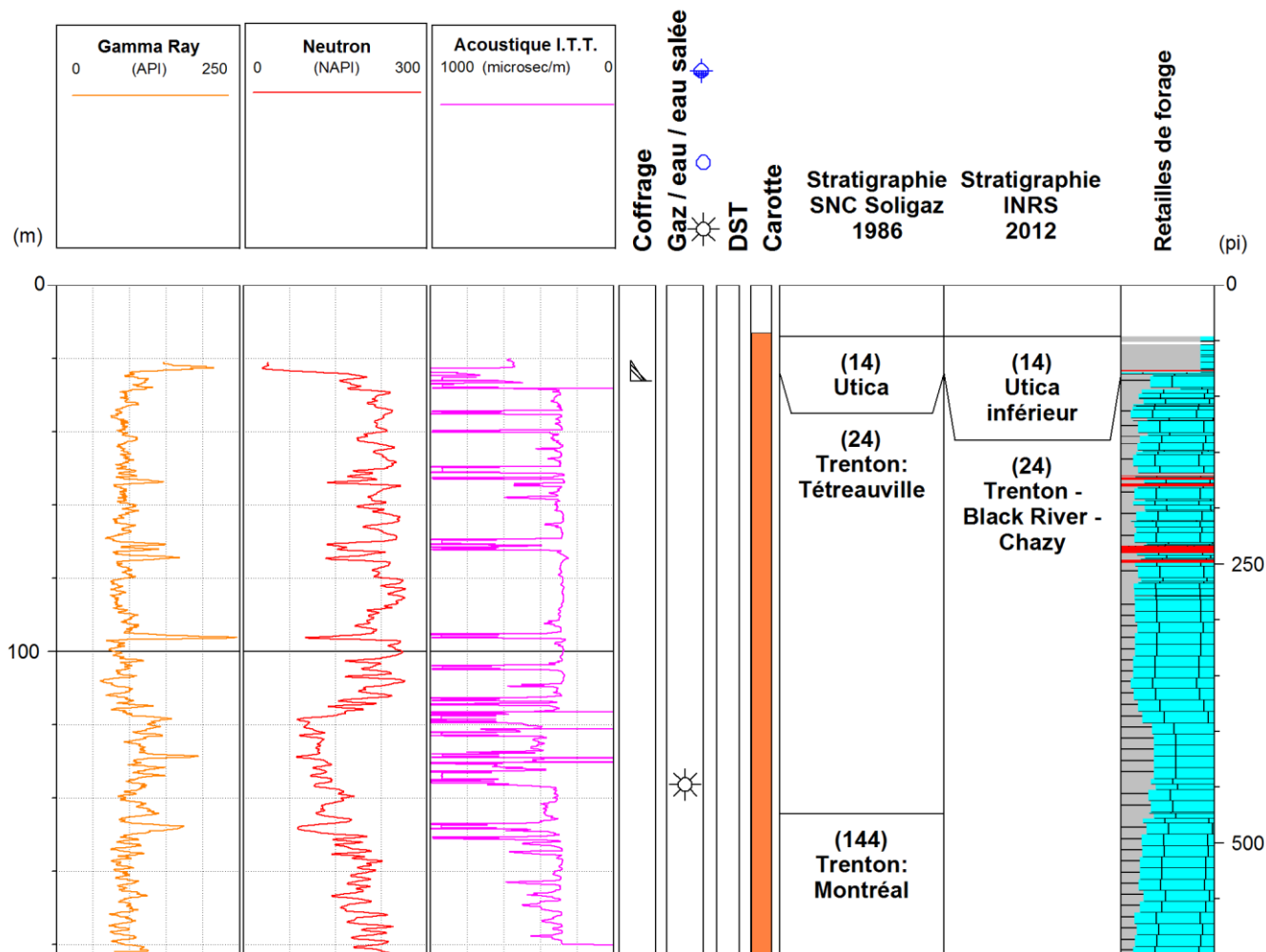


A206 - SNC Soligaz, Montréal-Est No 3

Profondeur totale : 183,7 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 12,1 / 12,1 m

Année de forage : 1986

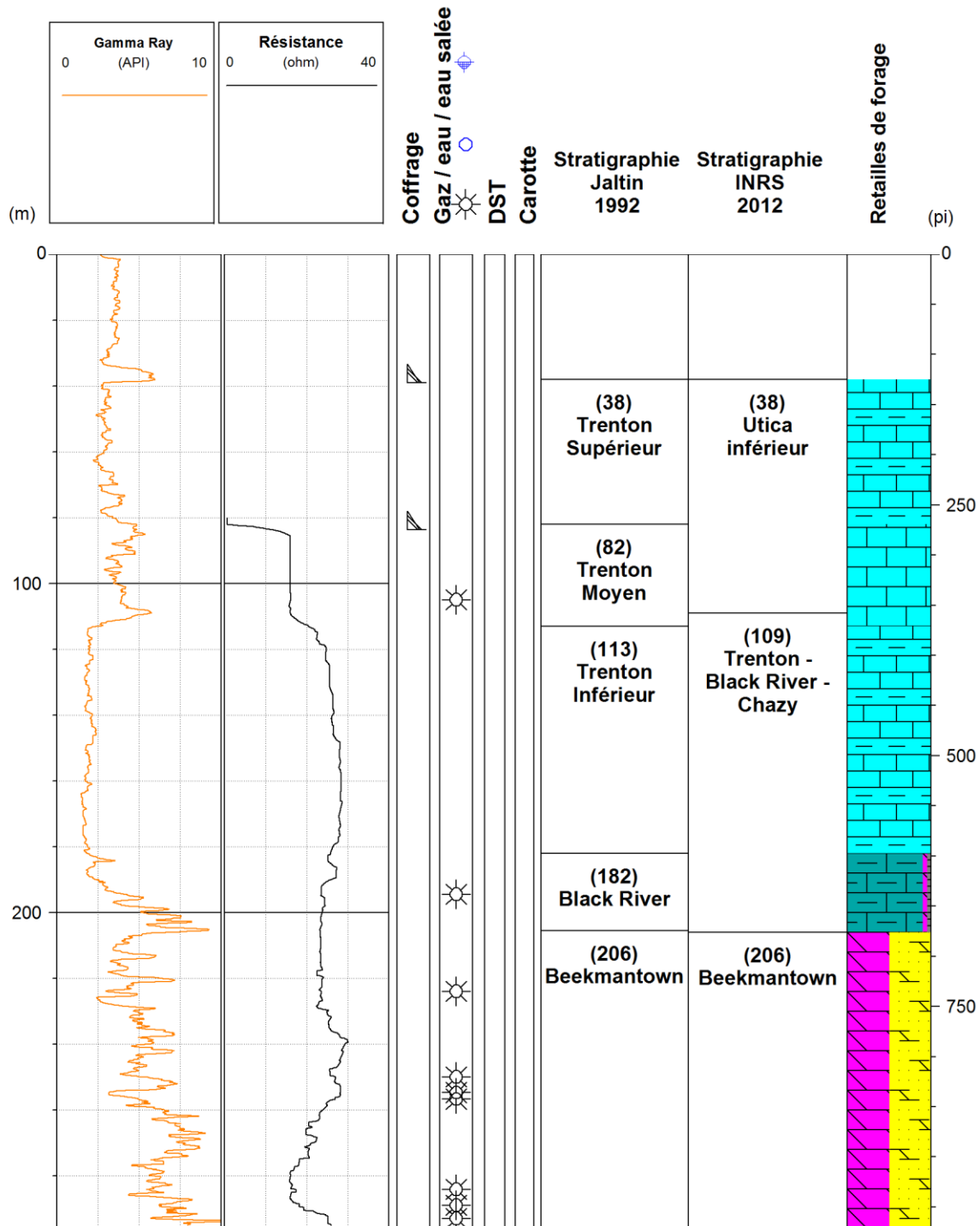


A207 - Jaltin Lemaire, Louiseville No 2

Profondeur totale : 296,0 m

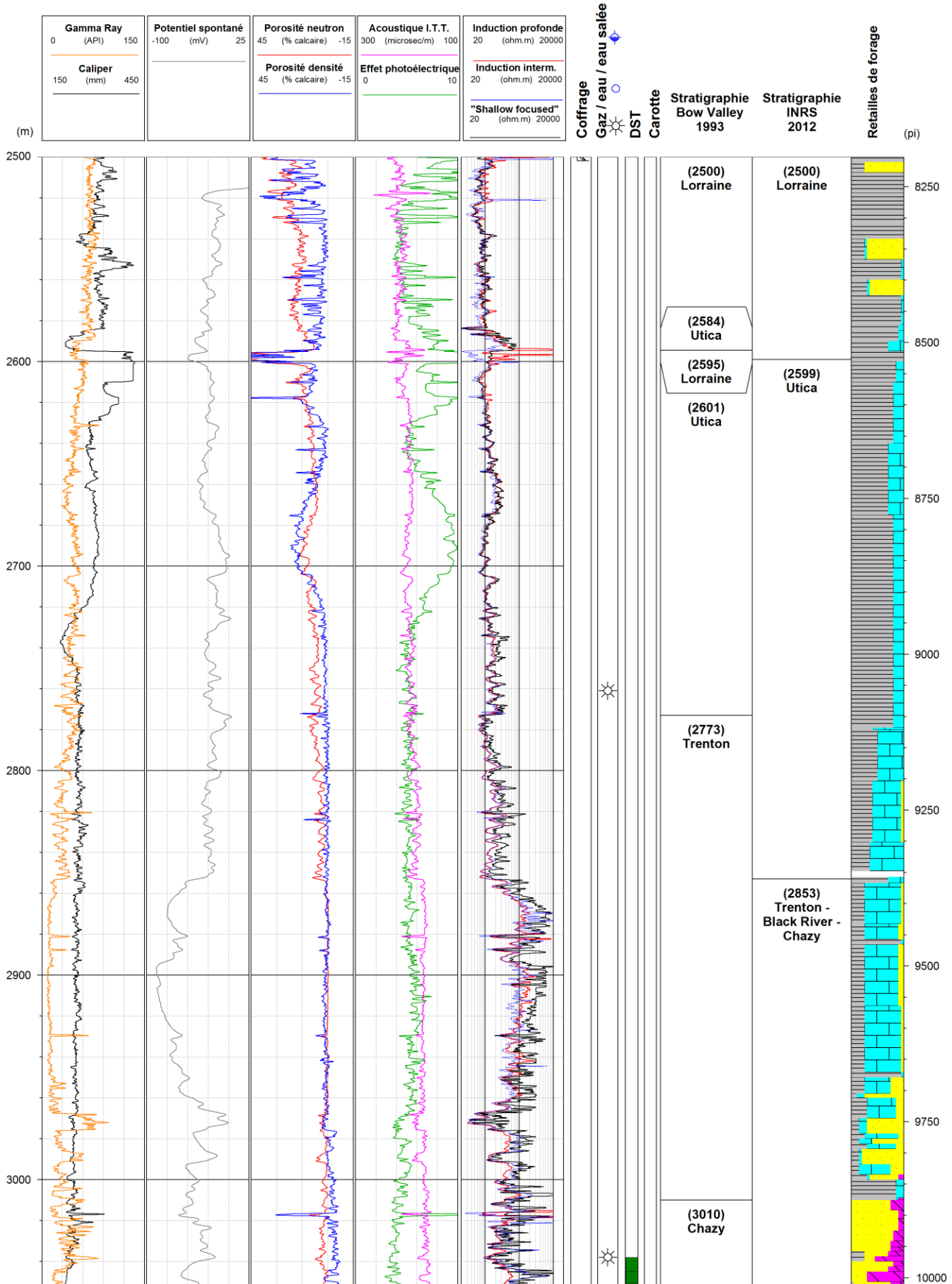
Élévation du KB / sol (p/mer) : 9,7 / 8,0 m

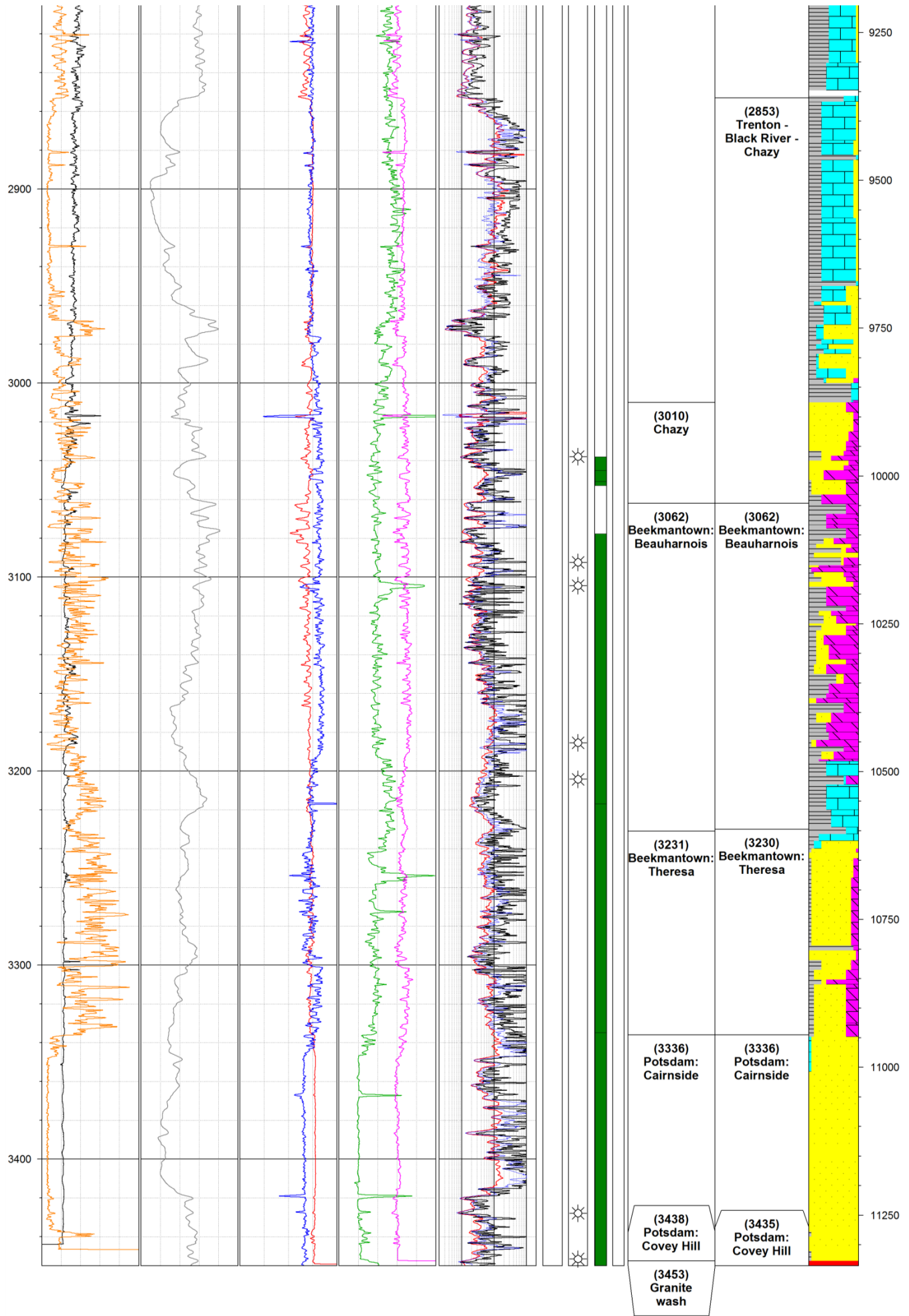
Année de forage : 1988



A222 - BVI et al., Saint-Wenceslas No 1

Profondeur totale : 3454,3 m
Élévation du KB / sol (p/mer) : 98,1 / 90,5 m
Année de forage : 1993



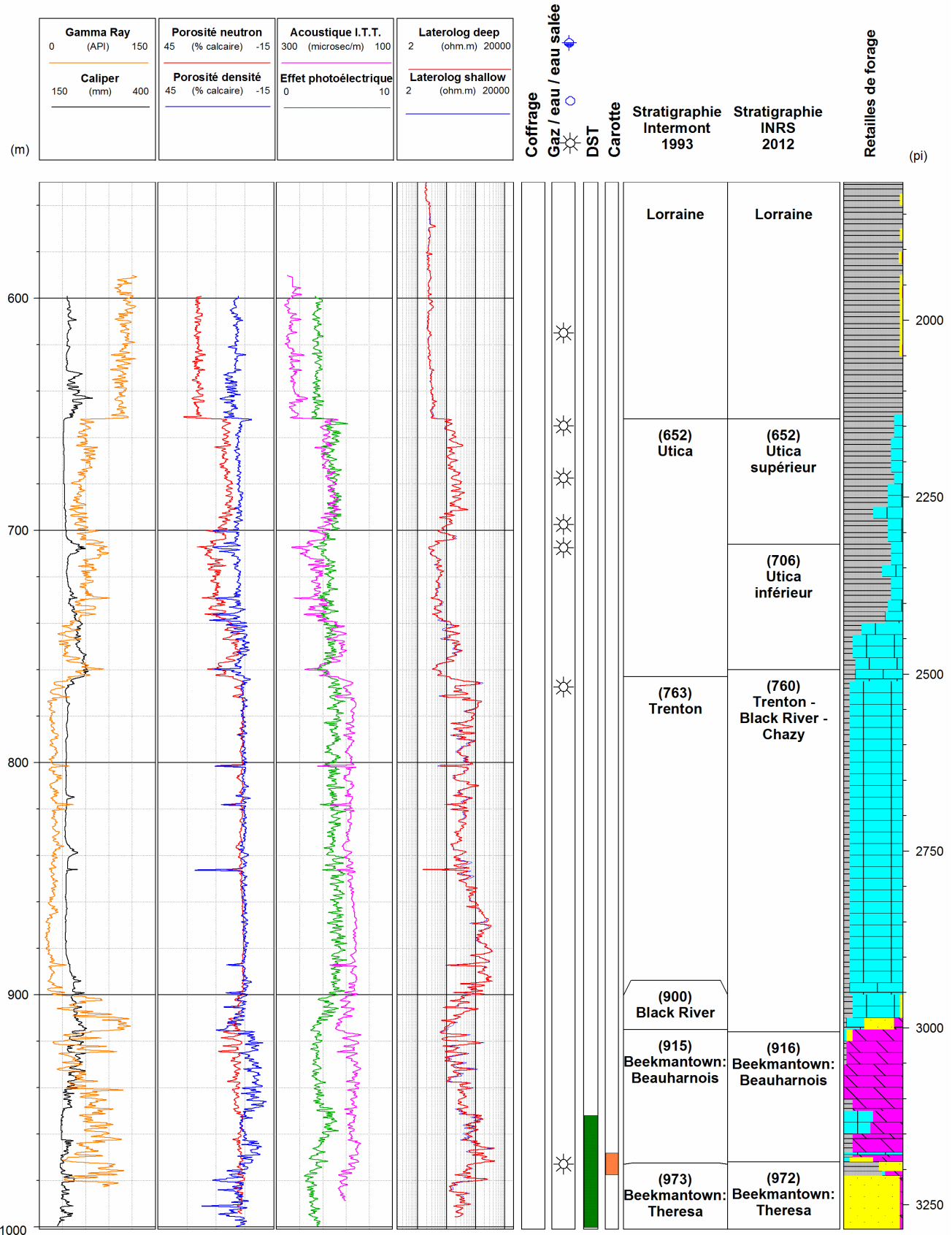


A223 - Intermont, Bécancour No 1

Profondeur totale : 1001,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 11,0 / 8,0 m

Année de forage : 1993

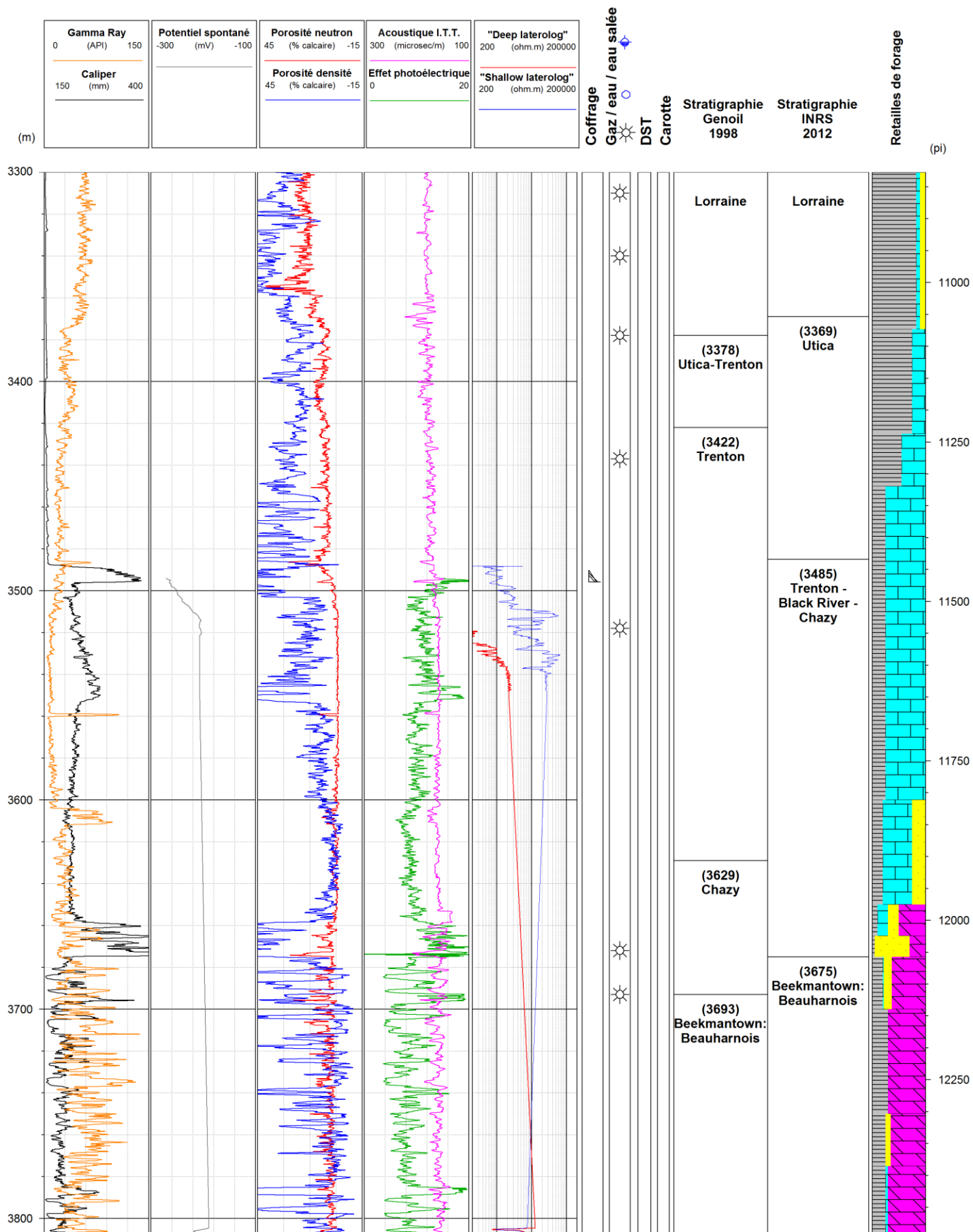


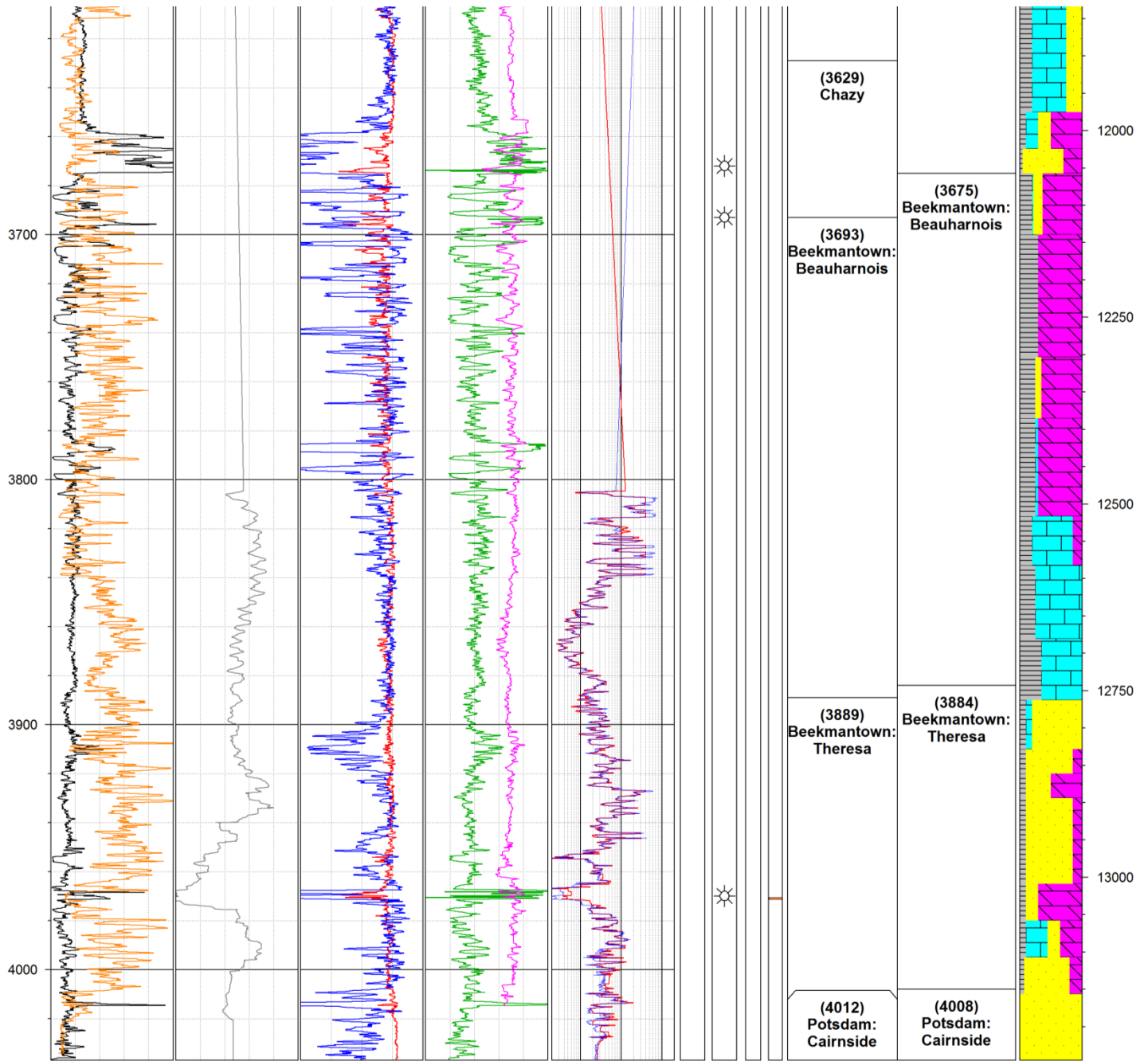
A229 - Genoïl et al., Saint-Léonard No 1

Profondeur totale : 4037,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 80,0 / 72,0 m

Année de forage : 1996



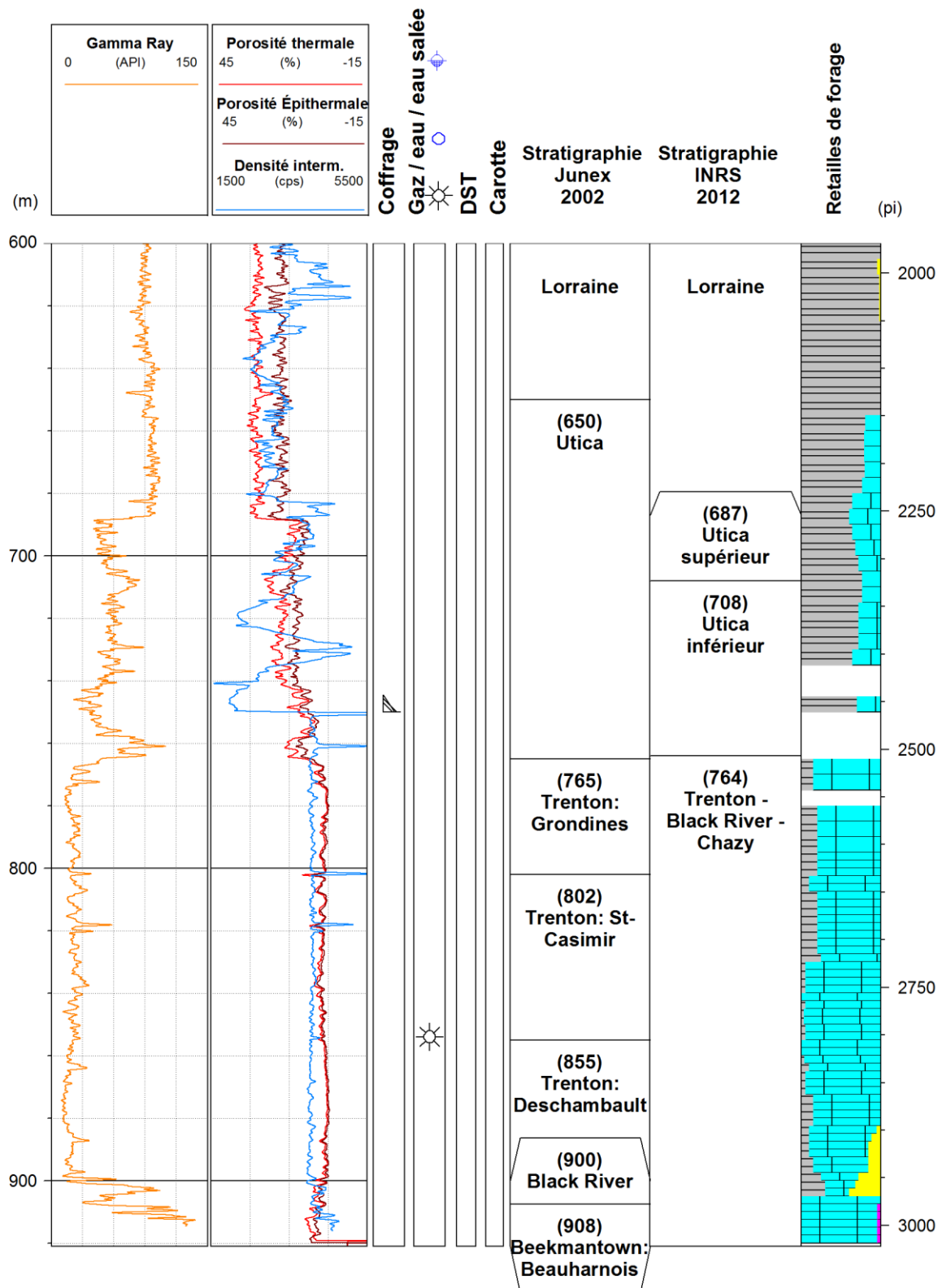


A236 - Junex, Bécancour No 2

Profondeur totale : 921,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 10,1 / 8,0 m

Année de forage : 2002

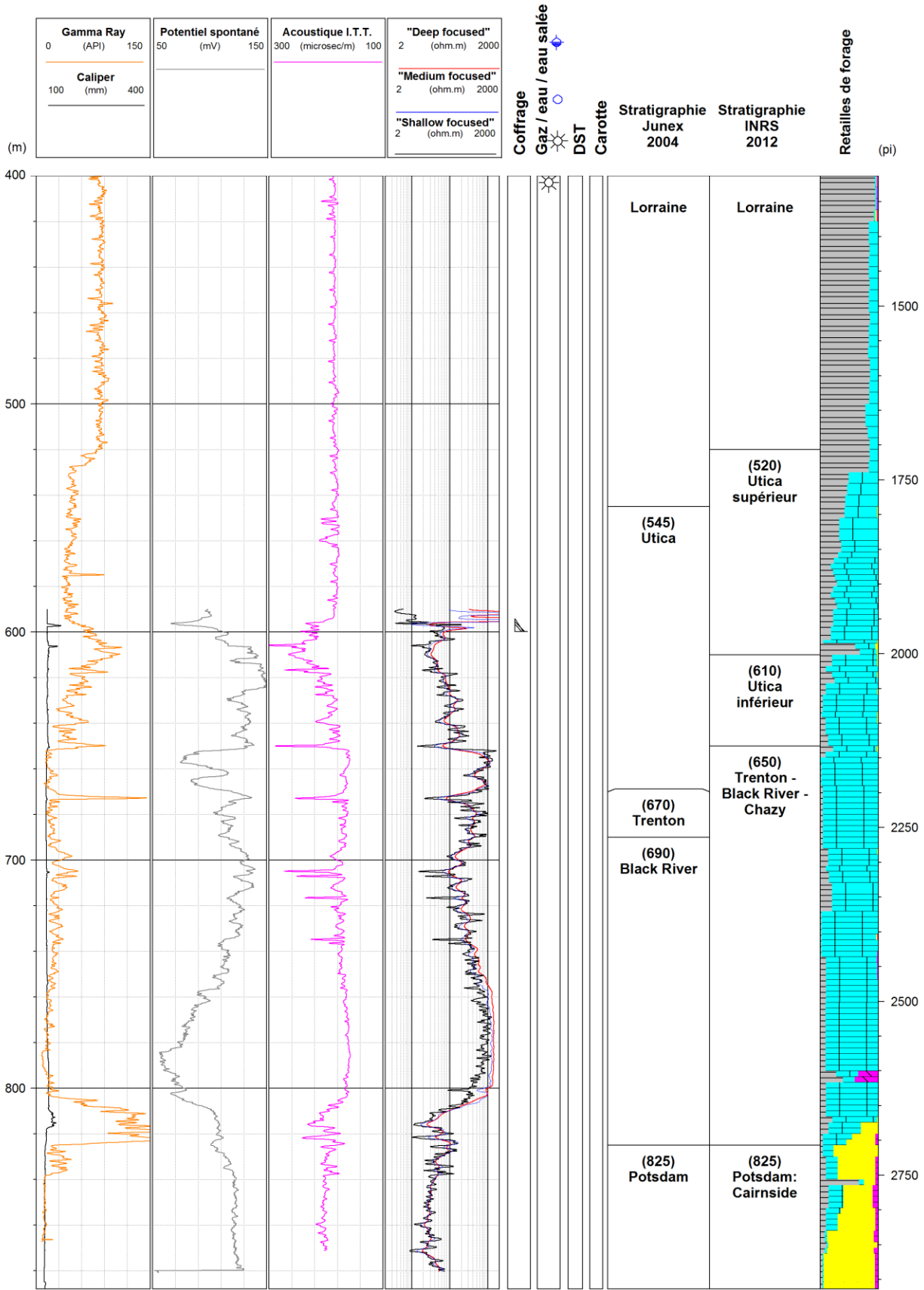


A238 - Junex, Batiscan No 1

Profondeur totale : 888,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 34,1 / 32,0 m

Année de forage : 2003

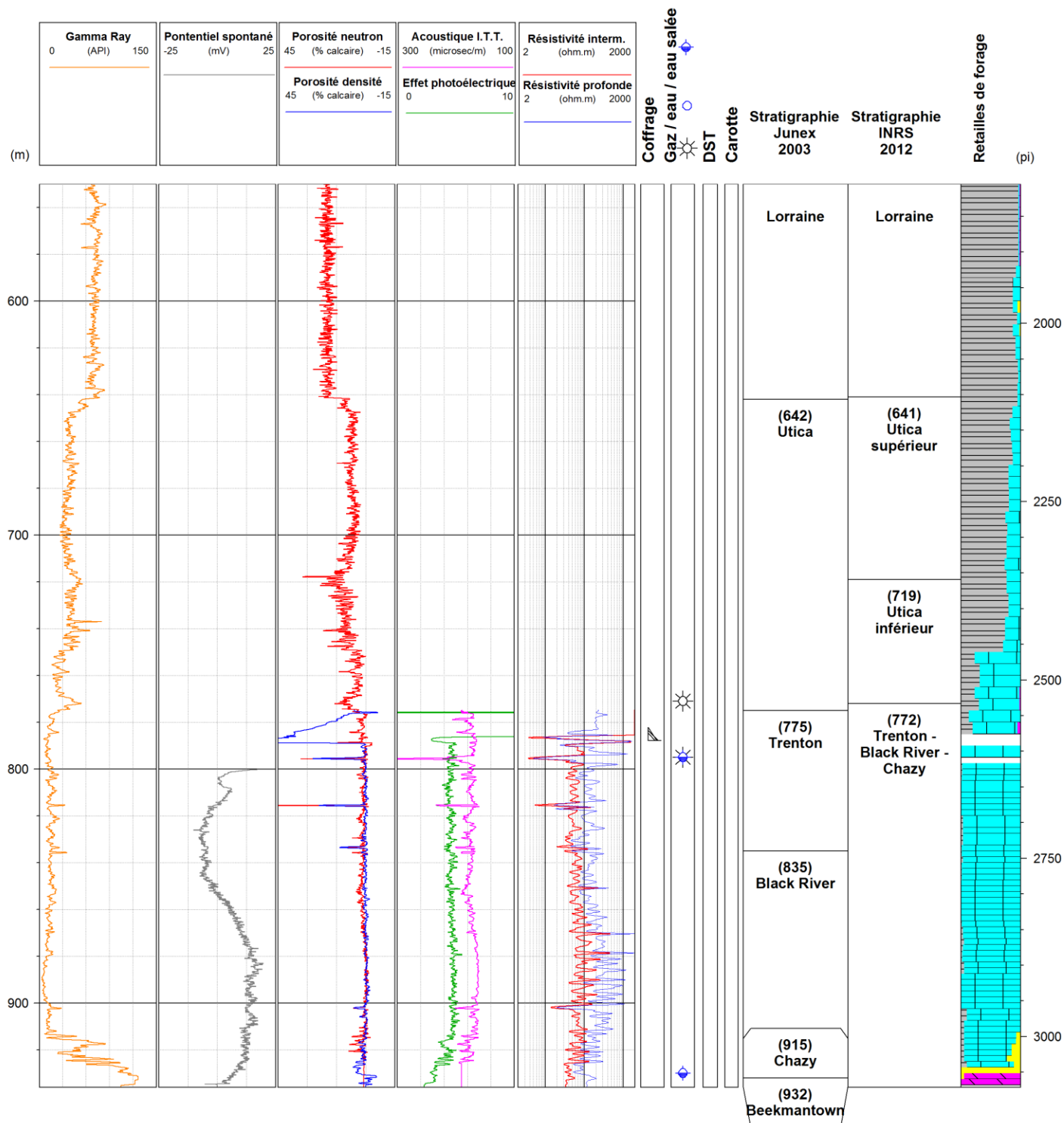


A239 - Junex, Bécancour No 3

Profondeur totale : 936,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 7,7 / 5,6 m

Année de forage : 2003

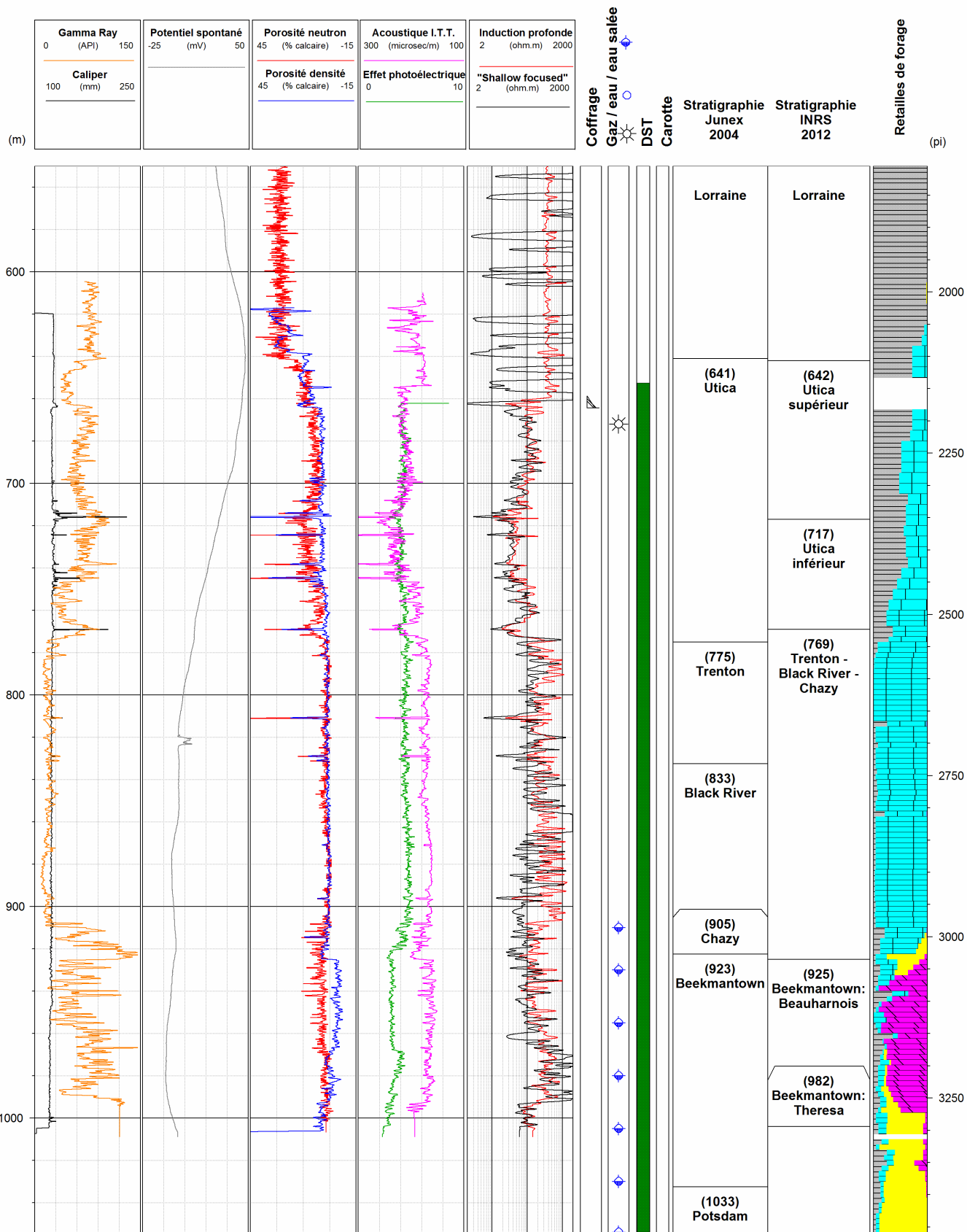


A241 - Junex, Bécancour No 4

Profondeur totale : 1054,5 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 8,8 / 6,7 m

Année de forage : 2003

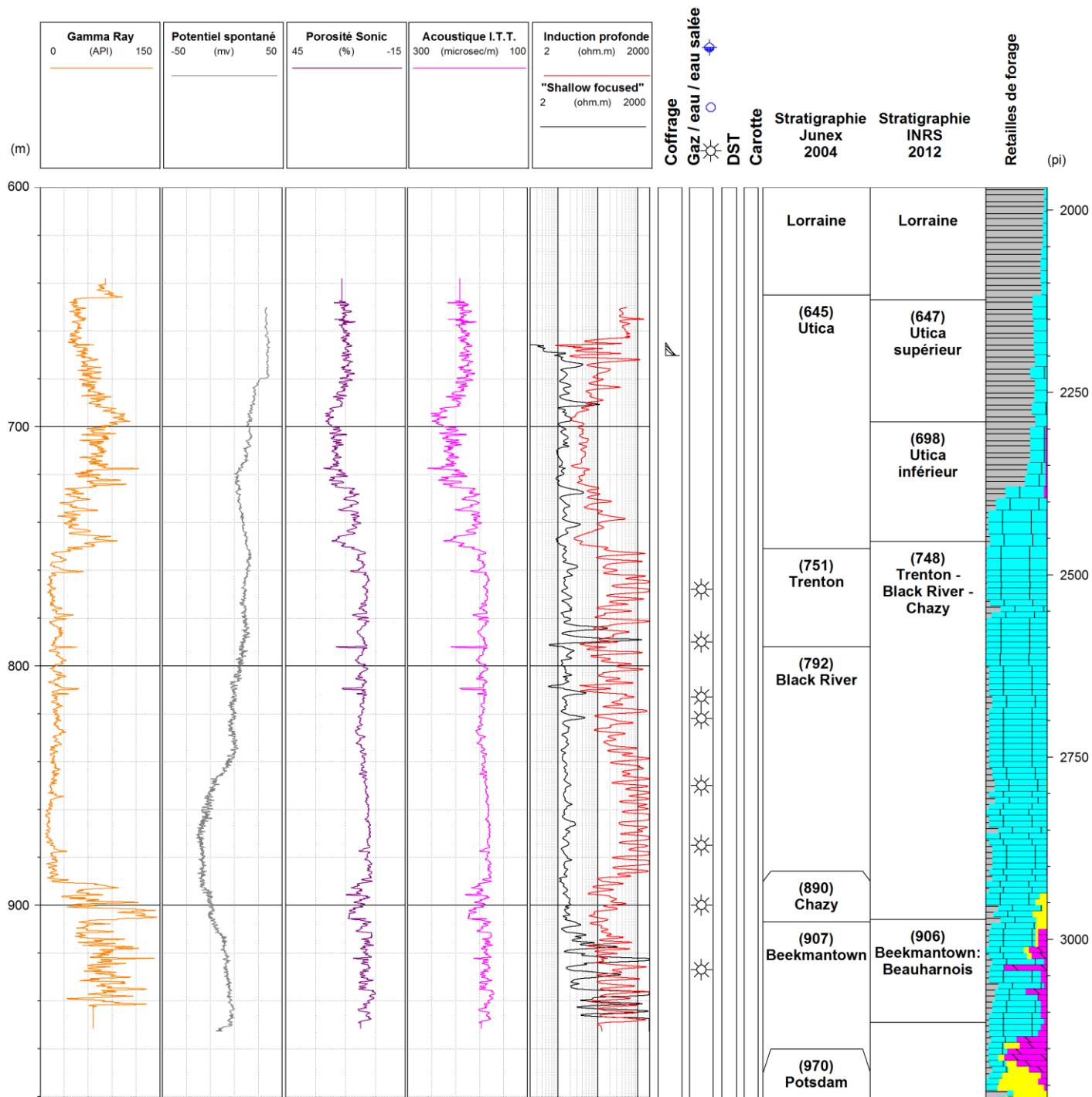


A242 - Junex, Bécancour No 5

Profondeur totale : 981,4 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 8,5 / 6,3 m

Année de forage : 2003

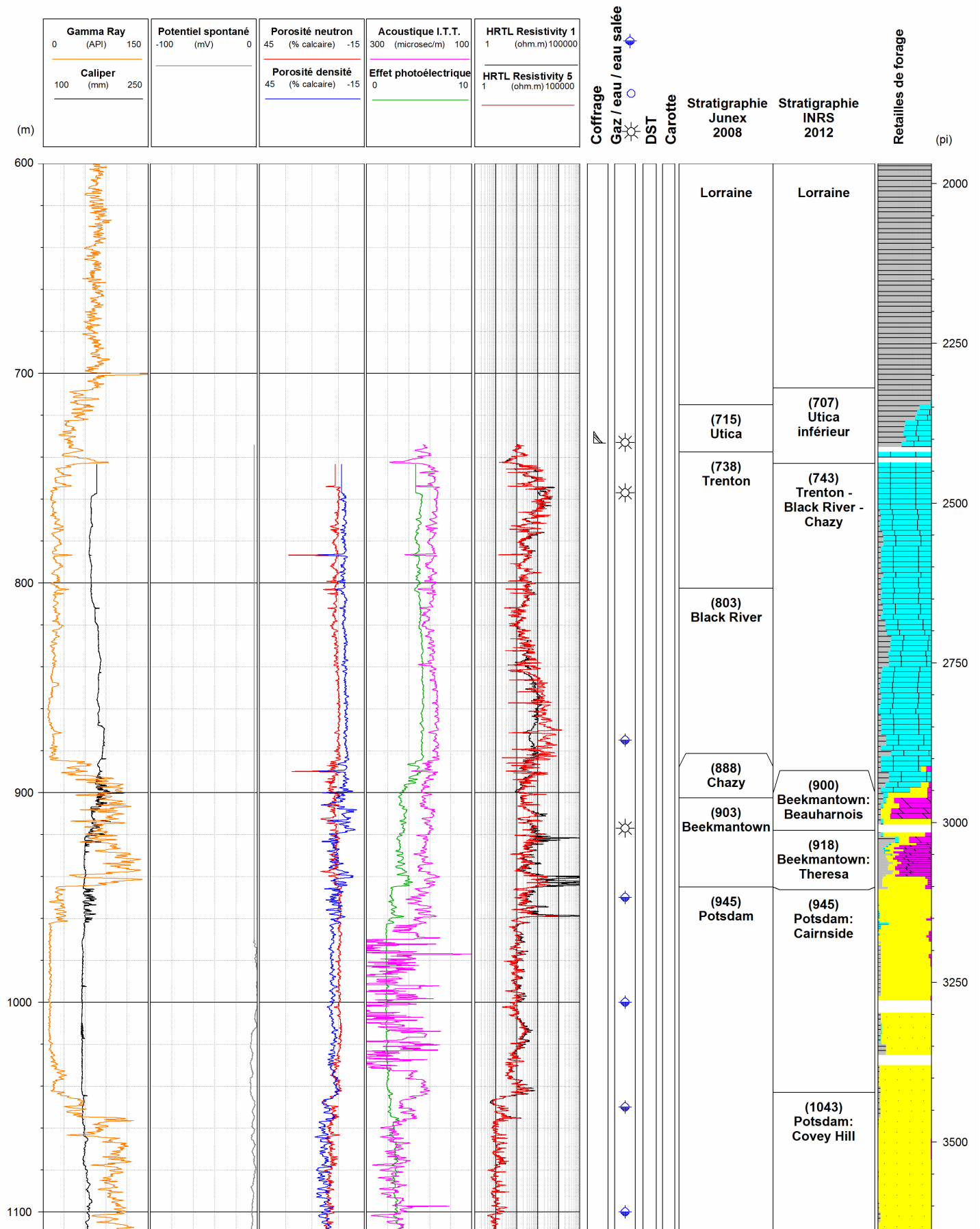


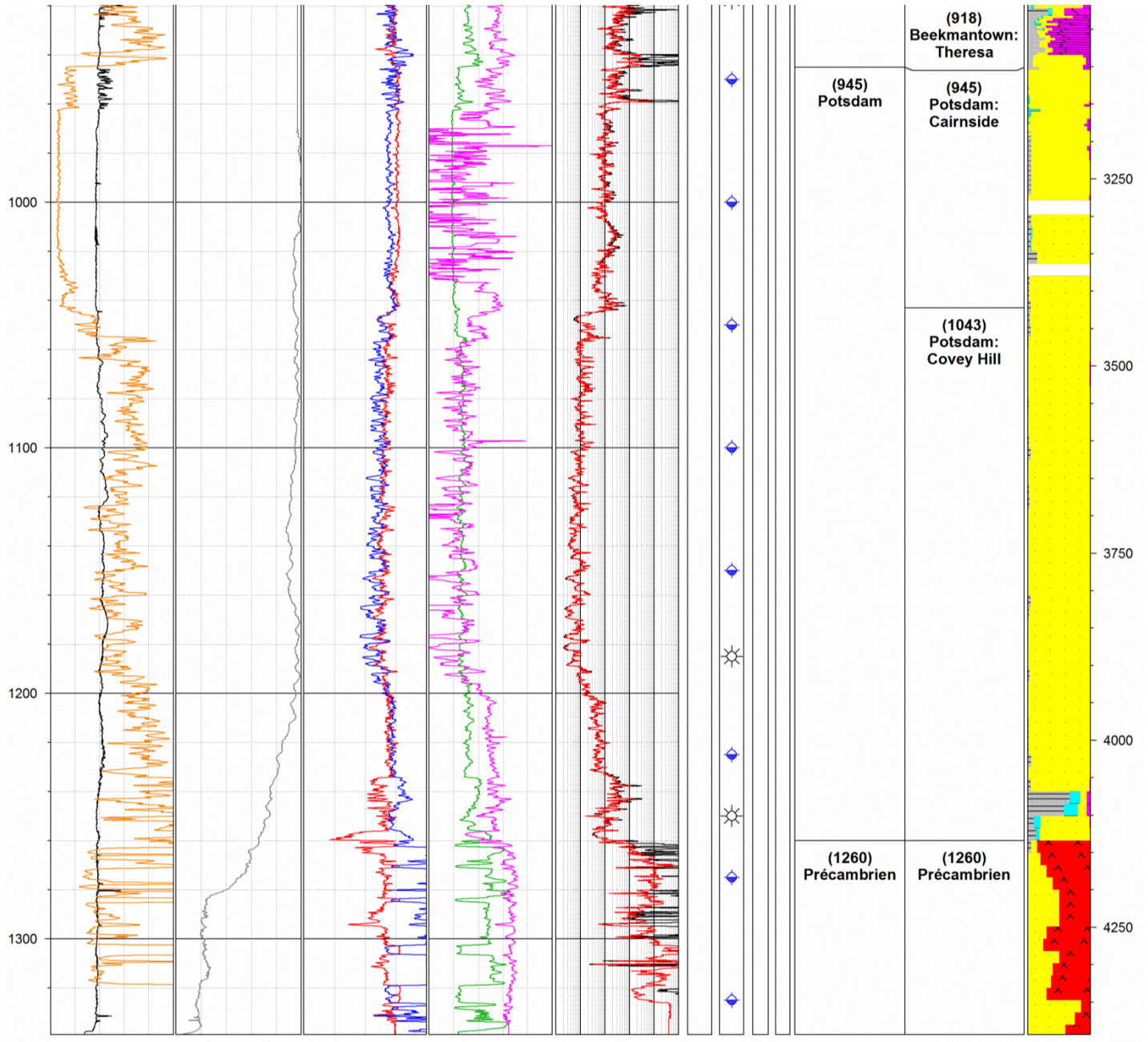
A246 et A246-R1 - Junex, Bécancour No 6

Profondeur totale : 1339,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 9,2 / 6,5 m

Année de forage : 2004 et 2008



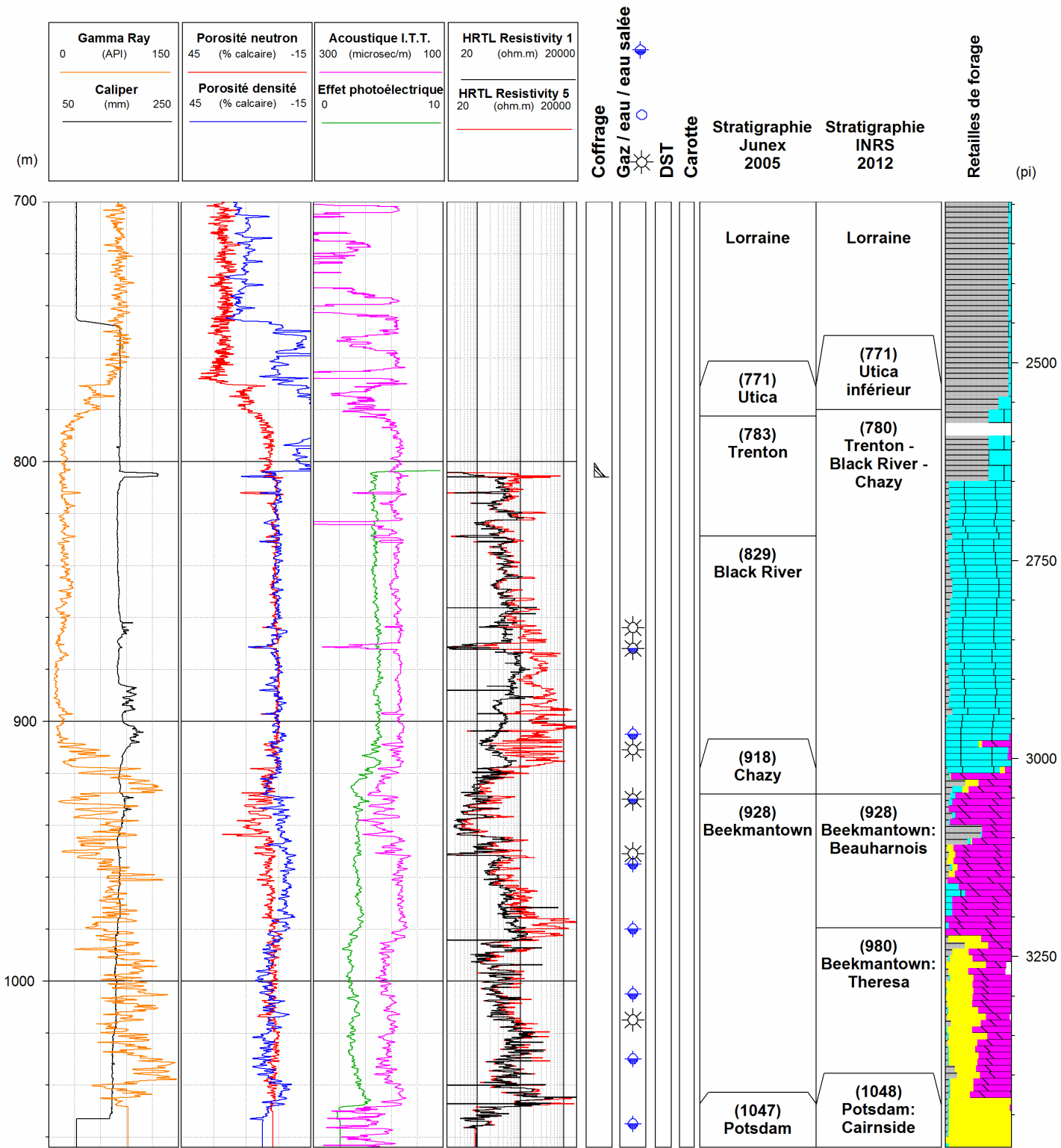


A247 - Junex, Bécancour No 7

Profondeur totale : 1064,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 9,6 / 7,5 m

Année de forage : 2004

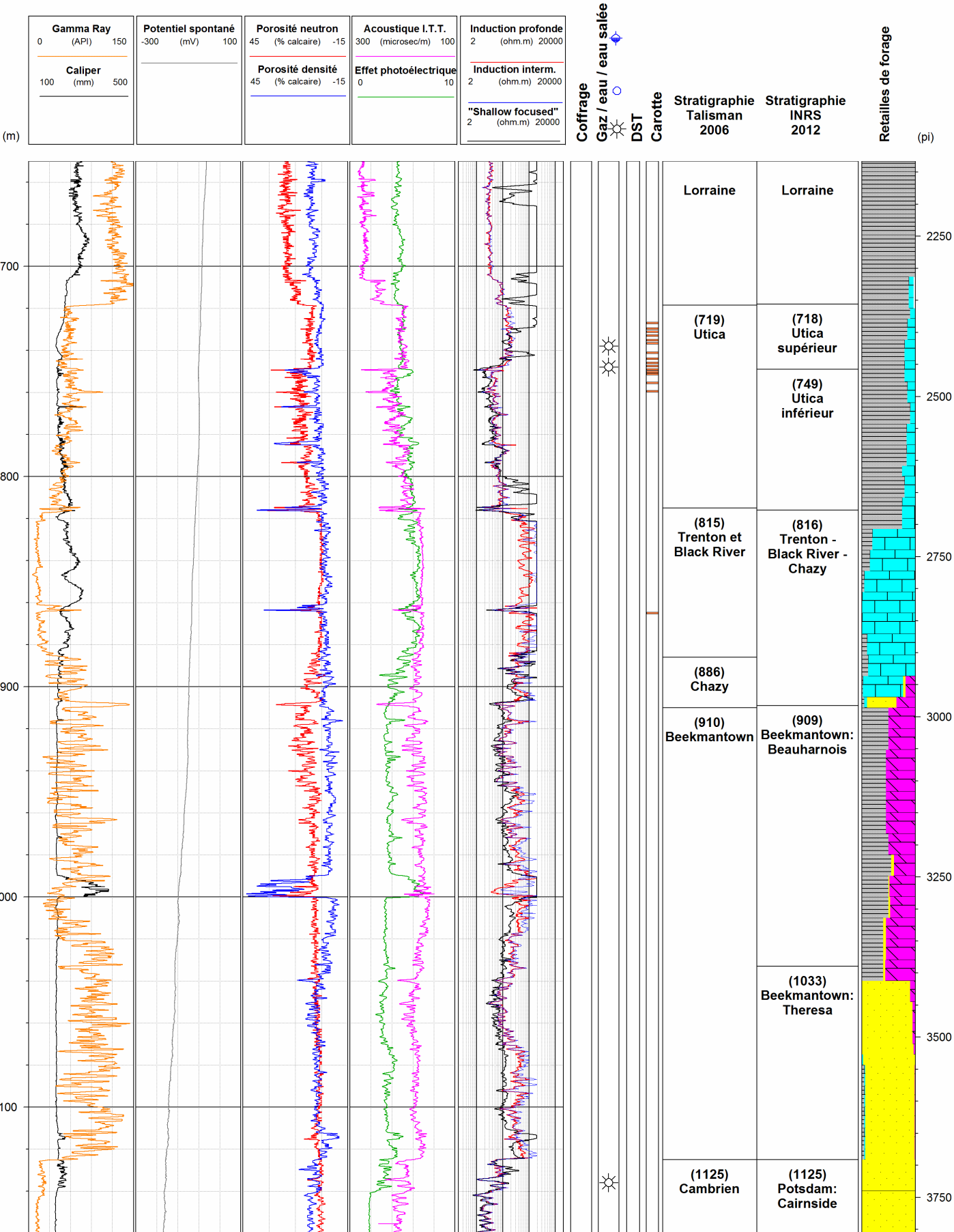


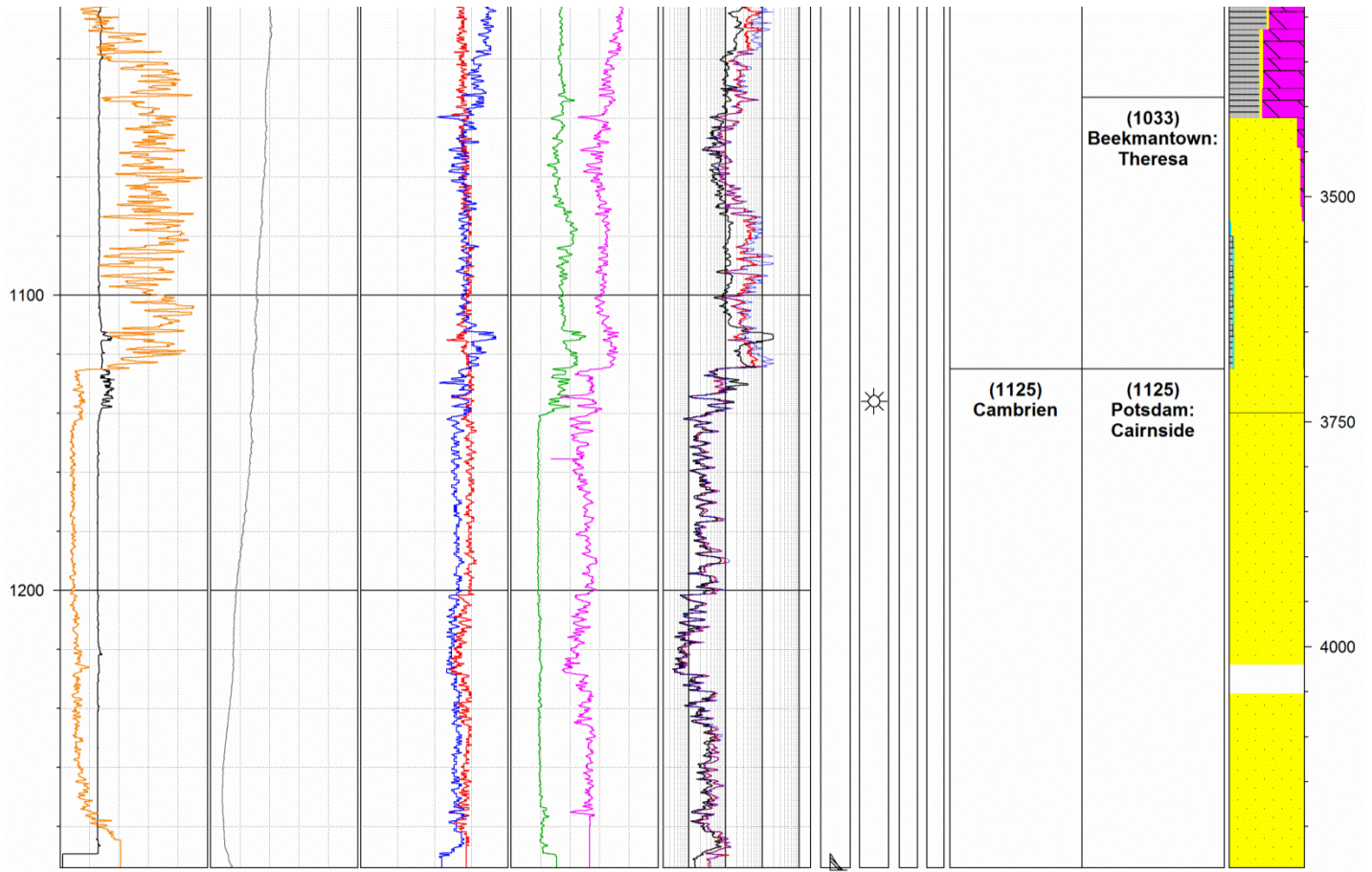
A248 - Talisman Energy, St-François-du-Lac No1

Profondeur totale : 1294,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 13,5 / 9,0 m

Année de forage : 2006



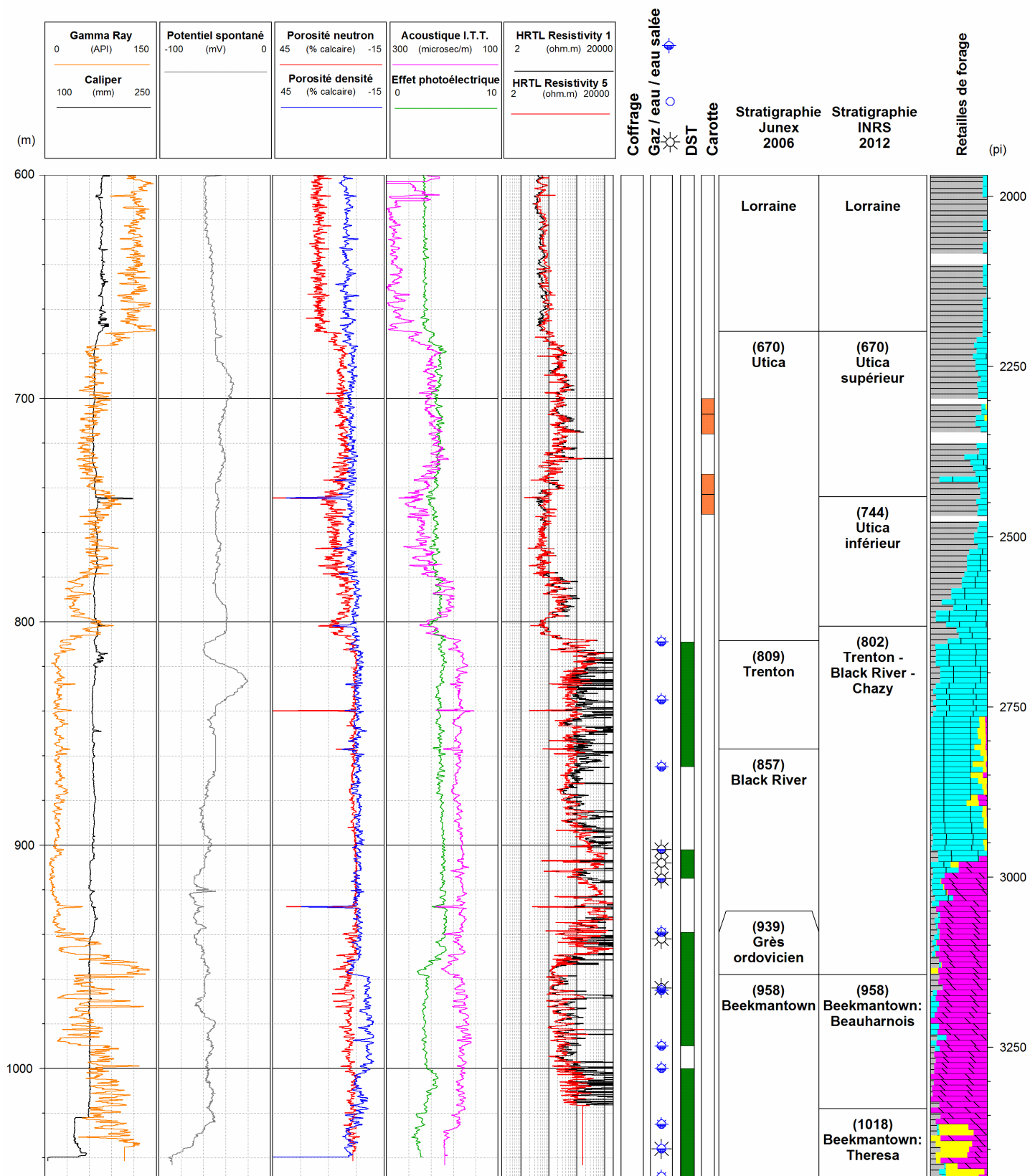


A250 - Junex, Bécancour No 8

Profondeur totale : 1048,5 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 8,5 / 6,6 m

Année de forage : 2006

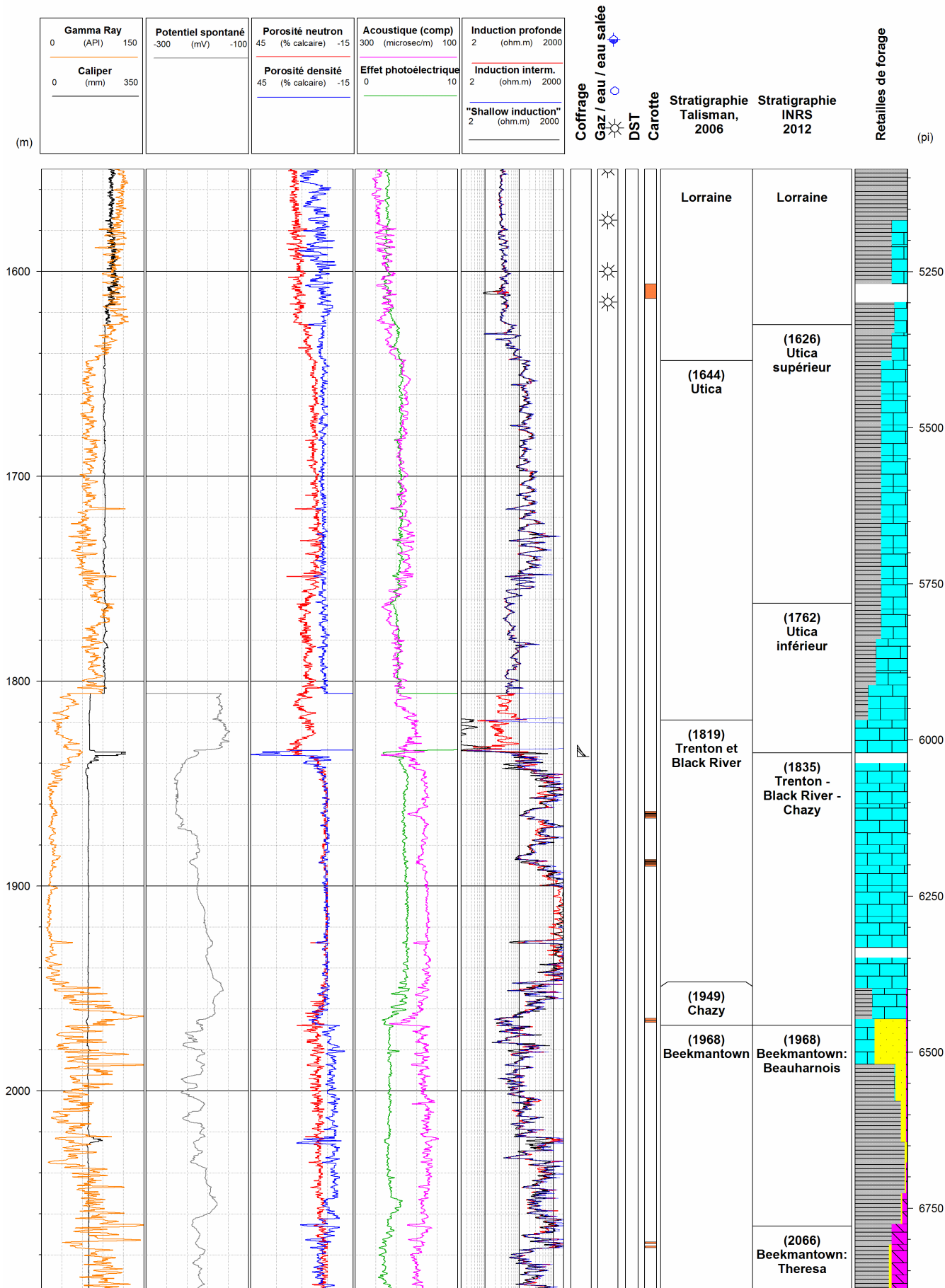


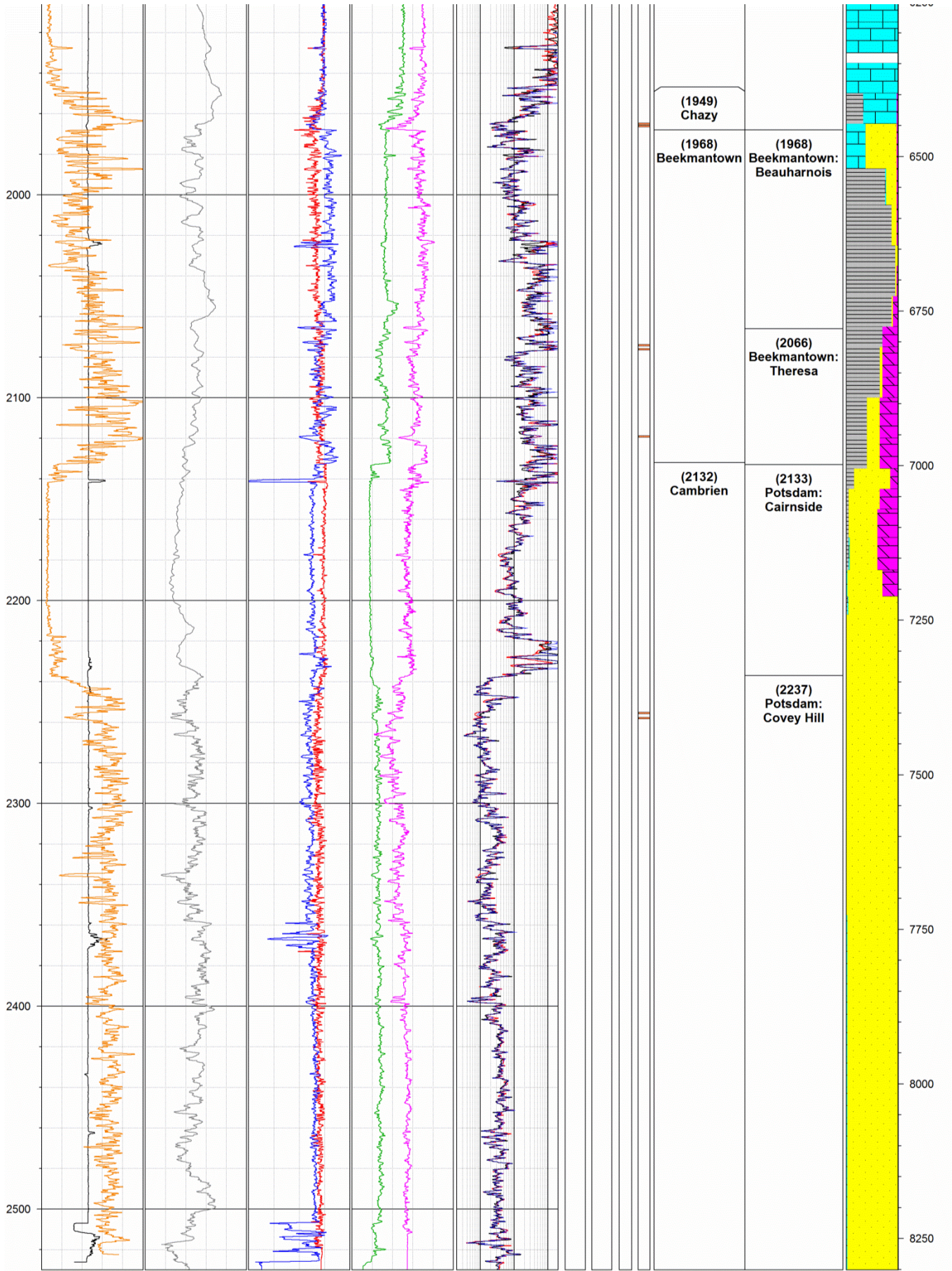
A252 - Talisman Energy, Gentilly No 1

Profondeur totale : 2530,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 42,4 / 38,0 m

Année de forage : 2006



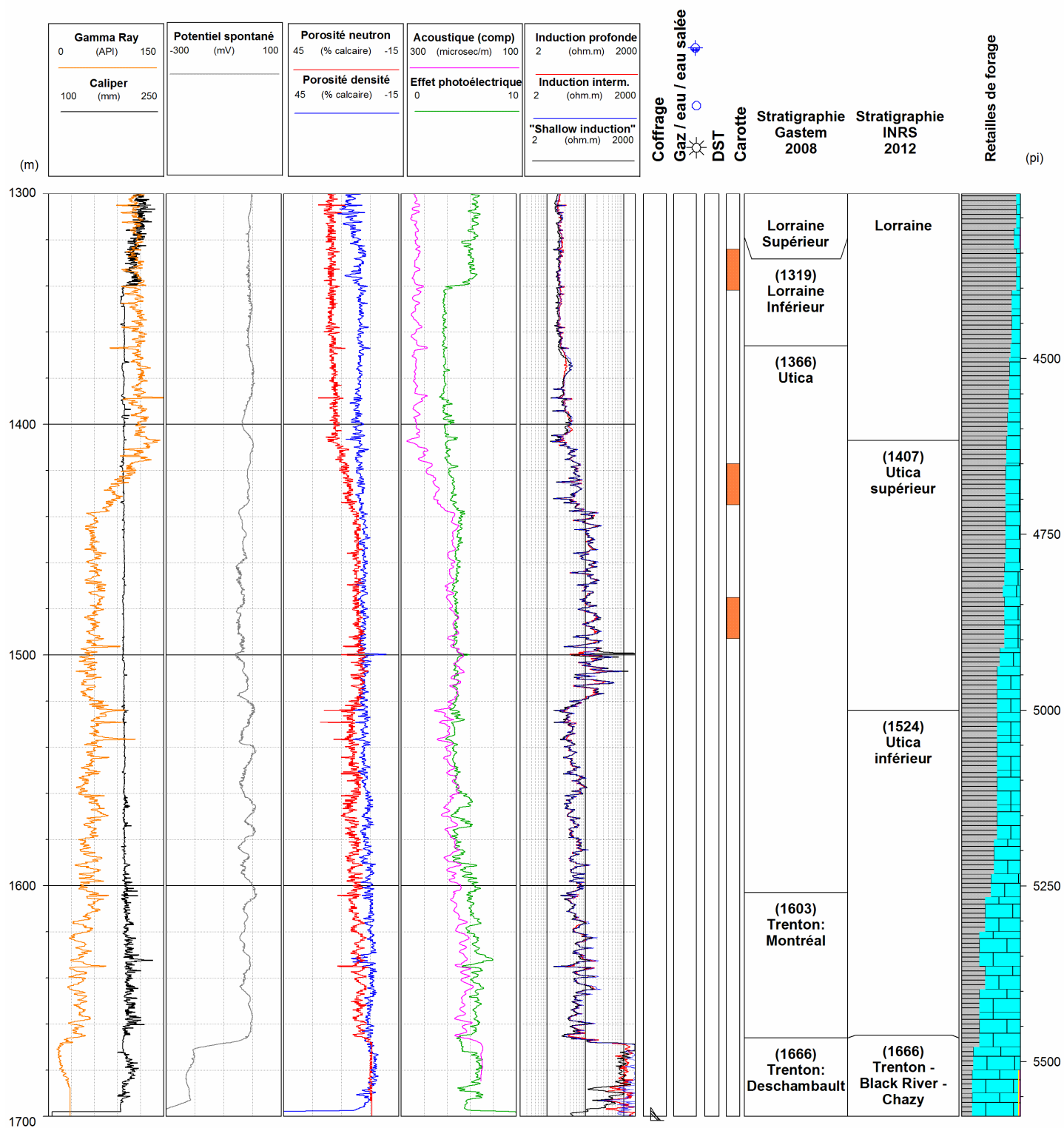


A253 - Gastem et al., Saint-François-du-Lac No 1

Profondeur totale : 1700,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 35,0 / 31,0 m

Année de forage : 2007

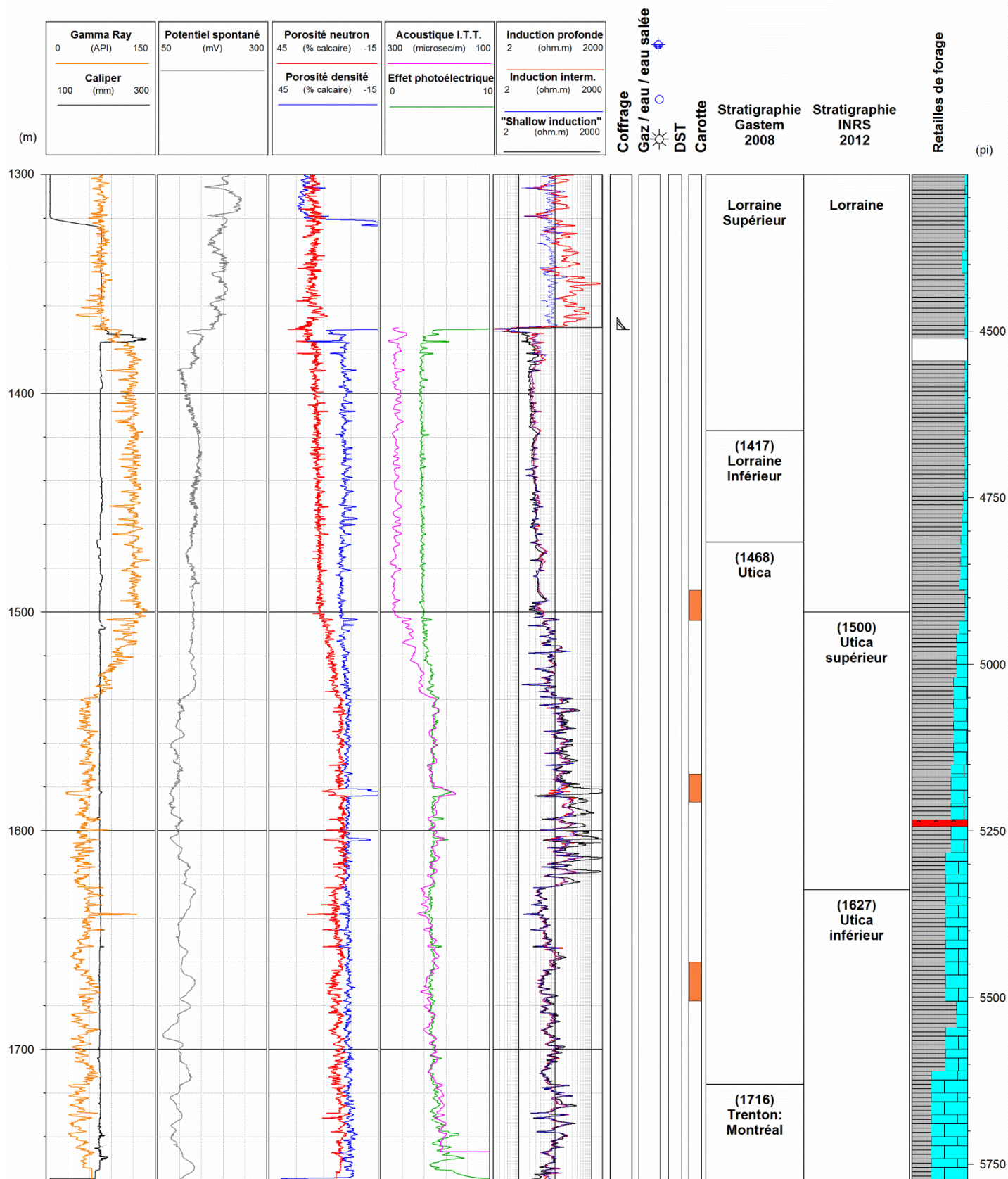


A254 - Gastem, Saint-Louis-de-Richelieu HZ No 1

Profondeur totale : 1760,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 35,0 / 31,0 m

Année de forage : 2007

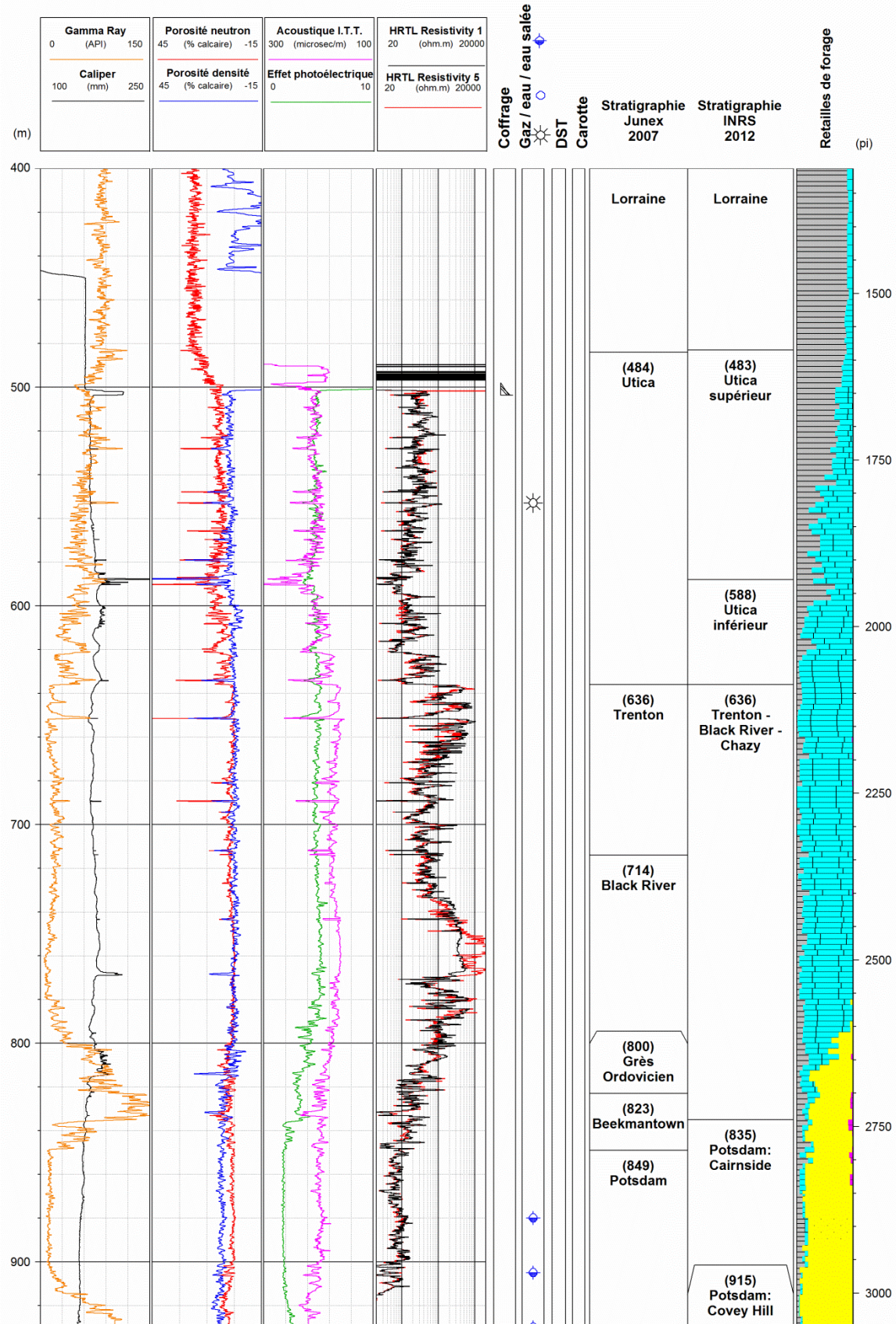


A255 - Junex, Champlain No 2

Profondeur totale : 930,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 24,7 / 22,6 m

Année de forage : 2007

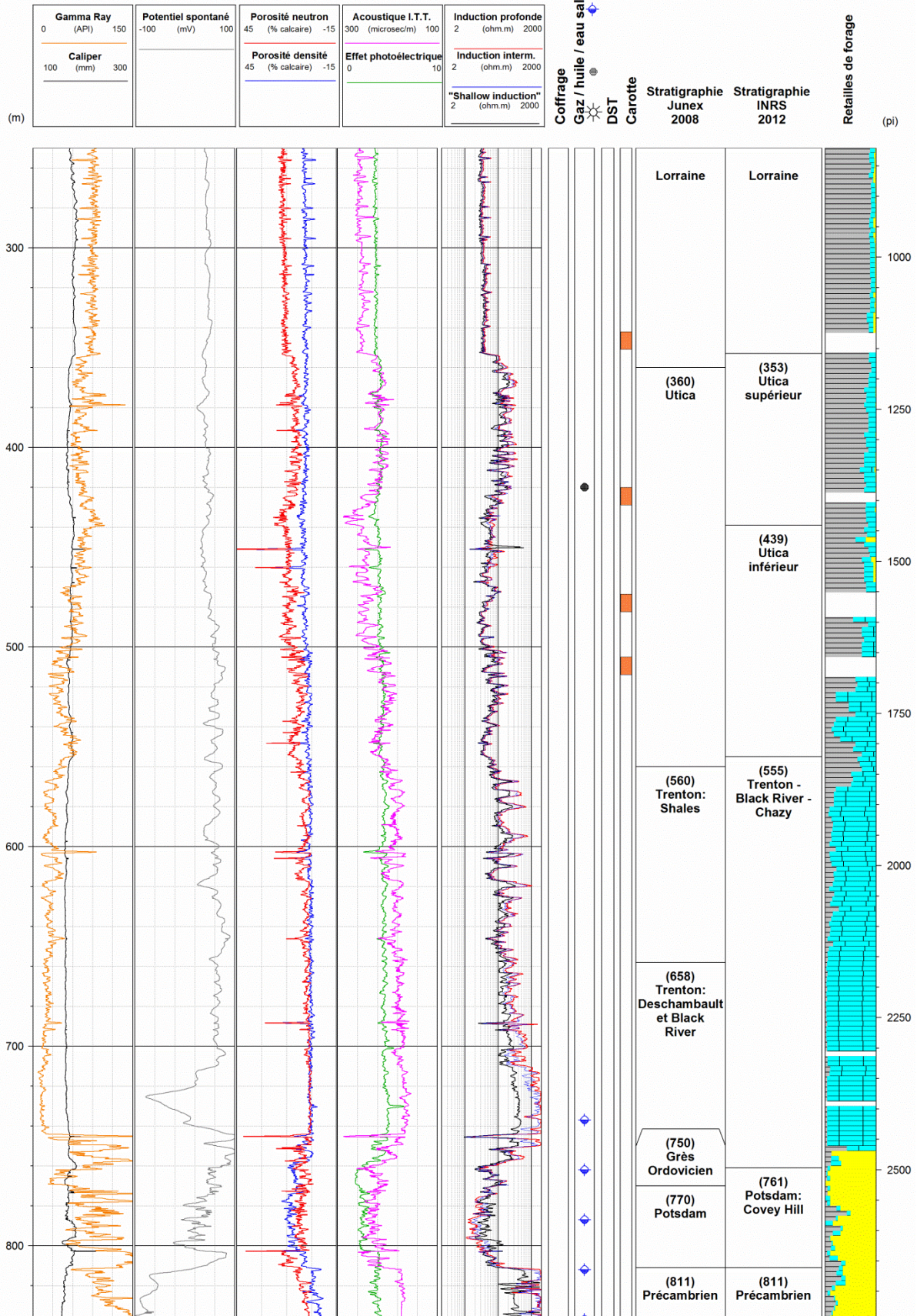


A257 - Junex, Saint-Augustin-de-Desmaures No 1

Profondeur totale : 837,5 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 24,7 / 22,6 m

Année de forage : 2008

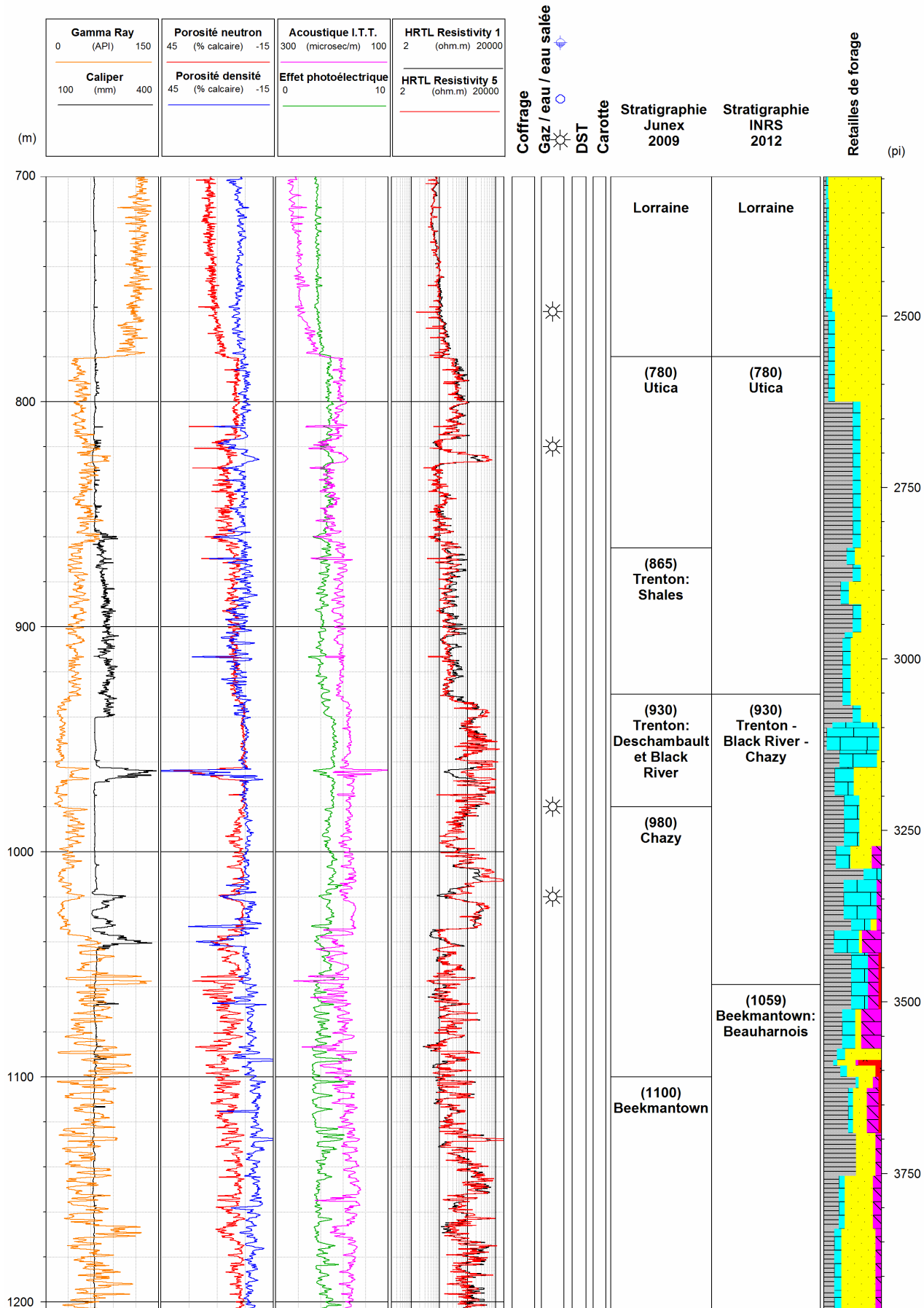


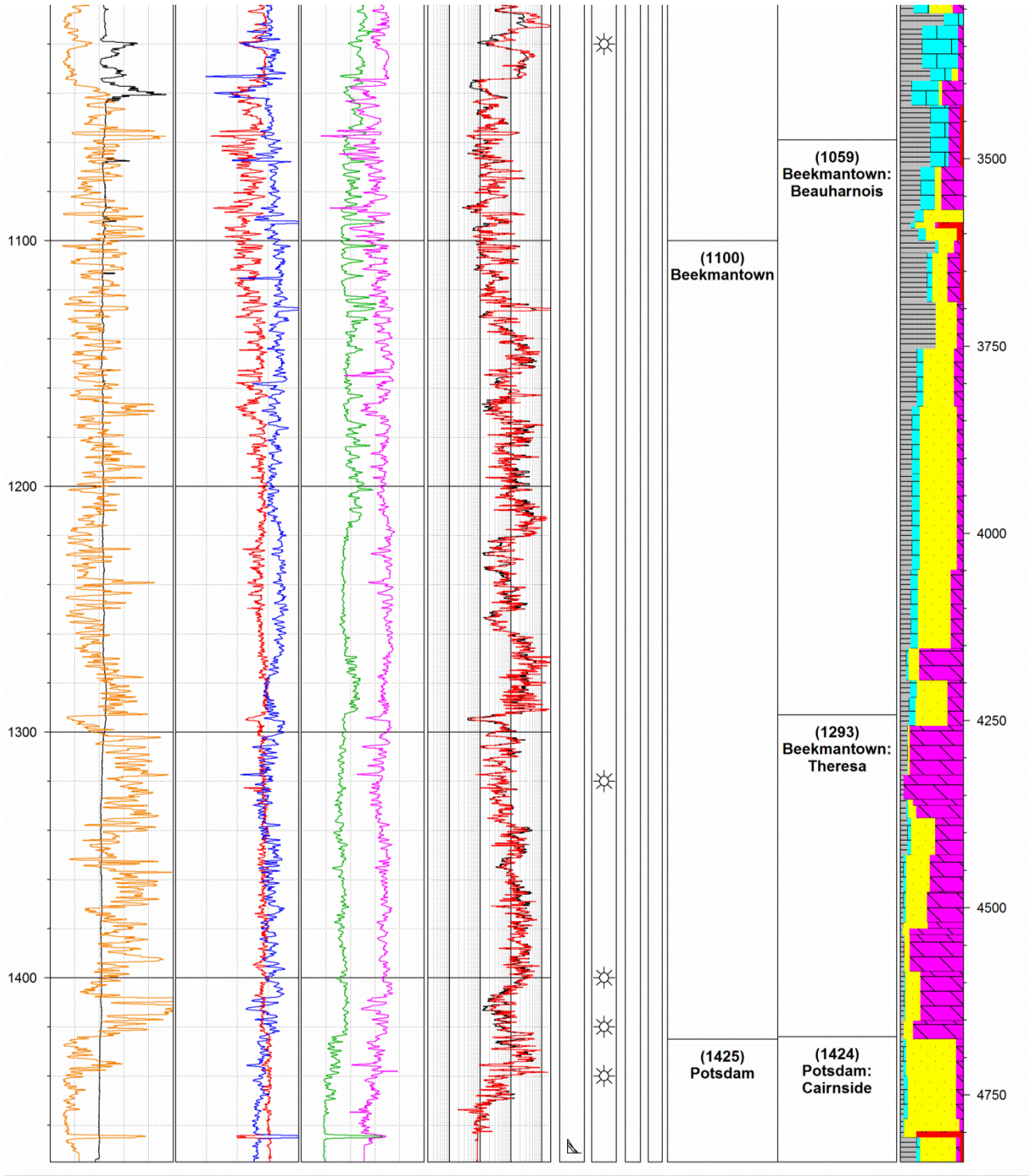
A258 - Junex, Saint-Antoine-sur-Richelieu No 1

Profondeur totale : 1475,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 22,0 / 20,0 m

Année de forage : 2008



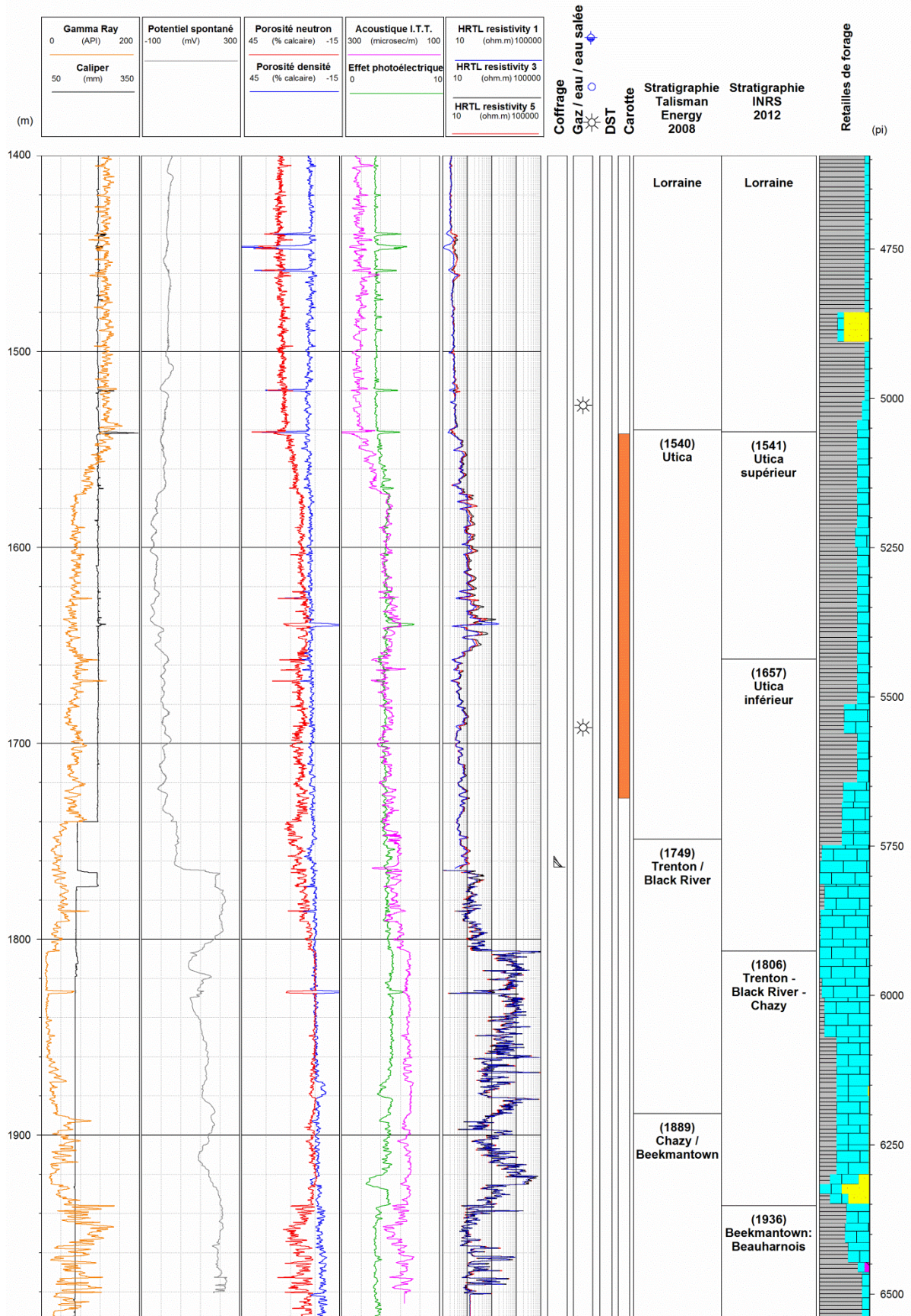


A259 - Talisman Energy, Saint-David No 1

Profondeur totale : 1995,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 36,0 / 32,0 m

Année de forage : 2008

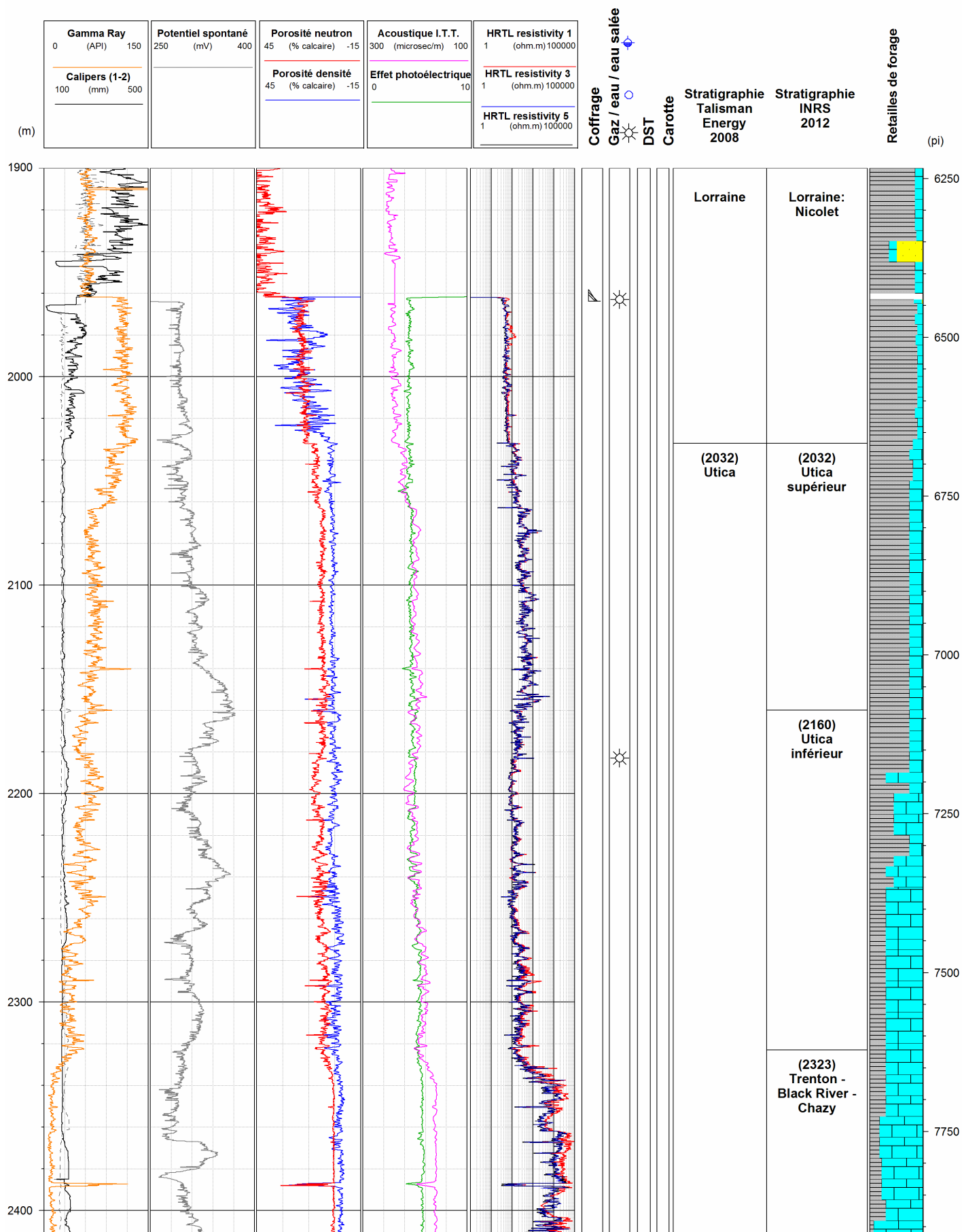


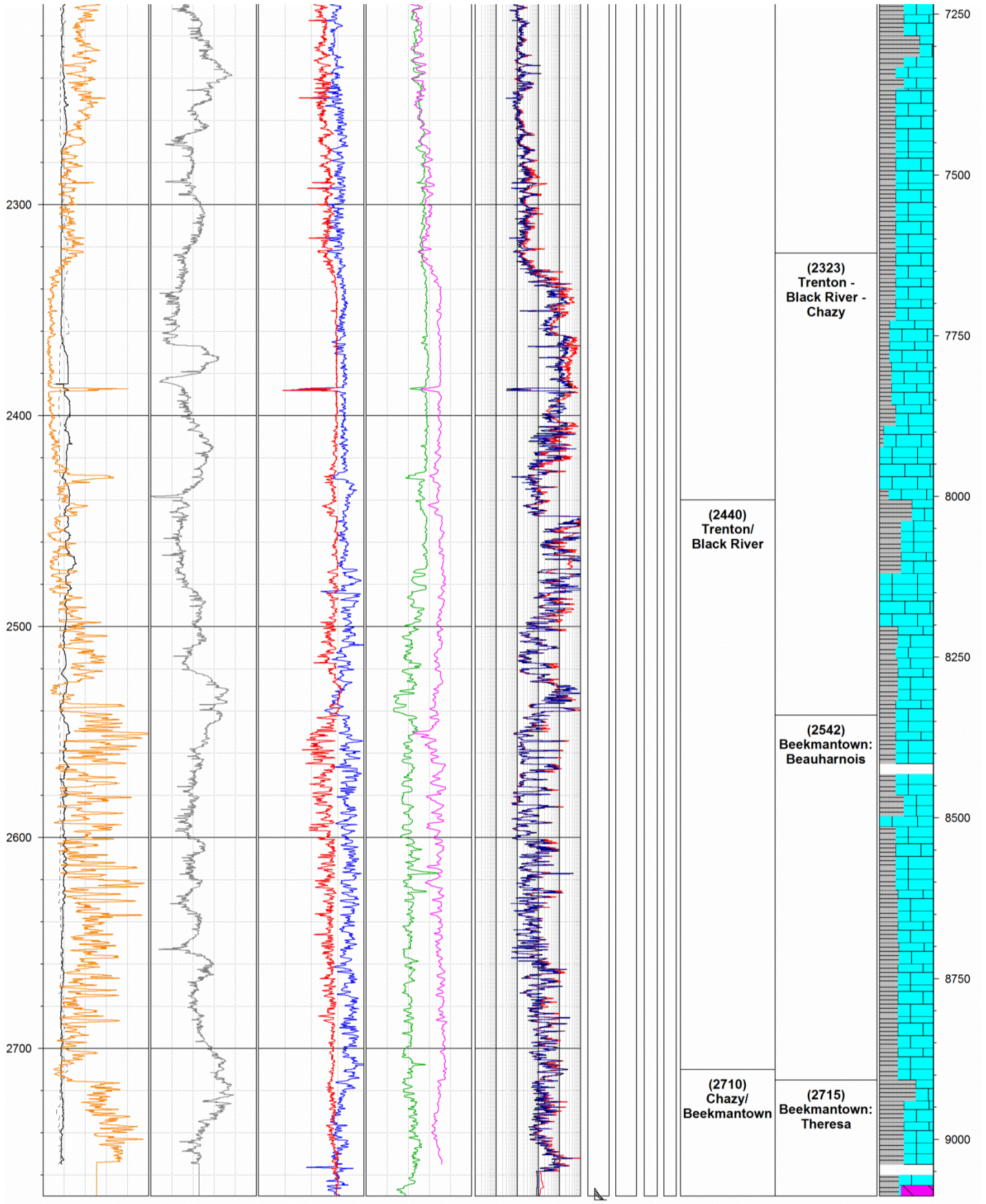
A261 - Talisman Energy, La Visitation No 1

Profondeur totale : 2770,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 58,9 / 54,9 m

Année de forage : 2008



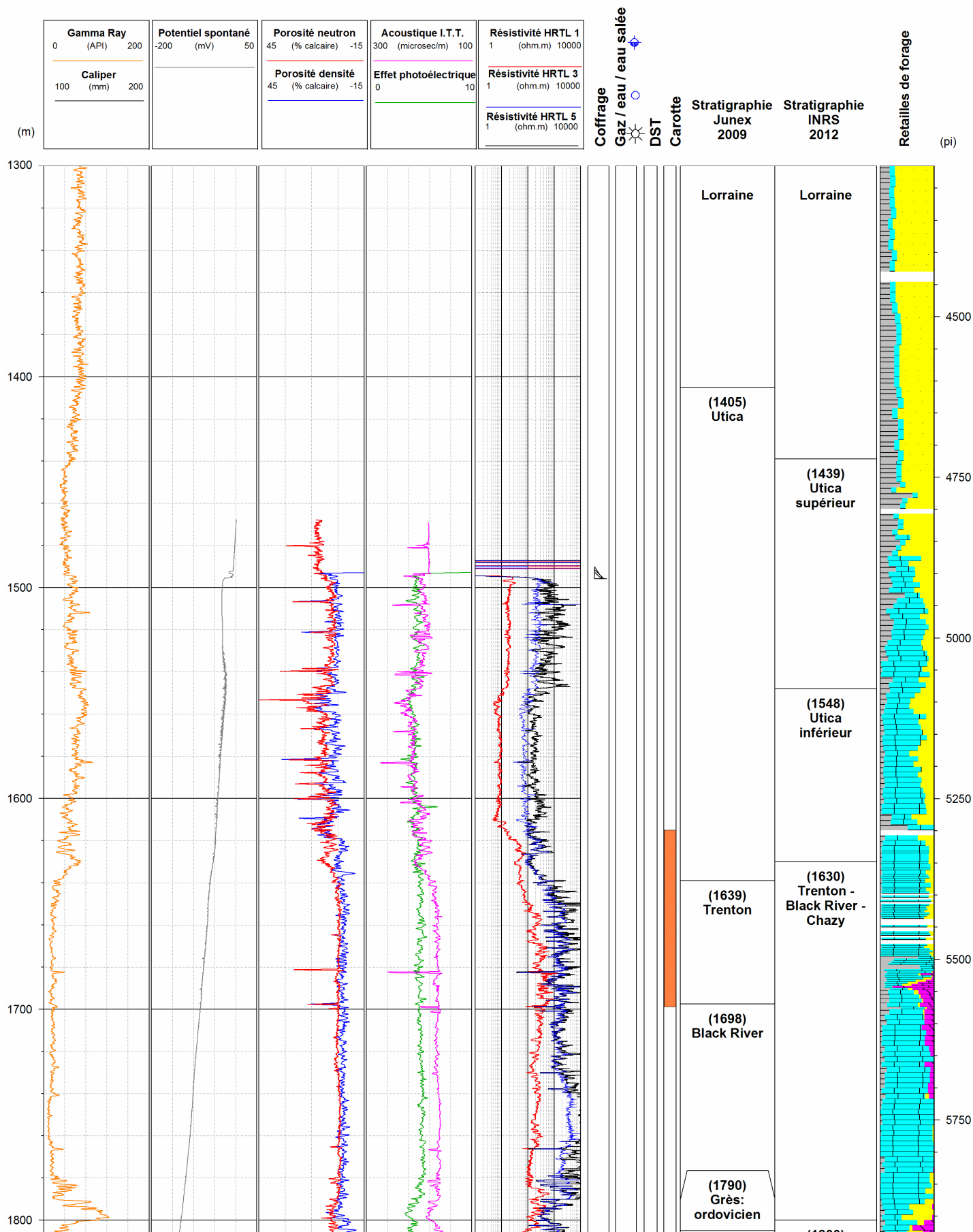


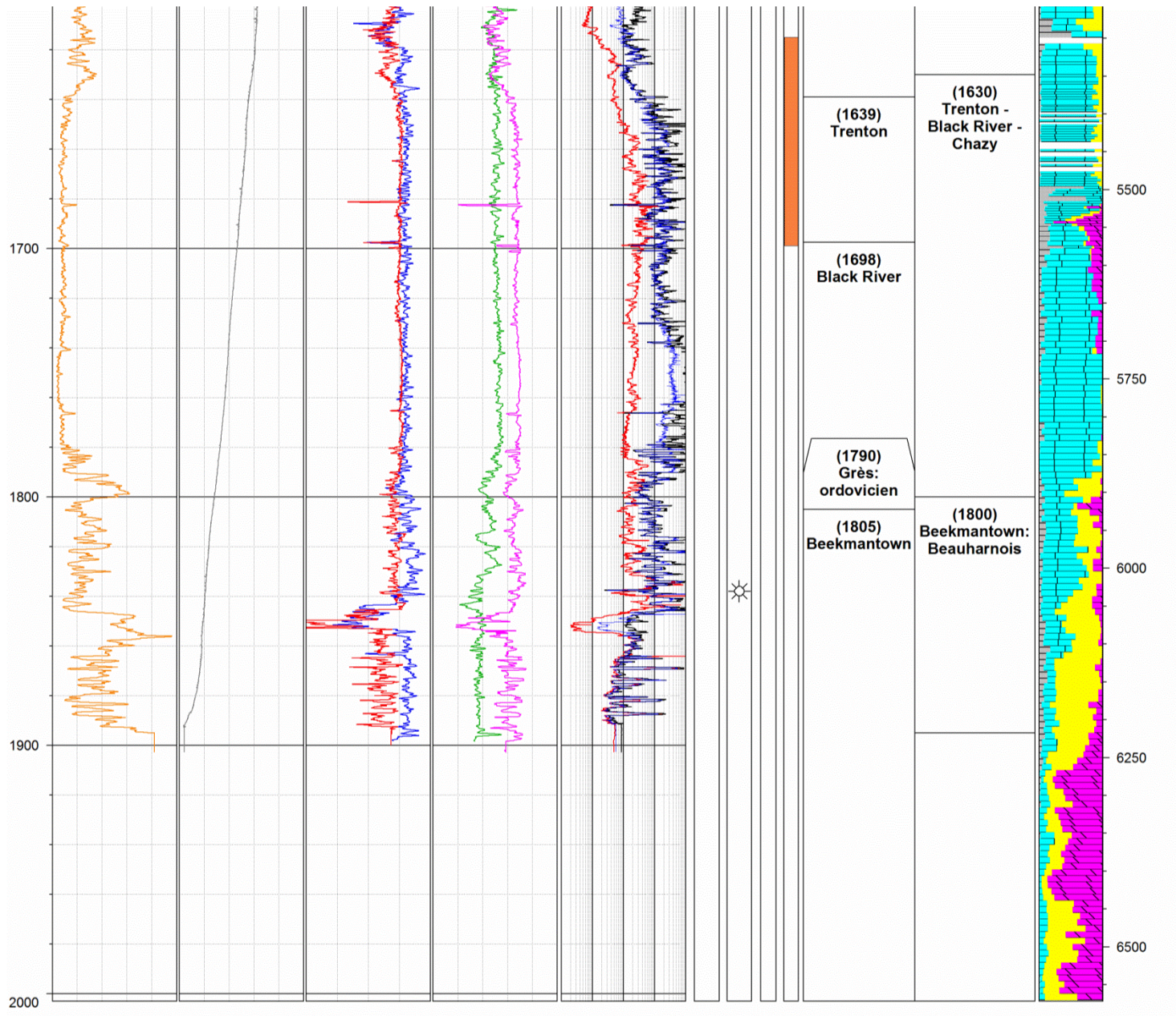
A262 - Junex Bécancour No 9

Profondeur totale : 2003,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 34,1 / 32,0 m

Année de forage : 2008



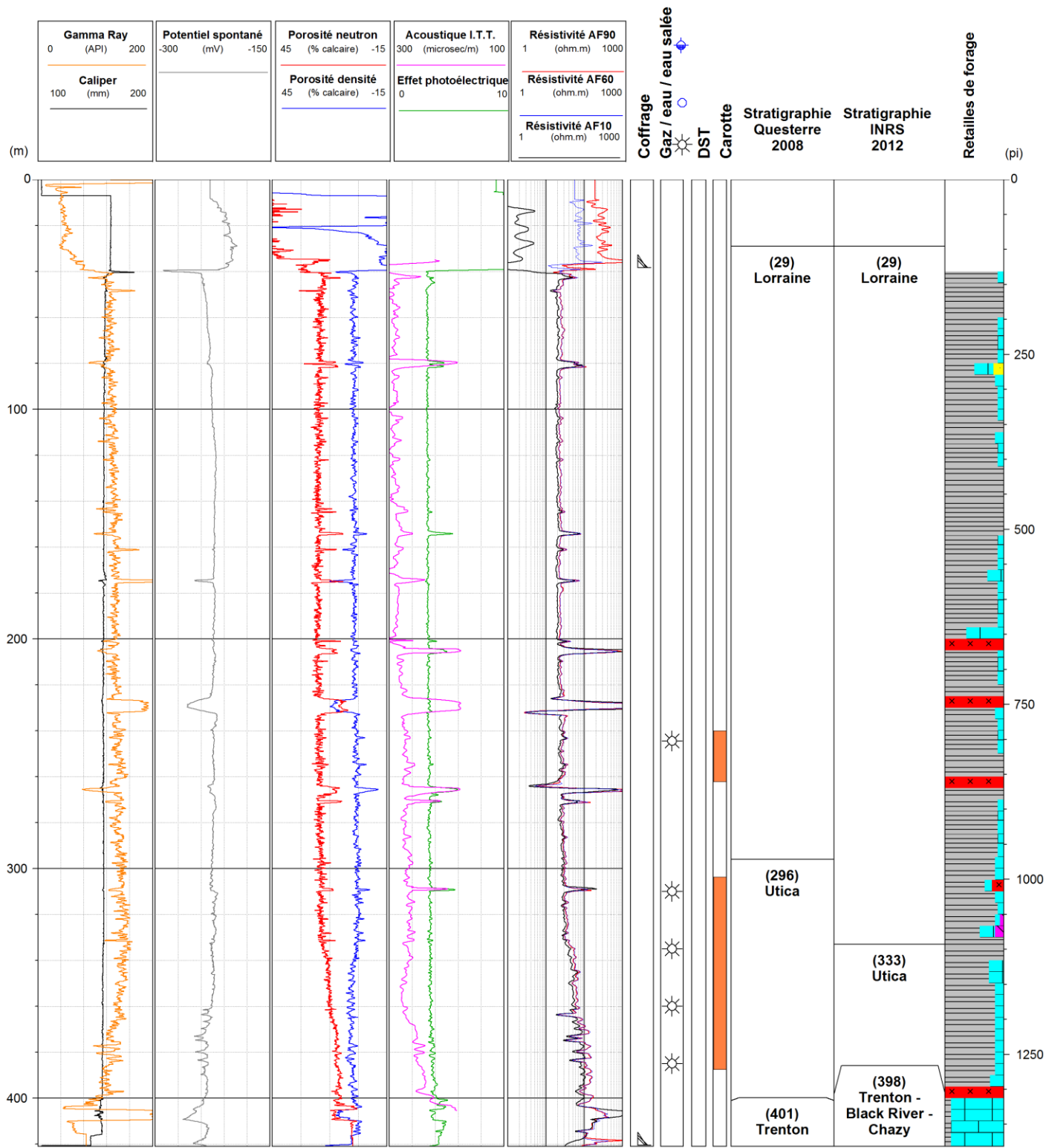


A263 - Questerre et al., Saint-Jean-sur-Richelieu No 1

Profondeur totale : 421,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 39,4 / 35,9 m

Année de forage : 2008



A267 - Talisman Energy, Saint-Édouard No 1

Profondeur totale : 2584,0 m

Élévation du KB / sol (p/mer) : 93,4 / 88,7 m

Année de forage : 2009

