



**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU**  
**Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques**  
**Département des Sciences Géologiques**

Mémoire de fin d'études  
En vue de l'obtention du diplôme de  
**MASTER EN GEOLOGIE**  
**Option : Bassins Sédimentaires**

**Thème :**

**Analyse Minéralogique et Environnement de Dépôt des Réservoirs du Dévonien  
Moyen-Inférieur de la Région d'El Ouar à Partir des Mesures du Gamma Ray  
Spectral. Bassin de Berkine ; Sud-Est Algerie.**

**Proposé par : M. ALIOUI Salah**

**Réalisé par : M. ASSOUS Chafa**

Soutenu le .../.../2018

Devant le jury :

<b>M. KARDACHE Ramdane</b>	<b>MCA FSBSA/UMMTO</b>	<b>Président</b>
<b>M. AMROUCHE Farid</b>	<b>MAA FSBSA/UMMTO</b>	<b>Promoteur</b>
<b>M. ALIOUI Salah</b>	<b>Ingénieur Géologue SONATRACH</b>	<b>Co-Promoteur</b>
<b>M<sup>me</sup>. MOFRADJ Isma</b>	<b>MAA FSBSA/UMMTO</b>	<b>Examinatrice</b>

**Promotion 2017 /2018**

## Remerciements

*Je tiens en premier lieu à remercier le **BON DIEU** qui m'a donné la force et la volonté pour effectuer ce modeste travail.*

Mes remerciements vont à tous ceux qui ont contribué à la réussite de ce travail, en particulier mes chers parents, mes frères et sœurs pour les divers sacrifices et de m'avoir fourni depuis très longtemps déjà un cadre familial propice à un épanouissement personnel et scolaire, et pour m'avoir soutenu quoi qu'il arrive.

Je tiens à exprimer mes remerciements pour tous mes enseignants qui m'ont transmis leur précieux savoir et leur sagesse, en particulier pour mon promoteur M AMROUCHE Farid, qui garde toujours son bureau ouvert à toute personne ayant besoin d'aide et de m'avoir encadré.

Mes remerciements vont à mon encadreur à la division Exploration-Sonatrach M ALIOUI Salah, de m'avoir aidé et orienté par ses conseils fructueux et pour les facilités qu'il m'a octroyées durant le stage.

Un remerciement à M ZEROUK Mohammed ingénieur géologue à la division Exploration-Sonatrach qui a mis à ma disposition toute chose qui pouvait m'être utile et de m'avoir encouragé pour avancer dans mon projet.

Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury : M KARDACHE, président du jury. M AMROUCHE et M ALIOUI, mes promoteurs. Mme MOFRADJ qui a accepté d'examiner notre travail. Que tous, trouvent ici l'expression de ma gratitude.

Je voudrais aussi remercier toute l'équipe pédagogique de département des sciences géologiques qui m'ont suivie durant tout mon parcours à l'université pour leur bienveillance, leur encadrement et leur dévouement ainsi que mes camarades.

## *Dédicaces*

*C'est avec profonde gratitude que je dédie*

*ce travail à la mémoire de la femme*

*la plus chère à mon cœur,*

*ma mère que Dieu te*

*grâce par son paradis ;*

*À mon cher père pour tous ces sacrifices,*

*son amour, son encouragements et*

*son soutien tout au long de ma vie ;*

*À mes adorables frères ;*

*À mes chères sœurs ;*

*À mon âme sœur chacha ;*

*À tous mes chers cousins et cousines ;*

*À tous mes chers amis sur tout :*

*L. Kiki, B. Mounir, C. Toufik, T. Amine, K. Karim,*

*M. Ali, L. Idir, I. Mohammed, C. Khaled, T. Aziz, C. Ali,*

*A. Sliman, B. Bilal, D. Mhena, S. Rafik, B. Chabane, D. Amazigh,*

*T. Tahar, Ch. Samir, F. Rabah, B. Aghilas, B. Mehrez, D. Mohammed*

*À la mémoire de défunt mon ami LOUANCHI Abderahim*

*que Dieu Te grâce par son paradis.*

*À tous ceux qui ont participé à ma réussite.*

*CHAFÀ ASSOUS.*

# Table des matières

Remerciements.	
Dédicaces.	
Liste des figures.	
Liste des tableaux.	
Résumé.....	1
Abstract.....	2

## CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS

I. Partie I : introduction générale. ....	3
I.1 Problématique :.....	3
I.2 Historique de l’exploration dans la région d’El Ouar : .....	3
I.3 Méthodologie :.....	4
II. Partie II : contexte général. ....	5
II.1 Introduction :.....	5
II.2 Contexte régional : .....	7
II.2.1 Cadre géographique du bassin de Berkine :.....	7
II.2.2 Cadre géologique du bassin de Berkine :.....	8
II.2.3 Lithostratigraphie du bassin de Berkine : .....	8
II.2.4 Cadre structural du bassin de Berkine : .....	14
II.2.5 Evolution structurale :.....	16
II.2.6 Système pétrolier du bassin de Berkine :.....	19
II.3 Contexte local (région d’étude) :.....	26
II.3.1 Cadre géographique de la région d’étude :.....	26
II.3.2 Cadre géologique de la région d’étude :.....	27
II.3.3 Aspect lithostratigraphique et environnement de dépôt du Dévonien :.....	28

## CHAPITRE II : DÉMARCHE ET DONNÉES DE BASE.

<b>I. Les minéraux radioactifs .....</b>	<b>40</b>
<b>I.1 Les argiles .....</b>	<b>40</b>
<b>I.1.1 Introduction.....</b>	<b>40</b>
<b>I.1.2 La structure des minéraux argileux .....</b>	<b>40</b>
<b>I.1.3 Les espèces des minéraux argileux .....</b>	<b>41</b>
<b>I.1.4 Origine des argiles .....</b>	<b>44</b>
<b>I.1.5 Nature des minéraux argileux .....</b>	<b>45</b>
<b>I.2 Les micas.....</b>	<b>46</b>
<b>I.2.1 Introduction.....</b>	<b>46</b>
<b>I.2.2 Altération des micas .....</b>	<b>46</b>
<b>I.3 Les feldspaths .....</b>	<b>47</b>
<b>I.3.1 Introduction.....</b>	<b>47</b>
<b>I.3.2 Altération des feldspaths.....</b>	<b>48</b>
<b>I.4 Les minéraux lourds .....</b>	<b>48</b>
<b>II. Les diagraphies.....</b>	<b>49</b>
<b>II.1 Introduction .....</b>	<b>49</b>
<b>II.2 Mesures de la radioactivité naturelle totale.....</b>	<b>50</b>
<b>II.3 Mesures du temps de parcours de l'onde sonique.....</b>	<b>50</b>
<b>II.4 Mesures de spectrométrie du rayonnement gamma naturel.....</b>	<b>51</b>
<b>II.4.1 Principe de la spectrométrie.....</b>	<b>51</b>
<b>II.4.2 Intérêt de la spectrométrie .....</b>	<b>53</b>

## CHAPITRE III : APPLICATION DE L'ANALYSE MINÉRALOGIQUE.

<b>I. Introduction.....</b>	<b>57</b>
<b>II. Découpage des unités réservoirs ; log lithologique (grès-argile).....</b>	<b>57</b>
<b>II.1 Méthodologie .....</b>	<b>57</b>
<b>II.2 Contenu Lithologique du puits : well-1.....</b>	<b>58</b>

II.2.1	L'intervalle de 3489.07 - 3338.18 : Gédinnien F6-3 .....	58
II.2.2	L'intervalle de 3338.18 - 3160.50 : Siégenien F6-1 .....	59
II.2.3	L'intervalle de 3160.50 - 3145.67 : Emsien F4 .....	60
II.2.4	L'intervalle de 3145.67 - 3030.55 : le Gévitien F3 .....	61
II.3	Contenu Lithologique du puits : well-2 .....	63
II.3.1	L'intervalle inconnu - de 3731.87 : Gédinnien F6-3 .....	63
II.3.2	L'intervalle de 3731.87 - 3473.88 : Siégenien F6-1 .....	64
II.3.3	L'intervalle de 3473.88 - 3443.89 : Emsien F4 .....	65
II.3.4	L'intervalle de 3443.89 - 3240.23 : le Gévitien F3 .....	66
II.4	Contenu Lithologique du puits : well-3 .....	68
II.4.1	L'intervalle de 3864.43 - 3689.93 : Gédinnien F6-3 .....	68
II.4.2	L'intervalle de 3458.82 – 3689.93 : Siégenien F6-1 .....	69
II.4.3	L'intervalle de 3458.82 - 3416.22 : Emsien F4 .....	70
II.4.4	L'intervalle de– 3416.22 - 3225.79 : le Gévitien F3 .....	71
III.	Caractérisation minéralogique des différentes unités réservoirs .....	73
III.1	Méthodologie .....	73
III.2	Contenu minéralogique du puits : well-1 .....	74
III.2.1	L'intervalle de 3489.07 - 3338.18: Gédinnien F6-3 .....	74
III.2.2	L'intervalle de 3338.18 - 3160.50 : Siégenien F6-1 .....	76
III.2.3	L'intervalle de 3160.50 - 3145.67 : Emsien F4 .....	77
III.2.4	L'intervalle de 3145.67 - 3030.55 : le Gévitien F3 .....	78
III.3	Contenu minéralogique du puits : well-2 .....	80
III.3.1	L'intervalle de inconnu - 3731.87 : Gédinnien F6-3 .....	80
III.3.2	L'intervalle de 3731.87 - 3473.88 : Siégenien F6-1 .....	81
III.3.3	L'intervalle de 3473.88 - 3443.89 : Emsien F4 .....	82
III.3.4	L'intervalle de 3443.89 - 3240.23 : le Gévitien F3 .....	83
III.4	Contenu minéralogique du puits : well-3 .....	85
III.4.1	L'intervalle de 3864.43 - 3689.93 : Gédinnien F6-3 .....	85

III.4.2 L'intervalle de 3689.93 - 3458.82 : Siégenien F6-1 .....	86
III.4.3 L'intervalle de 3458.82 - 3416.22 : Emsien F4 .....	87
III.4.4 L'intervalle de 3416.22 - 3225.79 : le Gévitien F3.....	89
IV. Essai de caractérisations des environnements de dépôts.....	90
IV.1 Méthodologie .....	90
IV.2 Les environnements de dépôts des intervalles étudiés de puits well-1 .....	91
IV.2.1 Les environnements de dépôts du Gédinnien F6-3 .....	91
IV.2.2 Les environnements de dépôts du Siégenien F6-1.....	92
IV.2.3 Les environnements de dépôts de l'Emsien F4 .....	93
IV.2.4 Les environnements de dépôts du le Gévitien F3.....	95
V. Corrélation et proposition d'un nouveau découpage pour la région.....	97
V.1 Corrélation de l'unité Gédinnienne F6-3 .....	100
V.1.1 Selon la Direction Nord-Est/Sud-Ouest.....	100
V.1.2 Selon la Direction Est-Ouest.....	100
V.2 Corrélation de l'unité Siégenienne F6-1 .....	102
V.2.1 Selon la Direction Nord-Est/Sud-Ouest.....	102
V.2.2 Selon la Direction Est/Ouest .....	102
V.3 Corrélation de l'unité Emsienne F4.....	104
V.3.1 Selon la Direction Nord-Est/Sud-Ouest.....	104
V.3.2 Selon la Direction Est/Ouest .....	104
V.4 Corrélation de l'unité Gévitienne F3 .....	105
V.4.1 Selon la Direction Nord-Est/Sud-Ouest.....	106
V.4.2 Selon la Direction Est/Ouest .....	106
Conclusion générale.....	108
Perspective.....	108
Références bibliographiques.....	109

## Liste des figures

figure	Titre	page
Figure I-01	Coupe NW-SE montrant, les ensembles géologiques de l'Algérie, passant par le Bassin de Berkine, (WEC, 2007).	06
Figure I-02	Carte de situation géographique du bassin de Berkine (WEC, 2007, modifiée).	07
Figure I-03	Limites d'extension des bassins sédimentaires algériens	08
Figure I-04	Colonne lithologique synthétique du bassin de Berkine (Boudjema, 1987).	13
Figure I-05	Les éléments tectoniques du bassin de Berkine. (Sonatrach, 2003)	15
Figure I-06	Esquisse structurale schématique de la synclise Est-Algérienne (CHAOUICHE ,1992)	17
Figure I-07	Les différentes phases de déformations affectant le bassin de Berkine (Boudjema, 1987).	18
Figure I-08	Extension et maturité des roches mère silurienne et Frasnienne au Sud-Est de l'Algérie. (WEC, 2007)	19
Figure I-09	Séries pétrolifères du bassin de Berkine. (Sonatrach, 1991).	23
Figure I- 10	Coupe montrant les pièges et les voies de migration des hydrocarbures (WEC. 2007).	25
Figure I-11	Carte de situation de la région d'El Ouar ainsi que de la région d'étude (Doc. SONATRACH, modifiée).	26
Figure I-12	Charte chronostratigraphique synthétique de l'intervalle étudié présentant les réservoirs ciblés et les marqueurs utilisés. (Beicip Franlab, 2017, modifiée)	30
Figure I- 13	Modèle conceptuel des dépôts dévoniens du Gédinnien (Beicip Franlab, 2017, modifiée)	31
Figure I- 14	Modèle conceptuel des dépôts dévoniens du Siegenien (Beicip Franlab, 2017, modifiée)	34
Figure II- 01	Types de phyllosilicates formés au cours de l'altération.	45

Fig II-02	Cross-plot Thorium / potassium pour l'identification des minéraux en utilisant les données de rayons gamma spectral. (NAFTA-GAZ. 2016).	54
Figure III-01	Carte de position des puits	57
Figure III-02	La légende des logs lithologiques.	58
Figure III-03	Log lithologique du réservoir Gédinnien F6-3 de puits well-1.	59
Figure III-04	Log lithologique du réservoir Siégenien F6-1 de puits well-1.	60
Figure III-05	Log lithologique du réservoir Emsien F4 de puits well-1.	61
Figure III-06	Log lithologique du réservoir Gévitien F3 de puits well-1.	62
Figure III-07	Log lithologique complet du puits well-1.	63
Figure III-08	Log lithologique du réservoir Gédinnien F6-3 de puits well-2.	64
Figure III-09	Log lithologique du réservoir Siégenien F6-1 de puits well-2.	65
Figure III-10	Log lithologique du réservoir Emsien F4 de puits well-2.	66
Figure III-11	Log lithologique du réservoir Gévitien F3 de puits well-2.	67
Figure III-12	Log lithologique complet du puits well-2.	68
Figure III-13	Log lithologique du réservoir Gedinien F6-3 de puits well-3.	69
Figure III-14	Log lithologique du réservoir Siegenien F6-1 de puits well-3.	70
Figure III-15	Log lithologique du réservoir Emsien F4 de puits well-3.	71
Figure III-16	Log lithologique du réservoir Gévitien F3 de puits well-3.	72
Figure III-17	Log lithologique complet du puits well-3.	73
Figure III-18	La légende de la minéralogie établie à partir du rapport Th/K.	75
Figure III-19	Log minéralogique du réservoir Gedinien F6-3 de puits well-1.	76
Figure III-20	Log minéralogique du réservoir Siegenien F6-1 de puits well-1.	77
Figure III-21	Log minéralogique du réservoir Emsien F4 de puits well-1.	78
Figure III-22	Log minéralogique du réservoir Gévitien F3 de puits well-1.	79
Figure III-23	Log minéralogique de l'intervalle étudié du puits well-1.	80
Figure III-24	Log minéralogique du réservoir Gedinien F6-3 de puits well-2.	81
Figure III-25	Log minéralogique du réservoir Siegenien F6-1 de puits well-2.	82

Figure III-26	Log minéralogique du réservoir Emsien F4 de puits well-2.	83
Figure III-27	Log minéralogique du réservoir Gévitien F3 de puits well-2.	84
Figure III-28	Log minéralogique complet de puits well-2.	85
Figure III-29	Log minéralogique du réservoir Gedinien F6-3 de puits well-3.	86
Figure III-30	Log minéralogique du réservoir Siegenien F6-1 de puits well-3.	87
Figure III-31	Log minéralogique du réservoir Emsien F4 de puits well-3.	88
Figure III-32	Log minéralogique du réservoir Gévitien F3 de puits well-3.	89
Figure III-33	Log minéralogique de l'intervalle étudié du puits well-3.	90
Figure III-34	La légende des environnements de dépôts établis à partir du rapport Th/U.	91
Figure III-35	Détermination des environnements de dépôts du gédinnien F6-3.	92
Figure III-36	Détermination des environnements de dépôts du siegenien F6-1.	93
Figure III-37	Détermination des environnements de dépôts de l'Emsien F4.	94
Figure III-38	Détermination des environnements de dépôts du Gévitien F3.	95
Figure III-39	Détermination des environnements de dépôts de l'intervalle étudié du puits well-1.	96
Figure III-40	Carte de position des puits et des deux profils de corrélation.	98
Figure III-41	profil de corrélation lithostratigraphique à travers les puits ; well-3, well-1.	99
Figure III-42	Profil de corrélation lithostratigraphique entre les puits ; well-3, well-2	100
Figure III-43	corrélation lithostratigraphique de l'unité F6-3 passant par les puits well3, well-1.	102
Figure III-44	corrélation lithostratigraphique de l'unité F6-1 passant par les puits well3, well-1	104
Figure III-45	corrélation lithostratigraphique de l'unité F6-1 passant par les puits well3, well-2	104
Figure III-46	corrélation lithostratigraphique de l'unité F4 passant par les puits well3, well-1	106
Figure III-47	corrélation lithostratigraphique de l'unité F4 passant par les puits well3, well-2	106
Figure III-48	corrélation lithostratigraphique de l'unité F3 passant par les puits well3, well-1	108

Figure III-49	corrélation lithostratigraphique de l'unité F3 passant par les puits well3, well-2	108
---------------	--	-----

### **Liste des Tableaux**

Tableau	Titre	Page
Tableau I-1	tableau montre les principaux environnements de dépôts du dévonien inférieur-moyen.	39
Tableau II-01	Les caractéristiques des éléments radioactifs Thorium, Uranium le Potassium.	52
Tableau II-02	l'importance des trois rapports. Th/U, U/K, Th/K.	56

**Résumé :**

Notre projet de fin d'études est basé sur les données de gamma ray spectral, trois (03) puits ont été forés dans la région d'El Ouar, situé sur la bordure méridionale du bassin de Berkine, à l'aplomb du flanc nord du môle d'Ahara, qui sépare le bassin de Berkine au nord de celui d'Illizi au sud.

Le gamma ray spectral représente un outil puissant pour l'identification des environnements de dépôts et la caractérisation minéralogique des roches qui n'est pas toujours utilisé mais qui peut représenter une alternative intéressante pour les corrélations et la caractérisation des réservoirs du Dévonien inférieur-moyen.

Cette étude représente la première application de la méthode gamma ray spectral sur les puits récemment forés dans la région d'El Ouar et qui montrent des difficultés de corrélation au niveau du Dévonien inférieur –moyen. Cette nouvelle approche nous a permis, entre autre, de proposer un modèle minéralogique et un nouveau découpage pour la région d'El Ouar basé sur l'interprétation des mesures du gamma ray spectral.

Afin de déduire les environnements de dépôts dans la région d'El Ouar, nous avons utilisé deux méthodes ; la première c'est à partir des minéraux radioactifs typiques de certains environnements présents dans la région étudiée. La seconde c'est à partir des valeurs des principales sources radioactives (les éléments ; Thorium, Potassium, Uranium) on effectue des rapports entre les abondances (Thorium/Uranium) afin de déduire les environnements de dépôts.

**Mots clé :** bassin de Berkine, El Ouar, Dévonien inférieur-moyen, spectrométrie, minéraux radioactif, environnement de dépôt.

**Abstract :**

Our end-of-studies project is based on the spectral gamma ray data of three (03) wells which were drilled in the El Ouar region located on the southern edge of the Berkine basin, directly above the northern flank of the Ahara mole, which separates the basin of Berkine north of that of Illizi in the south.

Spectral gamma ray is a powerful tool for identifying depositional environments and mineralogical characterization of rocks that is not always used but may be an interesting alternative for lower-middle Devonian reservoir correlations and characterization.

This study represents the first application of the gamma ray spectral method on wells recently drilled in the El Ouar region and which show correlation difficulties at the Lower Devonian-Middle level. This new approach has enabled us, among other things, to propose a mineralogical model and a new division for the El Ouar region based on the interpretation of spectral gamma ray measurements.

In order to deduce the depositional environments in the El Ouar region, we used two methods; the first is from the radioactive minerals typical of certain environments present in the region studied. The second is based on the values of the main radioactive sources (the elements : Thorium, Potassium, Uranium) and the relationships between the abundances (Thorium / Uranium) in order to deduce the depositional environments.

**Key word** : Berkine Basin, El Ouar, Lower-Middle Devonian, spectrometry, radioactive minerals, depositional environment.

# **CHAPITRE I :**

# **GÉNÉRALITÉS**

## **PARTIE I :**

- 1. Problématique.**
- 2. Historique de l'exploration dans la région.**
- 3. Méthodologie.**

## **PARTIE II :**

- 1. Cadre géographique du bassin de Berkine.**
- 2. Cadre géologique du bassin de Berkine.**
- 4. Lithostratigraphie du bassin de Berkine.**
- 5. Contexte structural du bassin de Berkine.**
- 6. Système pétrolier du bassin de Berkine.**
- 7. Région d'étude.**

## **I. Partie I : introduction générale.**

### **I.1 Problématique :**

Le Dévonien inférieur-moyen dans la région d'El Ouar, Bassin de Berkine, est limité par deux discordances importantes : la discordance calédonienne qui tronque les formations sous-jacente du Silurien, et la discordance frasnienne (givetienne) qui tronquent les formations sus-jacente du Dévonien supérieur.

Jusqu'à aujourd'hui les corrélations au niveau de la région reposaient largement sur l'interprétation des courbes du Gamma Ray (GR) et du Sonique (DT). Au niveau des formations du Dévonien inférieur-moyen les réponses du gamma ray et du sonique sont souvent difficiles à interpréter, à cause, entre autre, des différentes variations lithostratigraphiques rencontrées dans la région (biseautage, passages latéraux de facies...), d'où l'intérêt de chercher de nouvelles approches et méthode de corrélation.

Le Gamma Ray Spectral représente un outil puissant pour l'identification des environnements de dépôts et la caractérisation minéralogique des roches qui n'est pas toujours utilisé mais qui peut représenter une alternative intéressante pour les corrélations et la caractérisation des réservoirs du Dévonien inférieur-moyen.

Cette étude représente la première application de la méthode Gamma Ray Spectral sur les puits récemment forés dans la région d'El Ouar et qui montrent des difficultés de corrélation au niveau du Dévonien inférieur –moyen. Cette nouvelle approche permettra, entre autre, de proposer un modèle minéralogique et un nouveau découpage pour la région basée sur l'interprétation des mesures du Gamma Ray Spectral.

### **I.2 Historique de l'exploration dans la région d'El Ouar :**

Le périmètre de recherche El Ouar, d'une superficie totale de 4822.77 Km<sup>2</sup>, a été octroyé à la SONATRACH en date du 20 mars 1996 pour une durée de 05 ans. Durant cette période, l'effort d'exploration a été mené en association avec Neste Oy relayée par Monument-Lasmo à partir du 19 décembre 1999.

Les travaux de recherche ont été couronnés en 1999 par la découverte de gaz à condensat à In Amedjène Nord. De 2001 à 2006, cinq puits ont été réalisés dans le cadre de l'association SONTATRACH/AGIP qui ont permis de mettre en évidence d'autres découvertes à gaz et condensat et une découverte à huile. Sur le rendu de AGIP un deuxième

permis de recherche dénommé « El Ouar II » a été octroyé à SONATRACH en date du 22 mars 2001 pour une durée de 05 ans. Durant cette période de recherche, un puits a été réalisé en effort propre au nord du périmètre. Les objectifs pétroliers de ce puits étaient l'exploration des grès du Trias argileux-gréseux supérieur (TAGS) et du Trias argilo-gréseux inférieur (TAGI), du Tournaisien RKF (grès de Rhourd El Khrouf) et du Strunien F2.

Actuellement deux contrats de recherche et d'exploration sont en cours de validité. Celui d'El Ouar Est à l'Est, et celui d'Erg El Ouar à l'Ouest. Cinq (5) puits ont été forés dans le cadre du contrat Erg El Ouar (bloc 212b) dont les trois (03) puits concernés par la présente étude. (Doc. Sonatrach, 2018.)

### **I.3 Méthodologie :**

Afin d'atteindre l'objectif de notre étude nous avons opté pour la méthodologie suivante qui consiste :

- 1- Une étude bibliographique a été réalisée afin de récolter des informations sur le bassin de Berkine et de réunir les données principales (sédimentologie et diagraphie) de la région d'étude pour la réalisation de ce travail.
- 2- Le découpage des unités réservoirs (grès-argile) - log lithologique à partir des courbes du gamma ray (GR) et du sonique (DT).
- 3- La caractérisation minéralogique des différentes unités réservoirs (à partir de rapports Thorium/Potassium).
- 4- Essai de caractérisations des environnements de dépôts (à l'aide du rapport Thorium/Uranium).
- 5- Corrélation et proposition d'un nouveau découpage pour la région.

## II. Partie II : contexte général.

### II.1 Introduction :

L'Algérie fait partie de l'ensemble Nord-Ouest Africain, dans lequel affleurent des ensembles géologiques divers. On peut distinguer en Algérie deux domaines principaux (Fig.II-1):

- **Un domaine septentrional**, dit alpin. Il comporte au nord l'Atlas tellien, au sud l'Atlas saharien avec les hautes plaines au centre qui les séparent. Cet ensemble est connu pour sa mobilité permanente. Il est représenté par des ensembles de bassin méso-cénozoïque ainsi que des accidents très importants dont le fonctionnement actuel engendre des séismes, surtout dans la partie méditerranéenne. (in MALLA A, et *al*, 2016)

- **Un domaine Méridional**, dit plateforme saharienne qui est séparée du premier par un important accident du nom d'Accident Sud Atlasique. Ce domaine est représenté par le Sahara, où affleurent les socles précambriens du Hoggar et des Eglab ainsi que leur couverture Phanérozoïque étalée sur toute la plate-forme qui est connue pour être plus au moins stable depuis le Paléozoïque. On peut subdiviser cette dernière en trois provinces : occidentale, centrale et orientale. (in MALLA A, et *al*, 2016)

- **La province occidentale** comprend le bassin de l'Ahnet, l'ensellement de Djoua, le bassin de Timimoune, le dôme de oued Namous, l'ensellement d'Azzel Mati, la cuvette de Sbâa, la voûte D'Azzène, l'ensellement de Boubarnous, le bassin de Reggane, de Tindouf et la chaîne de l'Ougarta. (in MALLA A, et *al*, 2016)
- **La province centrale** (triasique), située dans la partie septentrionale de la plate-forme saharienne. Elle englobe le dôme de Tilghemt, le haut fond de Talemzane, l'ensellement de Touggourt, le bassin de Hassi Messaoud et la voûte de Dahar. (in MALLA A, et *al*, 2016)
- **La province orientale** est composée du bassin d'Illizi, le Haut d'Ahara, le Haut du Dahar les bassins de l'Oued Mya, celui de Mouydir, L'ensellement de Djorfa, du Dôme d'Allal, le Môle d'Idjerane, ainsi que le bassin de Berkine. (in MALLA A, et *al*, 2016)

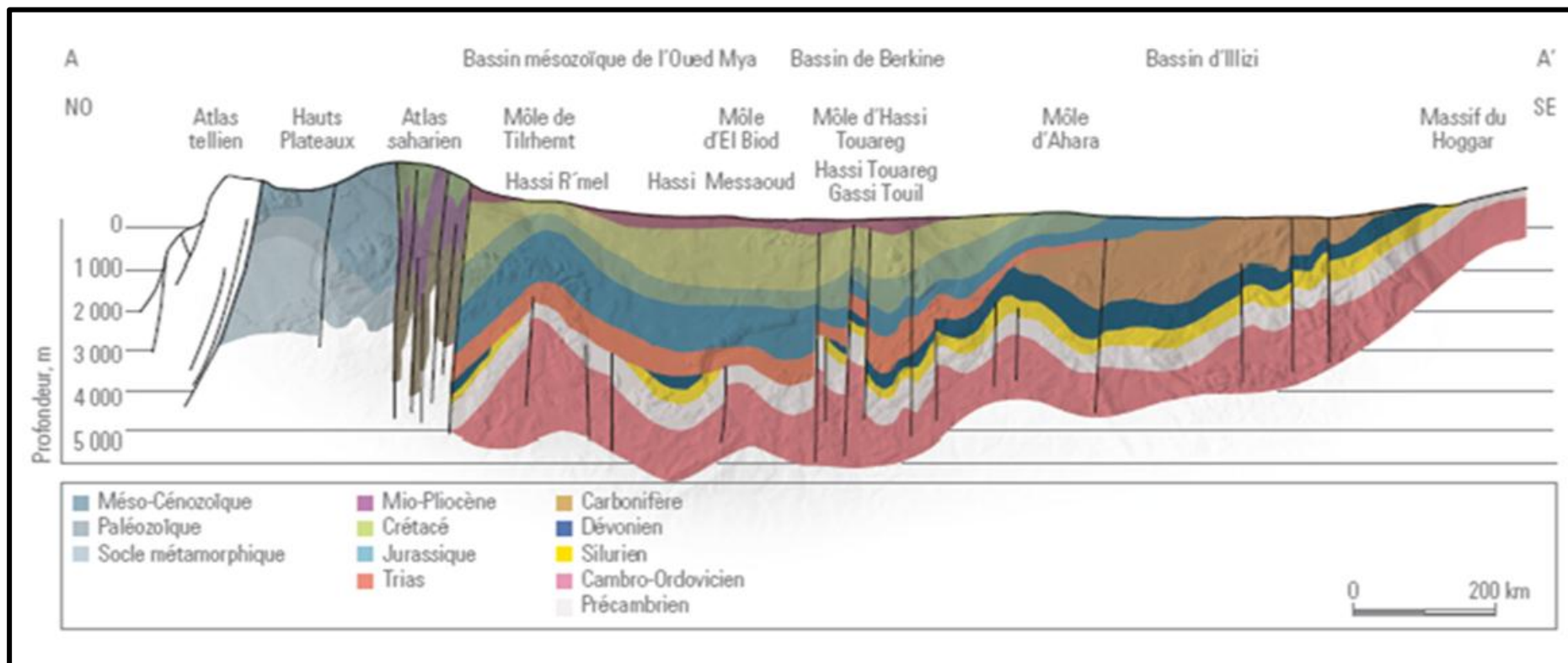


Figure I-01 : Coupe NW-SE montrant, les ensembles géologiques de l'Algérie, passant par le Bassin de Berkine, (WEC, 2007).



**II.2.2 Cadre géologique du bassin de Berkine :**

De point de vue géologique, le bassin de Berkine, est de type intracratonique (WEC. 2007), il se situe dans la partie Nord-Est de la plate-forme saharienne. Sa superficie globale est de 102 395 km<sup>2</sup>, Il est limité au Nord par le môle du Dahar, au Sud par le môle d'Ahara qui le sépare du bassin d'Illizi, à l'Ouest par le môle d'Amguid El Biod et à l'Est par la Libye et la Tunisie (Fig.II-3).

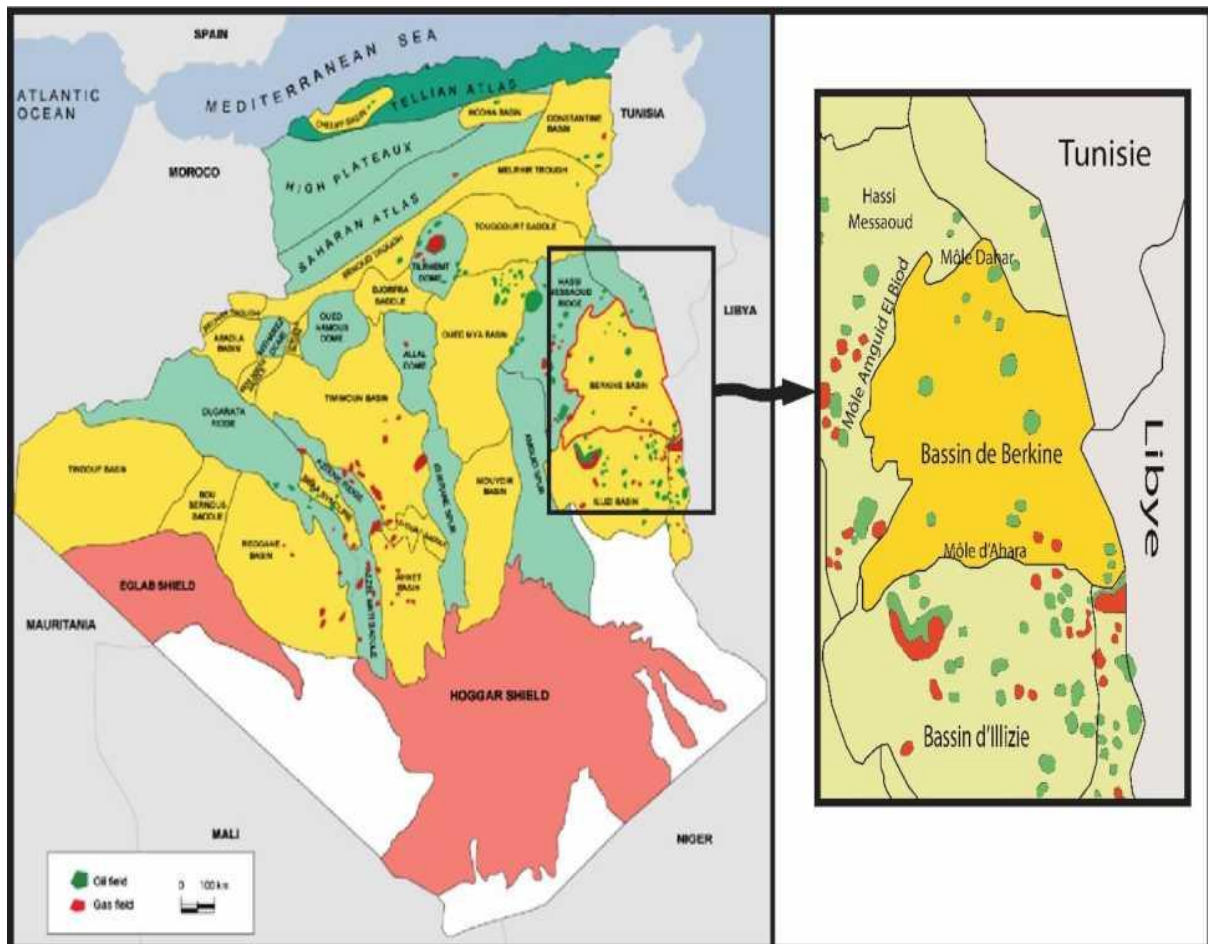


Figure I-03 : Limites d'extension des bassins sédimentaires Algériens (WEC, 2007).

**II.2.3 Lithostratigraphie du bassin de Berkine :**

Le remplissage sédimentaire du bassin de Berkine (Fig.II-04) est formé de séries paléozoïques, érodées parfois jusqu'au Silurien. Celles du mésozoïque reposent en discordance sur les formations paléozoïques et sont recouvertes à leur tour en discordance par un épandage détritique tertiaire.

Les études géologiques et géophysiques ont permis d'établir un log stratigraphique type. (Boudjema, 1987).

### II.2.3.1 Le Paléozoïque :

La série paléozoïque repose en discordance sur le socle précambrien, et débute au Cambrien et se termine au Carbonifère (Whiteman, 1971, *in* MALLA A, et *al*, 2016).

#### II.2.3.1.1 Le Cambrien :

Correspond à la formation des grès de Hassi Messaoud montrant trois termes, à granoclassement décroissant. Il débute à la base par des grès grossiers conglomératiques, mal classés, feldspathiques et argileux, cette sédimentation est de type deltaïque. Cette série est surmontée de grès à grains moyens à grossiers, mal classés, très argileux à nombreuses passées d'argiles. La série se termine par des grès à grains fins à grossiers, anisométriques, quartzitique avec des intercalations d'argiles. Selon (Whiteman, 1971, *in* MALLA A, et *al*, 2016).

#### Le Cambro-Ordovicien :

Le passage du Cambrien à l'Ordovicien est marqué par une zone de transition appelée « Cambro-Ordovicien » qui est composée de deux ensembles. Un ensemble basal constitué d'une alternance de grès fins à moyens admettant des passées d'argiles et de silts à glauconites et des tigillites et un ensemble sommital constitué d'une alternance d'argiles, de silts et de grès fins à glauconites appelée zone des alternances. (*in* MALLA A, et *al*, 2016)

#### II.2.3.1.2 L'Ordovicien :

- a- Il est essentiellement détritique, épais d'environ 250m il est subdivisé en 8 formations (*in* MALLA A, et *al*, 2016) :
- b- Les grès d'El Atchane et parfois des conglomérats contenant des graptolithes du milieu marin profond.
- c- Les grès quartzitiques compacts de Hamra.
- d- Les grès quartzitiques d'Ouargla à grains fins à moyens.
- e- Les argiles noires d'Azzel, micacées.
- f- Les grès d'Oued Saret à grains fins à moyens pouvant être quartzitiques, argileux dolomitiques ou micacés et admettant des intercalations d'argiles.
- g- Les argiles noires silteuses et microconglomératiques à galets de quartz, d'origine marin profond.
- h- Les grès de Ramade constitués à la base de grès quartzitiques et de fines passées d'argiles surmontés par des grès quartzitiques de la dalle de M'Kratta.

**II.2.3.1.3 Le Silurien :**

Il est essentiellement argileux à graptolithes admettent quelques passées de grès blancs à gris sombre et riche en pyrite. Il est surmonté par un ensemble argilo-gréseux. (in MALLA A, et al, 2016)

**II.2.3.1.4 Le Dévonien :**

Il est érodé sur une grande partie du bassin de Berkine, excepté au Nord-Ouest du bassin où il est préservé entièrement (Boudjema, 1987). Reposant parfois sur le Silurien en discordance angulaire (Legrand, 1959. In MALLA A, 2016), Le Dévonien correspond à une série clastique d'épaisseur comprise entre 200 et 700m. Il est composé de dépôts marins organisés selon trois ensembles :

- 1- **Dévonien inférieur** : constitué d'argiles gréseuses.
- 2- **Dévonien moyen** : représenté par une série argilo-carbonatée constituée d'argiles grises indurées, de marnes et de quelques passées gréseuses (Boudjema, 1987).
- 3- **Dévonien supérieur** : formé d'argiles grises, noires à brunes foncées et d'intercalations de calcaires argilo-gréseux.

**II.2.3.1.5 Le Carbonifère :**

Il est formé de calcaires et d'alternances de grès clairs et d'argiles traduisant une évolution d'un milieu lagunaire à continental. L'épaisseur du Carbonifère varie de 900 m à 1050 m (Coquel et Massa, 1993 ; Legrand, 1985. In MALLA A, et al, 2016).

**II.2.3.2 Le Mésozoïque :**

La série mésozoïque est composée des dépôts essentiellement continentaux et caractérisée par une grande variété de faciès (Rossi et al, 2002, in MALLA A, et al, 2016). Elle débute au Trias et se termine au Crétacé supérieur.

**II.2.3.2.1 Le Trias :**

Il est constitué par des sédiments continentaux clastiques, d'une épaisseur qui peut atteindre 300 m (Galeazzi et al, 2008, in MALLA A, et al, 2016). Il comprend quatre unités lithologiques :

**Aux bordures Sud-Est de la province triasique :**

- Le Trias argilo-gréseux inferieur (**TAGI**).
- Le Trias argilo-carbonaté (**TAC**).
- Le Trias argilo-gréseux supérieur (**TAGS**).
- Le trias(**S4**) constitué d'une alternance de sels blancs massifs translucides.

**Centre du bassin de Berkine :**

- Le Trias argilo-gréseux inferieur (**TAGI**).
- Le Trias argilo-carbonaté (**TAC**).
- Le Trias argileux inférieur.

**II.2.3.2.2 Jurassique :**

Il est subdivisé en trois unités lithologiques qui sont de bas en haut :

**1- Le Lias :**

Constitué d'argiles brunes-rouges, à gris verdâtres tendres et admettant des niveaux d'anhydrites blanches passant à des argiles brunes et grises verdâtres tendres à indurées présentant des niveaux d'anhydrite. (in MALLA A, et *al*, 2016)

**2- Le Dogger :**

Formé d'argiles siliceuses carbonatées admettant des intercalations de grès gris blancs très fins argileux localement dolomitiques et des calcaires dolomitiques beiges argileux et des traces de lignites et d'anhydrites. Cet ensemble est surmonté d'argiles siliceuses tendres admettant des intercalations de silts bruns argileux, de grès à grains très fins, argileux et des passées de calcaires argileux. (in MALLA A, et *al*, 2016)

**3- Le Malm :**

Constitué d'une alternance d'argiles versicolores dolomitiques, de calcaires argileux et de grès à grains moyens contenant des traces de lignites, de pyrite et des passés d'anhydrites blanches. (in MALLA A, et *al*, 2016).

**II.2.3.2.3 Crétacé :**

Il est subdivisé en huit unités lithologiques qui sont de bas en haut :

**1- Le Barrémien :**

Est composé de grès blancs à gris clairs, fins à grossiers à intercalations d'argiles brunes rouges à gris vertes, sableuses et carbonatées. (in MALLA A, et *al*, 2016).

**2- L'Aptien :**

Est constitué de calcaires blancs micro-cristallins, argileux montrant des passées de dolomies et d'argiles gris vertes-carbonatés. (in MALLA A, et *al*, 2016)

**3- L'Albien :**

Comprend des grès gris à blancs fins à moyens, parfois grossiers argileux peu consolidés. (in MALLA A, et *al*, 2016)

**4- -Le Céno manien :**

Est composé d'une alternance d'argiles gris-vertes, de sels blancs et des calcaires blancs. (in MALLA A, et *al*, 2016)

**5- Le Turonien :**

Est constitué de calcaires blancs, gris et argileux à intercalations de marnes. (in MALLA A, et *al*, 2016)

**6- -Le Sénonien :**

Comprend des sels massifs à intercalations d'argiles et d'alternances de calcaires parfois dolomitiques, blancs à beiges, de dolomies gris-calcaires à beiges et d'anhydrites blanches (Boudjema, 1987).

**II.2.3.3 Le Cénozoïque :**

Le cénozoïque est constitué par une mince série mio-pliocène de grès à grains grossiers à moyens admettant des passées d'argile. (in MALLA A, et *al*, 2016)

	Age	Formation	Lithologie		Environnement de dépôt	
Mésozoïque	QT	Quaternaire		Grès	Alternance	
	TERT	Mio-Pliocène		Grès, Dolomie/Calcaire	Marin - Lagunaire	
	Crétacé	Senonien	Carbonates		Dolomie, Argile	Alternance Marin - Lagunaire
			Anhydrite		Anhydrite, Dolomie	
			Sel		Sel	
		Turonien		Calcaire, Argile	Fluvio-Lacustre Continental	
		Cenomanien		Grès, Lignite		
		Albien		Dolomie		
		Aptien		Grès, Argiles, Lignites		
		Barremien		Argiles, Grès, Dolomie		
		Néocomien		Argiles, Grès, Anhydrite, Dolomie		
	Jurassique	Malm		Argiles	Laguno-marin	
				Argiles, Calcaire		
		Dogger	Argileux		Anhydrite, Argiles	Lagunaire Continental
			Lagunaire		Sel	
		Lias	Anhydrite		Calcaire	
			Sel		Anhydrite, Argiles	
			Horizon B		Sel	
			S1+S2		Argiles, Anhydrite	
			S3			
Trias	D2		Sel	Discordance Hercynienne		
	S2		Argiles, Silts, Anhydrites, Dolomie			
	ARG CARB TAGS		Grès, Silts, Argiles rouges			
	TAGI					
Paléozoïque	Carbonifère	Peneplanation		Fluvio-lacustre marin-continental peu profond		
		Viséen			Argiles, Grès	
			RKF			
	Dévonien	Strunien		Grès, Silts, Argiles	Marin profond	
		Famménien		Argiles		
		Frasnien		Argiles		
		Givétien-Eifélien		Argiles		
		Emsien		Grès, Argiles	Marin peu Profond	
		Siegenien		Grès, Argiles		
		Gédinien		Grès Massif		
		Silurien		Argiles		
		Ordovicien		Grès, Argiles		
		Cambro-Ordovicien		Grès, Argiles		
	CAMB		Cambrien		Deltaïque	

Figure I-04 : Colonne lithologique synthétique du bassin de Berkine (Boudjema, 1987).

#### II.2.4 Cadre structural du bassin de Berkine :

La région est peu déformée, toutefois son histoire structurale est complexe et polyphasée. Le style structural est dominé par des failles subverticales qui impliquent le socle et par la réactivation périodique du grain structural antérieur aux différents événements tectoniques qui se succèdent dans la région. (in MALLA A, et *al*, 2016).

Le bassin de Berkine est caractérisé par deux domaines principaux qui sont :

**a- Domaine Ouest** : c'est un domaine très structuré, où les accidents présentent des rejets importants et les structures sont de grande amplitude. (in MALLA A, et *al*, 2016)

**b- Domaine centre** : c'est un domaine, où les structures sont relativement moins prononcées avec une remontée monoclinale vers le nord au niveau de la voûte de Dahar, pour les formations paléozoïques. (in MALLA A, et *al*, 2016).

Les failles qui résultent de la tectonique cassante, ayant affectée les deux domaines sont multidirectionnelles, Les études structurales ont montré que les accidents NE-SW seraient dues principalement aux mouvements distensifs à la fin Trias / début Jurassique. - Les failles régionales ont défini des trends structuraux majeurs sur lesquels viennent se greffer les pièges et gisements d'huile et de gaz dans le bassin. Les principales orientations observées sont :

➤ **Direction subméridienne :**

Les failles subméridiennes se caractérisent par de forts rejets, pouvant atteindre 2000m comme dans le cas de la faille de Ramade et 500m et plus dans la région de Rhourde Nous, avec des structures de grandes amplitudes (la structure de Rhourde Nous atteint 900m de fermeture structurale). (in MALLA A, et *al*, 2016)

➤ **Direction Nord-Est/Sud-Ouest :**

Les failles NE-SW sont caractérisées par une composante de décrochement importante avec ramification dans la partie supérieure, les structures associées sont des blocs basculés ou des structures 'en fleur', cette direction interfère avec la direction subméridienne.

Sur la majorité des rejeux tectoniques à caractère inverse (faille inverse) s'appuient des structures anticlinales allongées formant des pièges à hydrocarbures dans le TAGI et le TAGS. (in MALLA A, et *al*, 2016).

En plus (in MALLA A, et *al*, 2016) il y'a d'autres orientations secondaires de failles qui existent localement :

- **Direction Nord70** : elle se ressent dans la région de Rhourde Nouss, au niveau de la structure de Taouil et dans la région de Menzel Lejmet.
- **Direction subéquatoriale** : au sud Est d'Ahara et à l'ouest sur le trend Tartrat.
- **Direction Nord150** : au Nord Est du bassin au niveau des trends de Keskesa, Bir Rebaa Zemlet el-Arbi et Bir Berkine Nord-Rhourde en Naga.

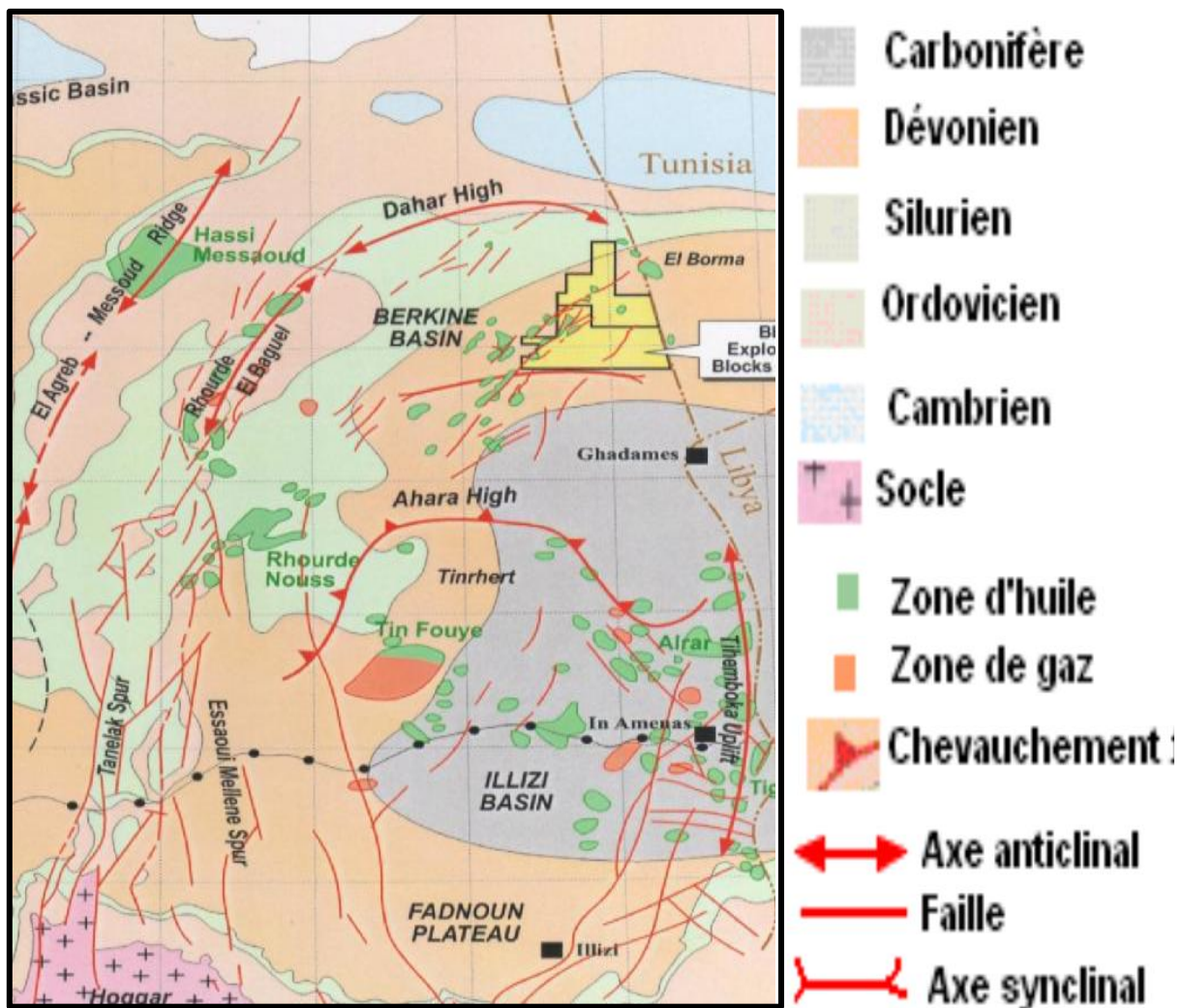


Figure I-05 : Les éléments tectoniques du bassin de Berkine. (Sonatrach, 2003, in MALLA A, et *al*, 2016).

### II.2.5 Evolution structurale :

La série Paléozoïque a été structurée lors de la superposition de plusieurs phases tectoniques (Boudjema, 1987) dont les principales sont (figure 4) :

- La sédimentation Cambro-Ordovicien contrôlée par la réactivation des accidents subméridiens (Boudjema, 1987) ;

- La compression taconique : Au Caradoc, on assiste à un changement radical de l'état des contraintes qui deviennent compressives. Le long des accidents subméridiens, des plis de direction Nord-Sud sont formés. A travers le Sahara, on assiste à des soulèvements régionaux en particulier le bouclier Reguibat et Touareg, ces soulèvements sont accompagnés d'érosion qui atteint parfois le socle. En parallèle, un important changement climatique provoque la mise en place d'une importante calotte glaciaire centrée sur le Sahara (Beuf et *al*, 1971. *in* MALLA A, et *al*, 2016) ;

- La compression calédonienne (fin Silurien - début Dévonien), ayant conduit au soulèvement général (Craig et *al*, 2006. *in* MALLA A, et *al*, 2016).suivi d'une érosion aplanissant toutes les structures et reliefs créés (Boudjema, 1987) et d'un changement de la sédimentation argileuse vers une sédimentation détritique ;

- Les mouvements hercyniens précoces, compressifs de direction NE-SW, ont permis l'individualisation de certaines structures appuyées sur des accidents orientés NW-SE (Boudjema, 1987, Craig et *al*, 2006. *in* MALLA A, et *al*, 2016) ;

- Les mouvements hercyniens tardifs ayant structuré les bassins de la plate-forme saharienne, suite à un raccourcissement régional de direction NW-SE, ont provoqué le basculement du bassin de Berkine vers le Sud-Est et le soulèvement des môles d'Amguid El Biod et du Dahar (Echikh et *al*, 1998. *in* MALLA A, et *al*, 2016) ;

- Après la phase tectonique hercynienne, tous les reliefs ont été fortement aplanis, formant une vaste pénéplaine, sur laquelle se dépose la série mésozoïque, structurée lors des événements méso-cénozoïques suivants :

- La distension Trias-Lias, orientée NW-SE au début, puis NE-SW précédant respectivement l'ouverture de la Téthys et de l'Atlantique. Elle est responsable des variations d'épaisseurs de part et d'autre des accidents subméridiens ;

- La compression autrichienne (crétacé inférieur), de direction Est-Ouest. Elle est liée à la rotation senestre de l'Afrique entraînant l'ouverture de l'Atlantique sud ;

- La phase liée à la collision Afrique-Eurasie, caractérisée par la formation de la chaîne alpine contrôlée par trois phases compressives ; pyrénéenne de direction NW- SE à Nord-Sud d'âge Eocène, Miocène supérieur de direction Nord-Sud, post- villafranchienne de direction Nord-Sud (Wildi, 1983. *in* MALLA A, *et al*, 2016) ;

Voici la Coupe régionale et schéma structural du bassin d'illizi et de Berkine montré dans cette figure ci-dessus :

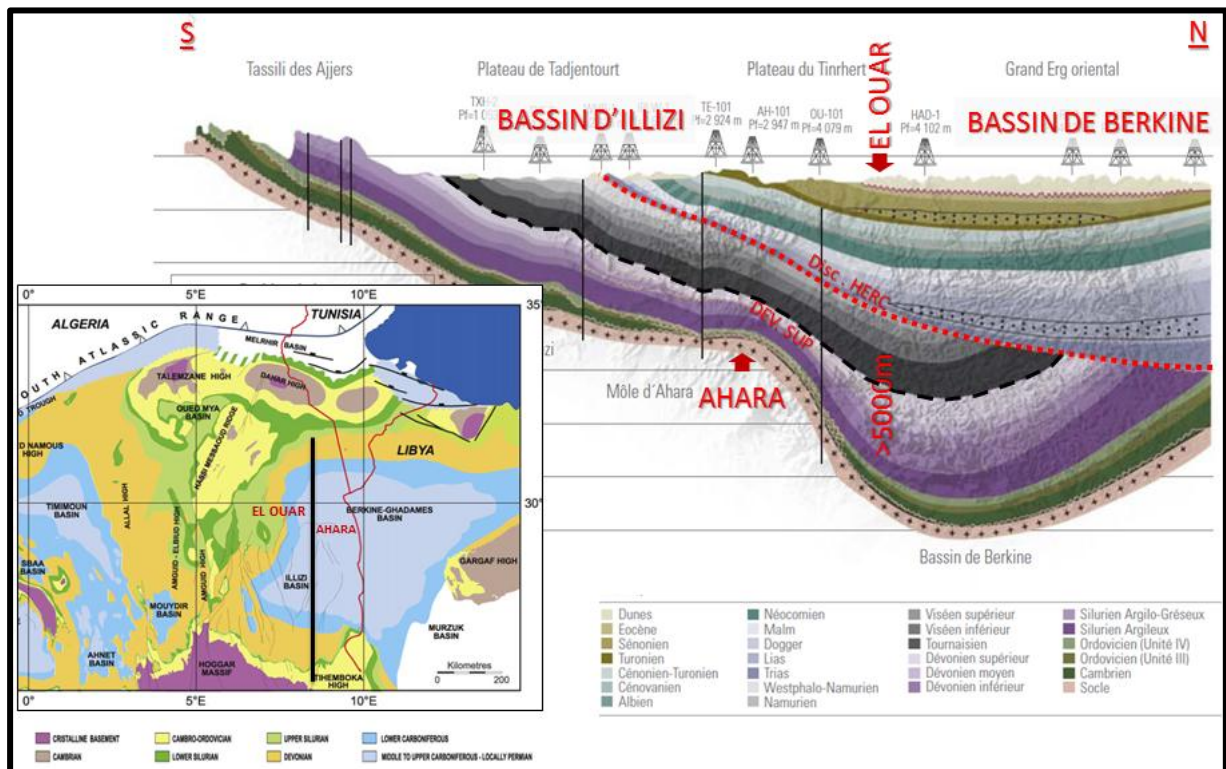


Figure I-06 : esquisse structurale schématique et coupe géologique du bassin de berkine (modifié d'après Chaouche, 1992 et WEC. 2007).

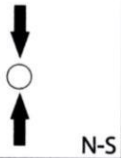
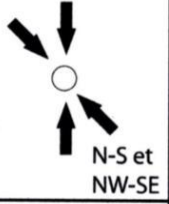
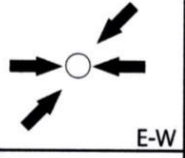
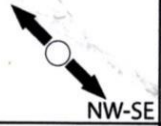
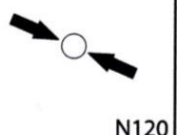
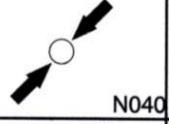
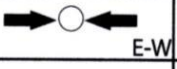
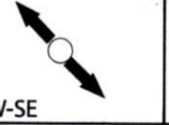
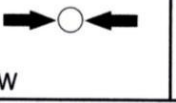
Période max d'activité	Direction de la contrainte	Effet sur le système de failles	Effet sur la sédimentation
Post-villafranchienne (L. ALPIN)	 N-S	Basculement et inversion de bloc. Période final de compression dans le domaine atlasique.	Soulèvement du Hoggar. Basculement du bloc d'El Borma.
MIOCENE	N-S et NW-SE	Episode de compression majeur dans le domaine atlasique	Sédimentation prédominante de flysch au Nord
EOCENE (PYRENEENNE)	 N-S et NW-SE	Début de chevauchement au Nord résultant de la convergence de la plaque européenne. Decrochement de la faille Sud Atlasique	
CRETACE INF (autrichienne)	 E-W	Réactivation des décrochements des failles N-S et NE-SW. Résultat des mouvements différentiels de la plaque européenne et la plaque africaine.	Erosion des sédiments du L. Cret. sous l'aptien ls. (l'arche d'El Biod et Illizi) effet léger sur le bassin de Ghadames)
TRIAS-LIAS Rifting (Dislocation de la pangea)	 NW-SE	Réactivation des failles NE-SW	Control de la sédimentation par les failles entrainant une variation rapide d'épaisseur le long des failles NE-SW
CARBONIFERE SUP à PERMIEN (HERCYNIE PRINCIPALE)	 N120	Inversement ou décrochement le long des failles NE-SW (résultat de la formation de la pangea)	Erosion sur les axes NE-SW
VISEEN (HERCYNIE PRECOCE)	 N040	Mouvement inverse ou décrochant le long des failles NW-SE. Début de la formation de la chaîne varisque.	Erosion sur Tihemboka et soulèvement de l'Ougarta.
FRASNIEN			
CALIDONNIENNE Siluro-Dévinienne	 E-W	Mouvement inverse le long des failles N-S	
TACONIC Caradoc-Ashgilien		Mouvement inverse le long des failles N-S résultant. Formation de structures N-S.	Soulèvement du bouclier Réguiat et Toureg. Erosion le long des zones hautes d'orientations N-S et E-W (Mole d'Ahara)
COMBRO-ORDOVICIENNE	 NW-SE	Mouvement normal le long des failles N-S	Les variations de l'épaisseur sont contrôlées par la faille. Basculement NW de la plate forme saharienne. Volcanisme
PANAFRICAINE	 E-W	Tectonique cassante créant des failles et des fractures conjuguées NW-SE et NE-SW	Compartiment du craton du sahara central

Figure I-07 : les différentes phases de déformations affectant le bassin de Berkine (Boudjema, 1987).

## II.2.6 Système pétrolier du bassin de Berkine :

### II.2.6.1 Les roches mères :

Les données géochimiques ont révélé deux principales roches mères (Fig. II-8) : il s'agit du Silurien argileux et du Dévonien Supérieur (étude Sonatrach, 1991. *in* MALLA A, et *al*, 2016).

#### II.2.6.1.1 La roche mère Silurienne :

Le Silurien argileux (*in* MALLA A, et *al*, 2016). Est présente dans la quasi-totalité du bassin sauf en bordure Ouest et au Nord où il a été érodé durant la phase hercynienne, son épaisseur varie de 300 à 400 m dans la partie centrale, et est subdivisé en 2 parties :

- **Une partie basale** : marquée par un pic radioactif, son épaisseur moyenne varie de 10 à 20m d'argiles noires à graptolites riche en matière organique.
- **Une partie supérieure** : moins radioactive.

#### II.2.6.1.2 La roche mère Frasnienne :

Localisée dans le Dévonien Supérieur (*in* MALLA A, et *al*, 2016), elle est subdivisée en deux zones :

- **La zone inférieure** : radioactive au Frasnien présente les meilleurs potentiels avec une épaisseur variant de 150 à 300m.
- **Une zone supérieure** : du Frasnien au Faménien avec une épaisseur qui varie de 50 à 500m.

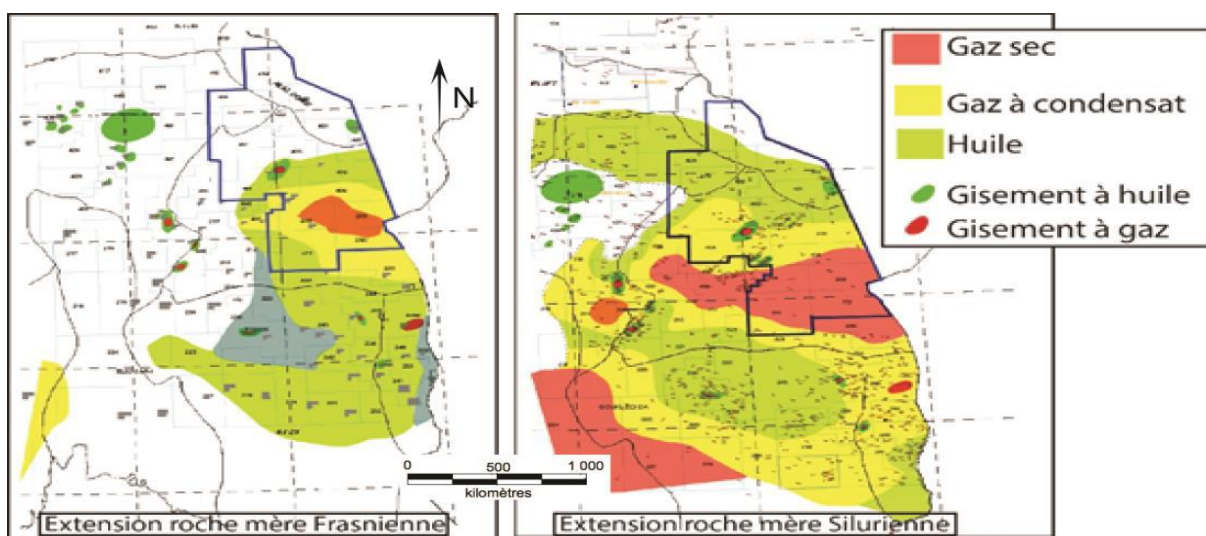


Figure I-08 : Extension et maturité des roches mère silurienne et Frasnienne au Sud-Est de l'Algérie.

(*in* MALLA A, et *al*, 2016).

### II.2.6.2 Les roches réservoirs :

Principalement, il y a les formations gréseuses du Paléozoïque et du Trias argilo gréseux (TAG) du Mésozoïque (Figure 8).

#### II.2.6.2.1 Les réservoirs du Paléozoïque :

##### II.2.6.2.1.1 Le Cambrien :

Son épaisseur varie de 500 à 600m, le Cambrien produit avec une porosité variant de 4 à 11% ; ce réservoir est formé par le niveau Ri, Ra où la couverture est assurée par les argiles d'El Gassi de l'Ordovicien. (in MALLA A, et al, 2016).

##### II.2.6.2.1.2 L'Ordovicien :(quartzite de Hamra) :

C'est dans la partie Sud-Est de la province que les quartzites de Hamra ont révélé leur importance. Leur épaisseur maximale est de 325m. Ce réservoir est généralement tight (Classé dans les réservoirs non conventionnels), il produit par fracturation du gaz à condensat dans la majorité des gisements. (in MALLA A, et al, 2016).

##### II.2.6.2.1.3 Le Silurien Argilo Gréseux : (unités M, A et B) :

Cette formation correspond à la partie supérieure du Silurien, elle est subdivisée en unités M1, M2, A, B1 et B2 qui constituent la partie inférieure et moyenne du réservoir F6. Les grès sont fins à moyens avec une porosité variant de 8 à 12% et une perméabilité de 100 mD. Cette série produit de l'huile et du gaz à condensat à Rhourd Nouss et à Rhourd Adra. (in MALLA A, et al, 2016).

##### II.2.6.2.1.4 Le Dévonien :

Les réservoirs de ce niveau sont constitués par des grès massifs de la base du Gédinnien, du Siégenien et de l'Emsien ; (alternance de grès et d'argile). (in MALLA A, et al, 2016).

- **Grès massif Gédinnien** : peut avoir une épaisseur utile de l'ordre de 300m, ses paramètres petrophysiques sont assez bons, la porosité varie entre 5 et 7% alors que la perméabilité atteint les 500 mD. (in MALLA A, et al, 2016).

- **Siégenien** : Il est constitué par des alternances d'argiles et de grès fins à moyens, son épaisseur totale varie de 250 à 300m. Les paramètres petrophysiques sont bons à moyens avec des porosités variant entre 8 à 12% et une perméabilité de 100 mD. D'importantes

accumulations d'huile ont été rencontrées dans ce réservoir à Bir-Berkine et Bir-Rebaa Nord. (in MALLA A, et al, 2016).

- **Emsien F4** : La régression emsienne est marquée par un développement d'une barre gréseuse au sommet qui marque la fin de cette unité. Ce réservoir est généralement imprégné d'huile avec des porosités dépassant les 18% dans certains puits de la zone de Hassi Berkine. (in MALLA A, et al, 2016).

#### *II.2.6.2.1.5 Le Carbonifère :*

Ces réservoirs sont représentés par les grès de Rhourd El Khrouf (RKF) avec d'excellentes caractéristiques petrophysiques, où la porosité varie entre 8 et 17%, il produit à Rhourd El khrouf et Bir-Berkine. (in MALLA A, et al, 2016).

#### *II.2.6.2.2 Les réservoirs mésozoïques :*

Au niveau du Mésozoïque, il n'y a que les réservoirs du Trias qui peuvent être considérés comme potentiels (Fig. II-9).

##### *II.2.6.2.2.1 Le Trias Argilo-Gréseux Inferieur (TAGI) :*

Le Trias Argilo-Gréseux Inferieur (TAGI) est présent dans tout le bassin sauf la bordure Sud-Ouest où il présente une lacune de dépôt. Son épaisseur est de 100m dans la partie centrale et Ouest. Au Nord son épaisseur varie de 10 à 200m avec un développement des roches éruptives dans la partie Nord-Ouest perdant toutes ses qualités réservoirs, on aura ainsi une porosité qui varie entre 7et 26% et une perméabilité de 100 Md. De nombreuses découvertes d'huile et de gaz ont été réalisées dans ce niveau sur des pièges situés sur le trend Nord-Est/Sud-Ouest suivant l'axe el Merk Rhourd El Khrouf. La couverture est assurée par les argiles du Trias carbonaté ou par le Trias salifère. (in MALLA A, et al, 2016).

#### **II.2.6.3 Les roches couvertures :**

##### *II.2.6.3.1 Les couvertures paléozoïques :*

- Dans le Carbonifère et le Dévonien (in MALLA A, et al, 2016), les couvertures sont représentées par les argiles intra-formationnelles du Trias carbonaté sur les bordures du bassin ;

- La couverture des réservoirs de l'Ordovicien (in MALLA A, et al, 2016) et du Cambrien est assurée respectivement par les argiles du Silurien et de l'intra-Ordovicien ;

- Dans le Cambrien, la couverture est assurée par les argiles d'El Gassi. Latéralement, les rejets verticaux des failles associées aux axes structuraux assurent les fermetures latérales. (in MALLA A, et *al*, 2016) ;

#### ***II.2.6.3.2 Les couvertures Mésozoïques :***

L'étanchéité des réservoirs triasiques est assurée par les argiles du Trias carbonaté, Trias intermédiaire et les évaporites du Trias-Lias. Les rejets de failles assurent dans la plupart des pièges une étanchéité latérale. (in MALLA A, et *al*, 2016).

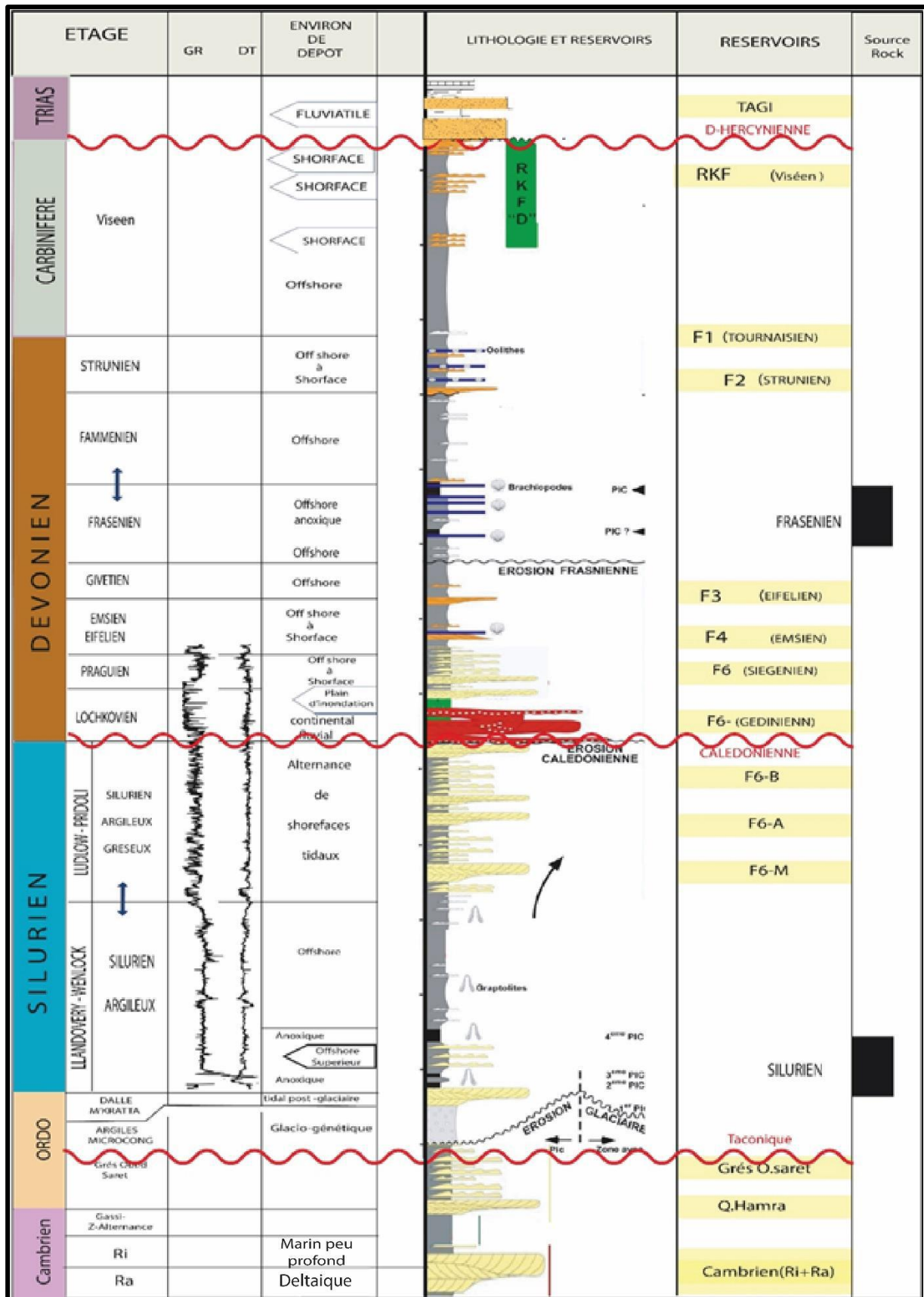


Figure I-09 : Séries pétrolifères du bassin de Berkine. (Sonatrach, 1991, in MALLA, A et al, 2016).

#### II.2.6.4 Conditions de génération et de migration des hydrocarbures :

Dans le bassin de Berkine, les argiles radioactives à graptolites du Silurien argileux et les argiles radioactives du Frasnien constituent les principales roches mères génératrices d'huile légère associée à du gaz. Les modélisations géochimiques montrent que la roche mère silurienne a atteint la fenêtre à huile à la fin du paléozoïque et la fenêtre à gaz à partir du Crétacé inférieur. Elle est actuellement en phase à gaz sec dans la majeure partie du bassin. Quant à la roche mère Frasnienne, très affectée par l'érosion hercynienne, elle a atteint la fenêtre à huile au Crétacé supérieur et demeure en phase à huile dans la majeure partie du bassin à l'exception du dépôt-centre paléozoïque (région de Timissit Ouest-Rhourd El Farés) où elle est en phase à gaz sec. (in MALLA A, et al, 2016).

L'alimentation en gaz des réservoirs gréseux du Silurien se ferait directement depuis la roche mère silurienne sous-jacente ou par migration verticale le long des failles et/ou à travers les argiles silteuses du Silurien argilo-gréseux. La roche mère Frasnienne est en fenêtre à huile depuis le Crétacé supérieur. Les hydrocarbures ainsi générés peuvent migrer vers les réservoirs dévoniens et ceux du Trias, à travers les failles ou le long des bancs gréseux du TAGI servant de drains et/ou suivant la surface d'érosion hercynienne. (in MALLA A, et al, 2016).

Les conditions de migration des hydrocarbures ont été déterminées par :

- Les dépôts de la série sédimentaire du TAGI représentant de bons réservoirs sur les affleurements du paléozoïque ;
- La présence d'une grande discordance angulaire entre le paléozoïque et mésozoïque favorisant la migration des hydrocarbures ;
- Les changements de la structure tectonique de la couverture mésozoïque ;

Compte-tenu de ces conditions, on peut définir les directions probables de la migration latérale des hydrocarbures pendant le deuxième cycle de génération (Mésozoïque) valable pour les gisements dans les dépôts du TAGI (Fig. II-10). (in MALLA A, et al, 2016).

Généralement jusqu'à la phase Laramique, la couverture mésozoïque représentait un monoclinale homogène et les affleurements des roches mères du Dévonien moyen, supérieur et du Silurien argileux dans la partie Nord, se trouvaient dans les limites de ce monoclinale. Ainsi, les hydrocarbures générés par ces roches mères ont rempli en zone d'affleurement les réservoirs du TAGI et ensuite ont migré vers le Sud-Est où ils remplissent d'autres pièges

comme cela est observé vers le sud d'El Borma, Rhourd Er Rouni et les séries argileuses du TAGI (exp: TAGI moyen). (in MALLA A, et al, 2016).

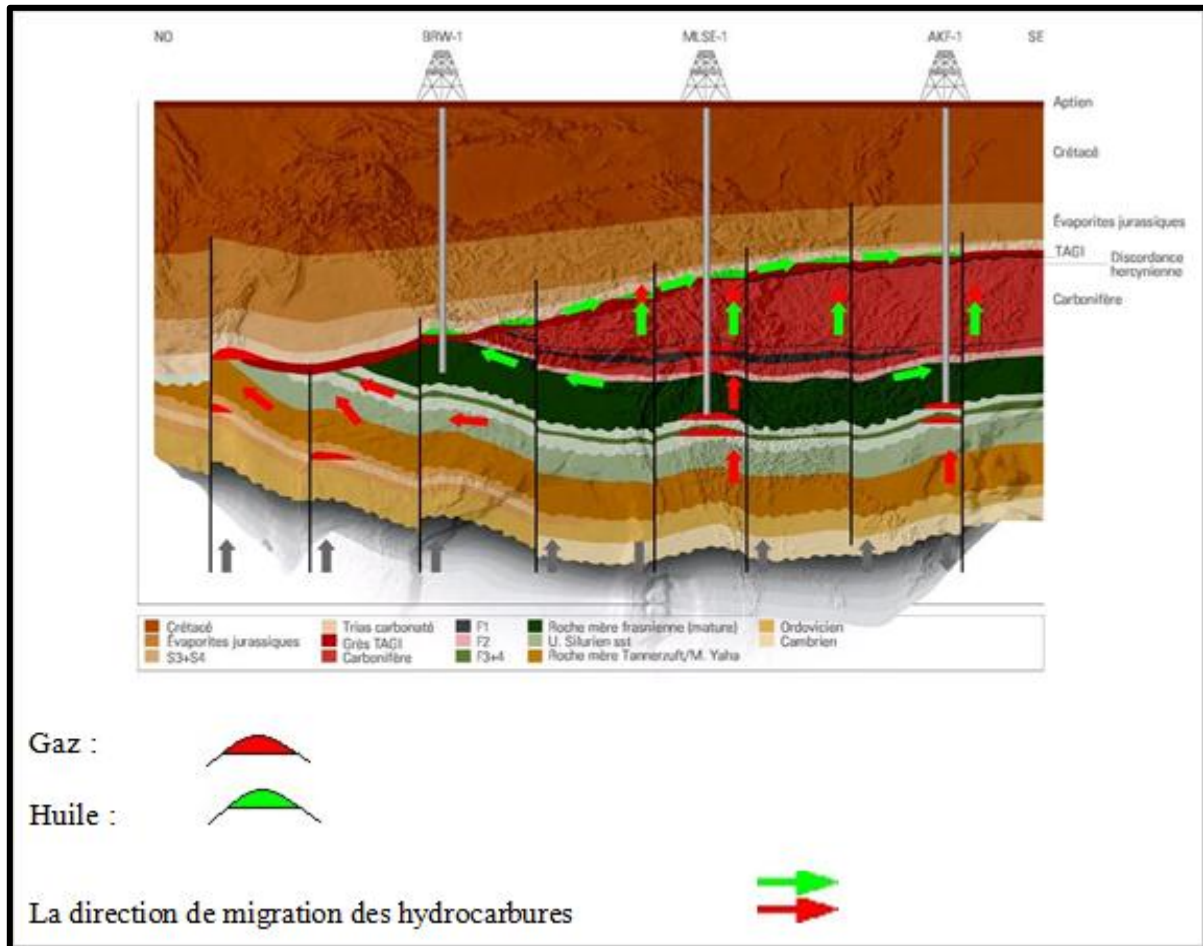


Figure I- 10 : Coupe montrant les pièges et les voies de migration des hydrocarbures ;(WEC, 2007).

## II.3 Contexte local (région d'étude) :

### II.3.1 Cadre géographique de la région d'étude :

Notre région d'étude appartient à la plate-forme saharienne qui fait partie du bassin de Berkine (sud du bassin de Barkine) (Doc. Sonatrach, 2018)

La région d'El Ouar se situe sur la bordure méridionale du bassin de Berkine, à l'aplomb du flanc nord du môle d'Ahara, qui sépare le bassin de Berkine au nord de celui d'Illizi au sud. (Doc. Sonatrach, 2018)

Le domaine d'étude correspond essentiellement au bloc 212 limitée par les méridiens 07° 30' et 08° 00' EST et les parallèles 29° 45' et 30° 05' nord. (Doc. Sonatrach, 2018)

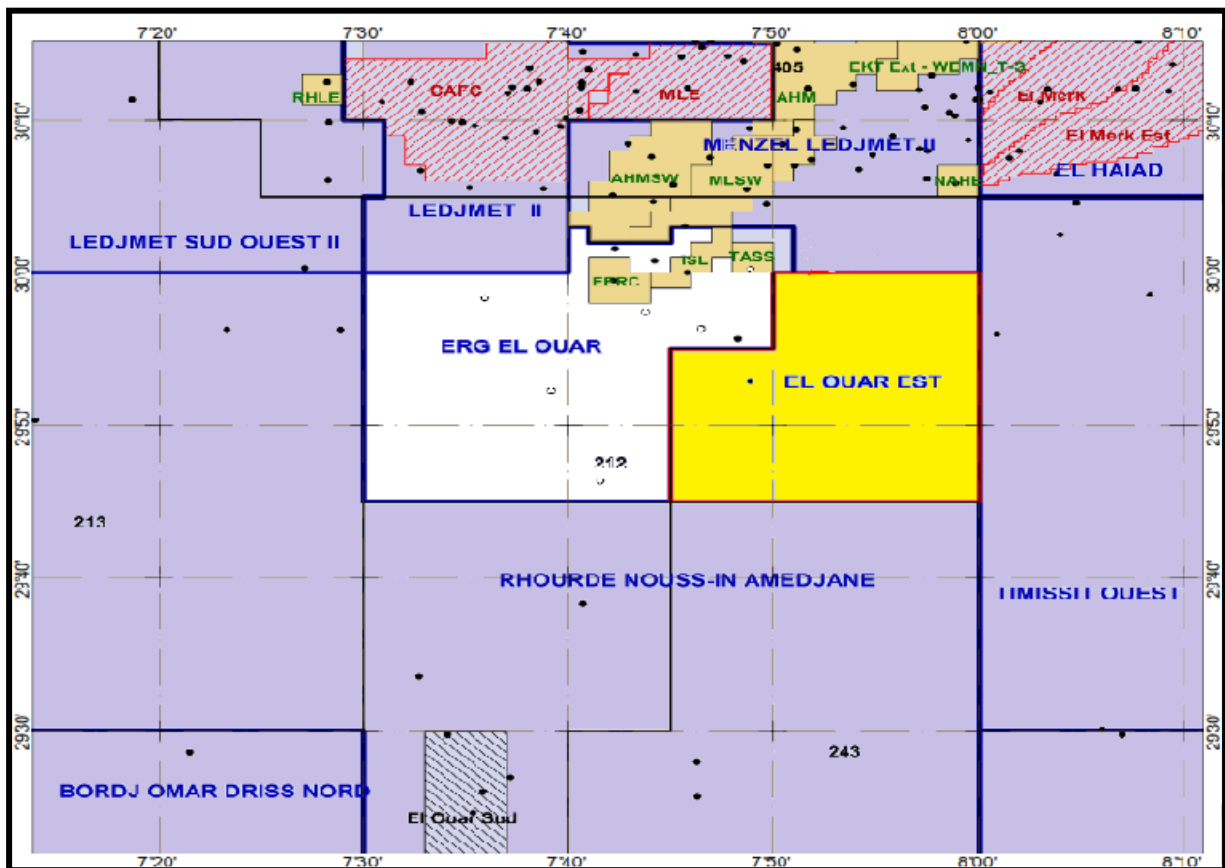


Figure I-11 : Carte de situation de la région d'El Ouar ainsi que de la région d'étude (Doc. Sonatrach 2018, modifié).

### II.3.2 Cadre géologique de la région d'étude :

Les termes les plus inférieurs du Paléozoïque sont ceux des séries argilo-gréseuse du Cambro-Ordovicien déposés en discordance sur le socle d'âge panafricain. Ils sont suivis par les argiles du Silurien inférieur, déposées lors d'une phase de transgression majeure « Hot Shales ». Les séries sus-jacentes du Silurien Argilo-gréseux (SAG) sont surmontées en discordance (discordance calédonienne) par les dépôts fluviaux du Dévonien inférieur qui se biseautent vers le sud (môle d'Ahara). (Doc. Sonatrach, 2018)

Le Carbonifère est formé d'une séquence globalement transgressive avec au sommet les argiles d'offshore du Viséen, qui surmontent plusieurs séquences argilo-gréseuses renfermant les principaux réservoirs du Tournaisien et du Viséen inférieur (F2, F1 et RKF).

Les bancs d'argile rouge du Trias enregistrent les premiers dépôts mésozoïques post-hercyniens, qui couvrent en discordance les formations plus anciennes d'âge paléozoïque. (Doc. Sonatrach, 2018)

Le Mésozoïque débute par les dépôts du « Trias Argilo-Gréseux Inférieur », d'origine fluvio-lacustre ; dont le sommet passe vers le nord à un faciès lacustre argilo-carbonaté du « Trias Argilo-Carbonaté », correspondant à une surface d'inondation maximale. Le TAGI (au sud) et le Trias Argilo-Carbonaté (TAC) sont recouverts en discordance, par les dépôts clastiques du Trias Argilo-Gréseux Supérieur qui passe à un faciès évaporitique au nord du bassin. Le reste du Mésozoïque est formé par les différentes séries clastiques et évaporitiques du Jurassique et du Crétacé. (Doc. Sonatrach, 2018)

### II.3.3 Aspect lithostratigraphique et environnement de dépôt du Dévonien :

La série stratigraphique (Doc. Sonatrach, 2018) traversée par les forages dans la zone d'étude est constituée par les formations d'âge mésozoïque, reposant en discordance sur les formations paléozoïques à propos de l'aspect lithostratigraphique d'El Ouar on va cité uniquement les séries stratigraphiques du dévonien qui se situe dans le paléozoïque :

#### II.3.3.1 Aspect litho-stratigraphique :

##### II.3.3.1.1 Paléozoïque : (épaisseur : ~1313m)

###### II.3.3.1.1.1 Dévonien inférieur :

- **Gédinnien- unité F6-3 : (épaisseur : > 45m)**

Cette unité est composé de grès gris blanc à blanc beige, localement gris vert à verdâtre parfois gris sombre, très fin à fin, parfois moyen, silico-argileux à siliceux, localement silico-quartzitique, moyennement consolidé à friable avec intercalations de grès translucide, quartzitique très dur. Avec passées d'argile grise à gris claire, gris foncé, parfois gris noir, silteuse et indurée. (Doc. Sonatrach, 2018)

- **Siégenien – unité F6-1 et F6-2 : (épaisseur : 211m)**

Cette unité est composé grès gris blanc à blanc, très fin à fin, subanguleux à subarrondi, silico-argileux à siliceux, parfois silico-quartzitique, bien consolidé, compact et dur avec fines passées d'argile grise à gris foncé, silteuse et indurée. (Doc. Sonatrach, 2018)

- **Emsien – unité F4 : (épaisseur : 60m)**

**Au sommet :** cette unité est composé de grès gris blanc à blanc, moyen à grossier, subanguleux à subarrondi, siliceux à silico-quartzitique, bien consolidé, compact, dur, avec passées d'argile, gris foncé, silteuse et indurée. Présence de niveau de roche éruptive, gris-verte à gris-beige, localement brun-rouge et tendre. (Doc. Sonatrach, 2018)

**A la base :** l'unité est composé grès gris blanc à gris sombre, très fin à fin, silico-argileux à argileux, moyennement consolidé à friable, localement siliceux à silico-quartzitique, bien consolidé avec passées d'argile grise à gris foncé, micacée, silteuse et indurée. Présence de chlorite et de minéraux ferrugineux. (Doc. Sonatrach, 2018)

*II.3.3.1.1.2 Dévonien moyen :*

- **Givétien (à Eifelien) - unité F3 : (épaisseur : 55m)**

Cette unité est composée d'argile gris foncé, silteuse, indurée, intercalée de grès gris à gris sombre, très fin à fin, silico-argileux à siliceux, friable à moyennement dur avec niveaux de calcaire à calcaire dolomitique, gris blanc à blanc, microcristallin, localement argileux et tendre. (Doc. Sonatrach, 2018)

*II.3.3.1.1.3 Dévonien supérieur :*

- **Frasnien : (épaisseur : 158m)**

**Au sommet :** elle est composée d'argile gris noir à noire, micacée, légèrement carbonatée, rarement pyriteuse, silteuse, indurée, avec passées de calcaire gris blanc à blanc-beige et argileux. (Doc. Sonatrach, 2018).

**A la base :** elle est composée argile grise à gris foncé, micacée, silteuse, indurée avec fines passées de siltstone gris beige et dur. Traces de pyrite. (Doc. Sonatrach, 2018)

- **Faménnien : (épaisseur : ~213m)**

Cette formation est composée d'argile gris noir à noire, micacée, silteuse, indurée avec rares fines passées de grès gris blanc à gris beige, très fin à fin, silico argileux, friable à moyennement dur. (Doc. Sonatrach, 2018).

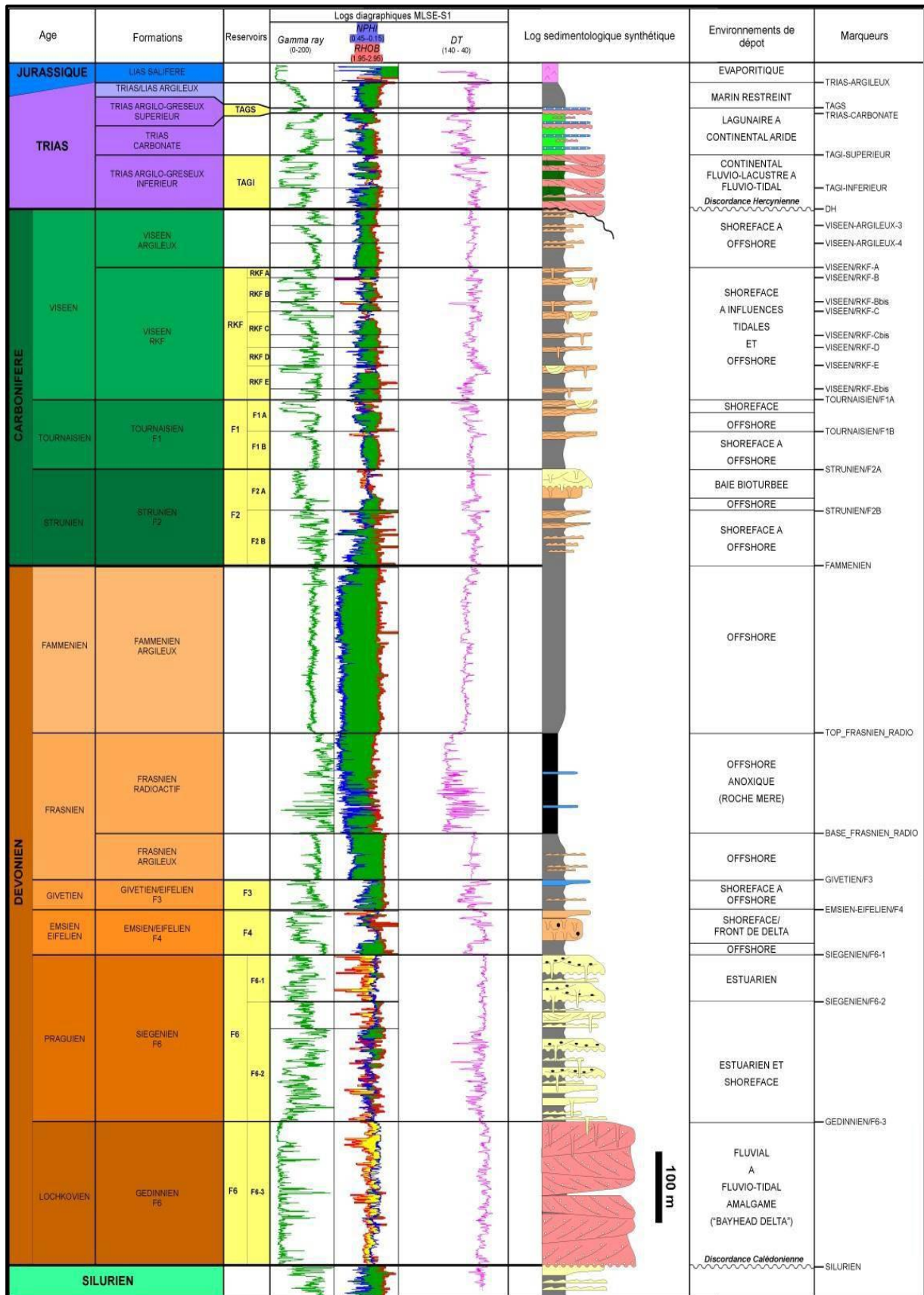


Figure I-12 : Charte chronostratigraphique synthétique de l'intervalle étudié présentant les réservoirs ciblés et les marqueurs utilisés. (Beicip Franlab, 2017, modifiée)

### II.3.3.2 Environnement de dépôts des réservoirs du Dévonien :

Les données de ce paragraphe sont tirées à partir de l'étude réalisée par BEICIP (2017) sur le rôle de la compartimentalisation sur la distribution des fluides des réservoirs du Trias, du Carbonifère et du Dévonien dans le bassin centre de Berkine.

#### II.3.3.2.1 Les environnements de dépôt interprétés pour l'intervalle Gédinnien sont :

- **Chenaux fluviaux :**

**Faciès 01 :** le faciès dominant dans cet environnement de dépôts est composé de grès massifs très grossiers à grossiers riches en lithoclastes.

- **Complexe tidal d'embouchure :** cet environnement de dépôts est caractérisé par deux faciès :

**Faciès 02 :** ce faciès composé de grès grossiers à très grossiers, massifs à stratifiés, riches en clastes argileux.

**Faciès 03 :** ce faciès composé de grès grossiers à moyens, à stratifications entrecroisées et une légère bioturbation.

- **Modèle conceptuel des dépôts Gédinnien :**

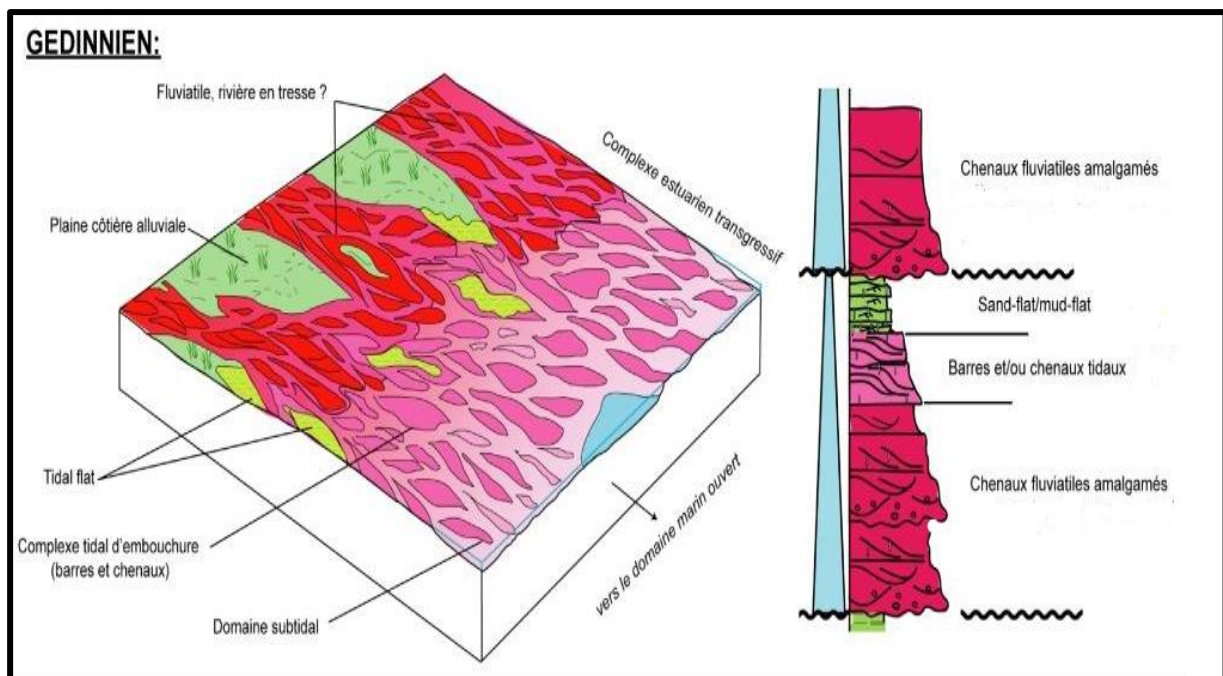


Figure I- 13 : Modèle conceptuel des dépôts du Gédinnien (Beicip Franlab, 2017, modifiée)

***II.3.3.2.2 Les environnements de dépôt interprétés pour l'intervalle Siégenien sont :*****• Chenaux fluviaux :**

**Faciès 04 :** le faciès dominant dans cet environnement de dépôts est composé de grès grossiers à moyens, massifs à stratifiés, riche en lithoclastes. Cette séquence énergétique très érosive.

**• Distributaires fluvio-tidaux :** cet environnement de dépôts est caractérisé par cinq faciès :

**Faciès 05 :** ce faciès est composé de grès grossiers à moyens, massifs à stratifiés, riche en galets d'argile, rencontrés à la base des chenaux distributaires.

**Faciès 06 :** ce faciès est caractérisé par des sables moyens à stratifications entrecroisées avec des galets d'argile et une légère bioturbation.

**Faciès 07 :** ce faciès est caractérisé par des sables moyens à fins, à rides de courant avec galets d'argile et une légère bioturbation.

**Faciès 08 :** ce faciès est caractérisé par des dépôts hétérolithiques à dominante sableuse, à stratification hétérolithique inclinée et parfois bioturbés.

**Faciès 09 :** ce faciès est caractérisé par des dépôts hétérolithiques à dominante argileuse, à stratification hétérolithique inclinée et parfois bioturbés.

**• Replats de marée/plaine côtière tidale :** cet environnement de dépôts est caractérisé par deux faciès :

**Faciès 10 :** ce faciès est caractérisé par des dépôts hétérolithiques à dominante sableuse, à stratification de type flaser à wavy, avec possible traces de racines et fentes de dessiccation. L'intensité de la bioturbation est modérée.

**Faciès 11 :** ce faciès est caractérisé par des dépôts hétérolithiques à dominante argileuse, à stratification de type lenticulaire, avec possible traces de racines et fentes de dessiccation. L'intensité de la bioturbation est modérée.

**• Chenaux tidaux :** cet environnement de dépôts est caractérisé par trois faciès :

**Faciès 12 :** ce faciès est composé de grès fins à très fins, composés de rides et de stratification de type flaser

**Faciès 13 :** c'est un faciès silteux à slumps et convolutes,

**Faciès 14 :** ce faciès est composé d'argile massive.

**• Barres tidales :** cet environnement de dépôts est caractérisé par trois faciès :

**Faciès 15 :** ce faciès est composé de grès moyens à grossiers à stratifications sigmoïdales, avec des galets d'argile et une légère bioturbation.

**Faciès 16 :** ce faciès est caractérisé par des dépôts constitué de grès fins à moyens, à stratifications de type flaser avec des galets d'argile et une bioturbation faible à modérée

**Faciès 17 :** ce faciès est caractérisé par des dépôts hétérolithique à dominante gréseuse, à stratification de type flaser à wavy et une bioturbation horizontale.

- **Baie :**

**Faciès 18 :** cet environnement de dépôts est caractérisé par le faciès très hétérolithiques à dominante argileuse présentant une stratification lenticulaire parfois très bioturbée.

- **Lobes de tempête :** cet environnement de dépôts est caractérisé par deux faciès :

**Faciès 19 :** ce faciès est composé de grès fins, massifs à stratification inclinée d'angle faible, avec possible débris de bioclastes et faiblement bioturbé.

**Faciès 20 :** c'est un faciès hétérolithique à dominante sableuse caractérisé par des structures de type HCS (Hummocky Cross-Stratification) et rides de houle. Présence de débris de bioclastes et de bioturbation.

- **Shoreface :** cet environnement de dépôts est caractérisé par trois faciès :

**Faciès 21 :** ce faciès est composé de grès fins, massifs à stratification inclinée d'angle faible, avec bioturbation marine de grosse taille et riche en mucus.

**Faciès 22 :** ce faciès est composé de grès très fins et très bioturbés.

**Faciès 23 :** ce faciès à dominante silteuse, massif à laminé, avec une forte bioturbation marine.

- **Offshore :**

**Faciès 24 :** cet environnement de dépôts est caractérisé par des argiles sombres massives, avec débris de bioclastes indifférenciés. Les conditions de dépôts sont interprétées comme étant anoxiques.

- **Modèle conceptuel des dépôts Siégenien :**

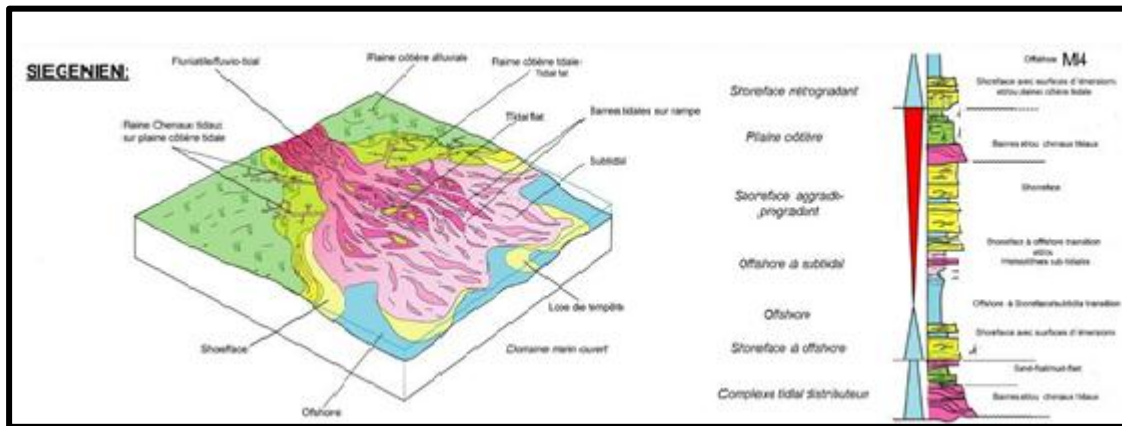


Figure I- 14 : Modèle conceptuel des dépôts dévoniens du Siégenien (Beicip Franlab, 2017, modifiée)

### ***II.3.3.2.3 Les environnements de dépôt interprétés pour l'intervalle Emsien/Eifélien sont :***

- **Fluvial :**

**Faciès 01 :** cet environnement de dépôts est caractérisé par un faciès qui est composé de grès très grossier à granules, massifs ou stratifiés, riche en lithoclastes.

- **Front de delta :** cet environnement de dépôts est caractérisé par deux faciès :

**Faciès 02 :** ce faciès est composé de sables moyens à grossiers, massifs, argileux, riches en débris végétaux et très bioturbés.

**Faciès 03 :** c'est un faciès hétérolithique à dominante sableuse, à litage plan, riche en débris de végétaux et bioclastes. Et modérément bioturbés.

- **Offshore/Prodelta :**

**Faciès 04 :** cet environnement de dépôts est caractérisé par un faciès hétérolithique à dominante argileuse, stratification lenticulaire, débris de végétaux et bioturbation.

- **Baie :**

**Faciès 05 :** cet environnement de dépôts est caractérisé par un faciès composé de silts massifs, extrêmement bioturbés par des terriers horizontaux de petites tailles.

- **Foreshore :**

**Faciès 06 :** cet environnement de dépôts est caractérisé par un faciès composé des grès moyens bioclastiques, à stratification d'angle faible et trace d'émersion de type racine. Faciès non bioturbés.

- **Shoreface de basse énergie :** cet environnement de dépôts est caractérisé par trois faciès :

**Faciès 07 :** ce faciès est composé des grès fins à moyens, massifs ou à stratifications d'angle faible et bioturbés. Dépôts de shoreface supérieur

**Faciès 08 :** ce faciès est composé des grès fins, massifs ou laminés et très bioturbés. Dépôts de shoreface moyen.

**Faciès 09 :** ce faciès est composé des grès très fins, massifs ou laminés et très bioturbés. Dépôts de shoreface inférieur.

***II.3.3.2.4 Les environnements de dépôt interprétés pour l'intervalle Givétien sont :***

- **Shoreface :**

**Faciès 10 :** ce faciès est composé de sables très fins et silts, à stratifications de type HCS (*Hummocky Cross-Stratification*) et rides de houle, avec débris de bioclastes et une bioturbation

- **Rampe carbonaté externe :**

**Faciès 11 :** c'est un faciès carbonaté de type calcimudstone à coraux. Butte récifale profonde interprétée comme étant non réservoir.

**Faciès 12 :** c'est un faciès carbonaté de type wackestone à packstone à crinoïdes et bivalves interprété comme événement de tempestites non réservoirs.




**Faciès 13 :** ce faciès est composé d'argiles bioclastiques de rampe distale riches en crinoïdes et bioclastes. Faciès non réservoir.






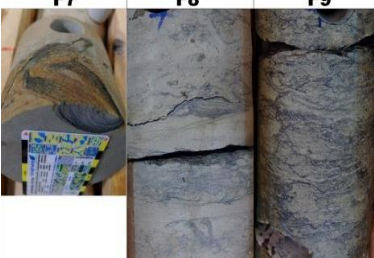
***II.3.3.2.4.1 Environnement de dépôt interprété pour l'intervalle Frasnien/Famménien est :***

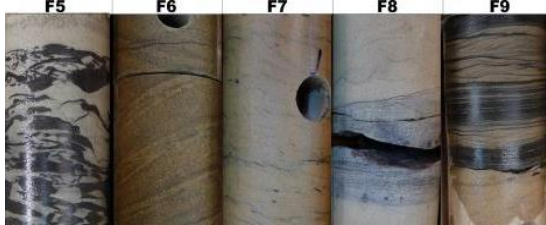


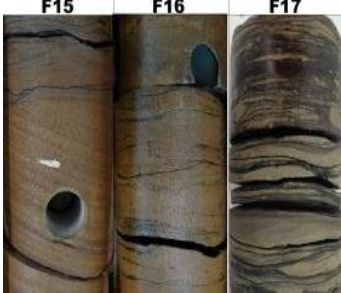

- **Offshore profond :**

**Faciès 14 :** cet environnement de dépôts est caractérisé par un faciès composé d'argiles sombres, massives, riches en matières organiques. Dépôts correspondant aux roches mères dévoniennes.

Tableau résume les environnements de dépôts du dévonien inférieur-moyen de la région d'El Ouar avec des photos de carotte qui illustre ces environnements de dépôts de chaque unité :

Age	Environnement de dépôts	Photos de carotte
<b>Frasnien</b>	<b>Offshore profond</b>	<p><b>F14</b></p> 
<b>Givétien</b>	<b>Shoreface</b>	<p><b>F10</b></p> 
<b>Givétien</b>	<b>Rampe carbonaté externe</b>	<p><b>F11      F12      F13</b></p> 

Age	Environnement de dépôts	Photos de carotte
<b>Emsien</b>	<b>fluvial</b>	 <p style="text-align: center;">F1</p>
	<b>Front de delta</b>	 <p style="text-align: center;">F2      F3</p>
	<b>Offshore/prodelta</b>	 <p style="text-align: center;">F4</p>
	<b>baie</b>	 <p style="text-align: center;">F5</p>
	<b>foreshore</b>	 <p style="text-align: center;">F6</p>
	<b>Shoreface de basse énergie</b>	 <p style="text-align: center;">F7      F8      F9</p>

Age	Environnement de dépôts	Photos de carotte
Siégenien	<p style="text-align: center;"><b>Distributaires fluvio-tidaux</b></p>	
	<p style="text-align: center;"><b>Replats de marée/plaine côtère tidale</b></p>	
	<p style="text-align: center;"><b>Chenaux tidaux</b></p>	
	<p style="text-align: center;"><b>Barres tidales</b></p>	
	<p style="text-align: center;"><b>Baie</b></p>	





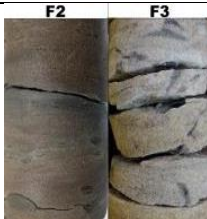
	Environnement de dépôts	Photos de carotte
<b>Siégenien</b>	<b>Lobes de tempête</b>	
	<b>shoreface</b>	
	<b>offshore</b>	
<b>Gédinnien</b>	<b>Chenaux fluviaux</b>	
	<b>Complexe tidal d'embouchure</b>	

Tableau I-1 : Tableau montre les principaux environnements de dépôts du Dévonien inférieur-moyen.

# **CHAPITRE II :**

# **DEMARCHE ET**

# **DONNEES DE BASE**

- 1. Les minéraux radioactifs.**
- 2. Les diagraphies.**

## **I. Les minéraux radioactifs :**

La radioactivité est un phénomène naturel. On trouve, dans la nature, des minéraux radioactifs (minéraux argileux) qui contiennent des atomes d'uranium, de thorium et, dans une moindre mesure, de potassium qui émettent des rayonnements radioactifs.

Dans ce chapitre, nous allons citer juste les minéraux radioactifs identifiés, par les mesures du Gamma Ray Spectral.

### **I.1 Les argiles :**

#### **I.1.1 Introduction :**

Les argiles sont des aluminosilicates plus ou moins hydratés et la majorité des minéraux argileux appartiennent au groupe des silico-aluminates phylliteux. Ils sont organisés en couches planes, constituées d'unités structurales tétraédriques et octaédriques reliées par leurs sommets. Ce type de structure a très grande surface spécifique associée à des caractéristiques physico-chimiques très particulières, ce qui explique la capacité des argiles à admettre de nombreux échanges de cations et d'anions dans le réseau ou adsorbés en surface. (Benkhedaa A, 2016)

#### **I.1.2 La structure des minéraux argileux**

Les minéraux argileux constituent un groupe minéralogique complexe, ce sont des phyllosilicates ou des silicates en feuillets de taille inférieure à 2 $\mu$ m. Cela signifie qu'ils sont formés par l'empilement de feuillets qui constituent un empilement de couches ; une ou deux couches tétraédriques, une couche octaédrique et un espace inter-foliaire qui contient souvent des cations. (Benkhedaa A, 2016)

On se basant sur leur structure, il est possible de distinguer les différents types de minéraux argileux par :

- Le nombre de couches d'octaèdres et de tétraèdres dans le feuillet élémentaire ;
- L'équidistance dans les conditions naturelles ;
- Les variabilités de cette équidistance sous l'action des traitements divers ;

Les minéraux argileux sont formés par l'empilement des feuillets élémentaires constitués à partir de deux motifs de couches de base :

- Une couche tétraédrique siliceuse ;
- Une couche octaédrique alumineuse ;

L'association de ces deux couches (in Benkhedaa A, 2016) conduit à trois principaux types de minéraux :

- **Type 1** : Minéraux de type 1/1 ou T-O avec une couche tétraédrique et une couche octaédrique. L'équidistance caractéristique est voisine de 7 Å. A ce type correspond le groupe de la kaolinite ;
- **Type 2** : Minéraux de type 2/1 ou T-O-T à une couche octaédrique encadrée par deux couches tétraédriques. L'équidistance caractéristique varie de 9.4 à 15 Å selon le contenu de l'interfeuille ;
- **Type 3** : Minéraux de type 2/1/1 ou T-O-T-O à une couche d'octaèdres encadrée par deux couches tétraédriques, et un inter feuille constitué par un feuillet brucitique. L'équidistance caractéristique est alors d'environ 14 Å, ce type correspond au groupe des chlorites ;

### I.1.3 Les espèces des minéraux argileux :

Les minéraux argileux sont des silicates d'alumine hydratés et cristallisés, subdivisés en trois variétés (Brindley & Brown, 1980, *in* Benkhedaa A, 2016).

Si ces minéraux sont à couche octaédrique discontinue, on parle de minéraux type fibreux. Ils appartiennent à la famille de la sépiolite ou de la palygorskyte. Leurs structures ont des caractères communs avec celles des phyllosilicates, car leur faciès fibreux résulte d'une discontinuité du feuillet dans le sens de la largeur. Les couches T sont continues et constituées de tétraèdres qui n'ont pas tous la même disposition. Les couches octaédriques sont discontinues.

Si ces minéraux sont à couche octaédrique continue et constitués par l'empilement du même feuillet (exemples : O-T/ O-T/ O-T... ou T-O-T/ T-O-T/ T-O-T...), on parle des minéraux types 1/1, 2/1, 2/1/1.

Si ces minéraux sont à couche octaédrique continue et constitués par l'empilement des feuillets différents, cet empilement peut être régulier (T-O-T/ O-T/ T-O-T/ O-T...) : cas des

interstratifiés ou polyphyllites réguliers, ou irrégulier (O-T/ T-O-T/ T-O-T/ O-T...) : cas des interstratifiés ou polyphyllites irréguliers. (in Benkhedaa A, 2016).

La plupart des groupes des minéraux argileux se divisent en deux groupes principaux ; les minéraux di-octaédriques et tri-octaédriques. La distinction entre les deux groupes se fait à partir de la composition des octaèdres ; si les six équivalences négatives du cet octaédrique sont compensées par trois cations divalents ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ...) (les trois cavités sont remplies par des cations divalents) on parle des minéraux tri-octaédriques. (in Benkhedaa A, 2016).

Si la compensation est assurée par deux cations trivalents ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ...) (deux cavités sur trois sont remplies par des cations trivalents), il s'agit des minéraux dioctaédriques (Alliprandi, 1979, *in* Benkhedaa A. 2016).

#### **a. La kaolinite :**

C'est le minéral argileux le plus commun des roches sédimentaires. Il est dominant dans les dépôts continentaux. Il provient de l'altération, en milieu acide (climat chaud et humide) ou hydrothermal, à partir des feldspaths, des feldspathoïdes et d'autres silicates. Les argiles kaoliniques sont de couleur gris-blanchâtre légèrement, jaunâtre (Milot, 1964,1972, *in* Benkhedaa A. 2016.).

#### **b. La montmorillonite :**

C'est le résultat d'une altération des roches éruptives ignée essentiellement basiques et particulièrement riches en cations bivalents ( $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ ). Le milieu ne doit pas être riche en potassium. Les argiles montmorillonitiques sont blanches (Milot, 1964,1972, *in* Benkhedaa A. 2016). La structure élémentaire d'un feuillet de montmorillonite est constituée de deux plans tétraédriques et d'un plan octaédrique. Il en résulte, ainsi, une faible liaison entre deux feuillets consécutifs (Cailler et al, 1982, *in* Benkhedaa A. 2016).

#### **c. L'illite :**

C'est un minéral dominant dans les dépôts marins anciens. Il peut être produit par altération, en milieu basique, des micas et des feldspaths alcalins. Les argiles illitiques sont vertes et peu plastiques. Elles fondent à basse température. Seulement, elles possèdent de remarquables propriétés adsorbants. Sa structure élémentaire est identique à celle de la montmorillonite. Seulement, la présence d'ions de potassium ( $\text{K}^+$ ), entre les feuillets, rééquilibre et renforce les liaisons. Ce qui rend, ainsi ce type d'argile moins sensible au phénomène de gonflement (Cailler et al., 1982 et Bertois, 1974, *in* Benkhedaa A. 2016).

**d. la Glauconie :**

C'est un minéral vert ferrifère proche de l'illite exclusivement formé en milieu marin peu profond. (in Benkhedaa A. 2016).

**e. La chlorite :**

Les chlorites sont des minéraux typiques du métamorphisme. On les trouve, fréquemment, dans les fissures des roches et dans les sédiments récents. Dans les roches sédimentaires, le chlorite riche en fer est issu de l'altération des minéraux ferromagnétiques (pyroxène, biotite...) (Millot, 1964, in Benkhedaa A. 2016). Elle a un feuillet d'une épaisseur double de celui de la kaolinite, comprenant une couche octaédrique dite brucitique (la brucite :  $Mg(OH)_2$ ), Le feuillet brucitique est, parfois, incomplet. Sa liaison est donc assez faible et permet l'introduction de l'eau (S.Cailler, S.Hénin et M.Rautureau, 1982; Bertois, 1975, in Benkhedaa A. 2016). Le chlorite répandu dans les milieux potassiques

**f) la Vermiculite :**

Fréquente dans les sols de la zone tempérée. La couche octaédrique contient du Fe et du Mg. La vermiculite est proche des illites et chlorite mais montre des propriétés gonflantes. (in Benkhedaa A. 2016).

**g) Les argiles fibreuses :**

Les feuillets sont discontinus et forment des rubans. Les principaux types sont la sépiolite et l'attapulгите ou paligorskite. On les trouve dans les milieux confinés. (in Benkhedaa A. 2016).

**h. Les argiles interstratifiés :**

Certains minéraux argileux peuvent s'associer pour former, essentiellement, des minéraux argileux mixtes, appelés communément les inter- stratifiés « Mixed layer Clay minéral ». Il faut savoir que les feuillets élémentaires sont de nature différente et en proportions variables. Ils peuvent se présenter sous deux formes : régulières et irrégulières. (in Benkhedaa A. 2016).

Les inter-stratifiés les plus fréquents sont ceux qui alternent en deux types de feuillets (illite-montmorillonite, illite-chlorite et kaolinite-chlorite)

Certains de ces inter-stratifiés, surtout de type régulier, ont été bien identifiés et définis. On cite à titre d'exemple, la bravai site (illite-montmorillonite) et la corrensite. (Chlorite-montmorillonite) (Millot, 1964, *in* Benkhedaa A. 2016).

Cependant, l'interstratification se produit, le plus souvent au hasard, avec une alternance irrégulière des feuillets. Par conséquent, la classification devient impossible (Millot, 1964 et Bertois, 1975, *in* Benkhedaa A. 2016).

#### **I.1.4 Origine des argiles :**

##### **I.1.4.1 - Héritage et altération :**

Les minéraux argileux résultant de la destruction des roches, peuvent soit rester sur place (argiles résiduelles, ex : argiles à silex, argiles de décalcification) soit être transportées sur de longues distances (ex : argiles des fonds océaniques). En fonction des roches mères et du climat, les minéraux argileux résultant sont différents. En climat froid : l'altération est faible, les minéraux sont argileux sont identiques ou peu différents des minéraux de la roche (illite et chlorite), ils sont hérités de la roche d'origine. En climat chaud et humide, l'hydrolyse est poussée, la kaolinite se forme en milieu drainé, le smectite en milieu confiné. En climat tempéré, humide, l'altération est modérée, il apparaît des interstratifiés, des illites et chlorites dégradées, de la vermiculite. (*in* Benkhedaa A. 2016).

##### **I.1.4.2 Néofonnations en milieux confinés :**

Les argiles fibreuses se forment dans des croûtes calcaires (*in* Benkhedaa A. 2016), dans des zones à climat à saison sèche marquée, dans des milieux évaporitiques sur-salés :

- Néofonnation de sépiolite par concentration des ions par évaporation ;

Certains minéraux argileux se forment en dehors des sols à partir des ions en solution.

- Néofonnation de glauconie (illite ferrifère) dans les vases littorales ;
- Néofonnation des "argiles rouges des grands fonds" (smectites ferrifères provenant des vases calcaires et siliceuses et des cendres volcaniques) ;

**I.1.5 Nature des minéraux argileux :**

Selon le climat, l'origine des minéraux est variable :

- héritage : à partir de la roche-mère ;
- transformation : à partir d'autres minéraux argileux ;
- néoformation : formés à partir des ions transportés par l'eau du sol ;

**La nature de la roche mère joue un rôle :**

- l'altération d'une roche acide, comme le granite, donne plutôt de la kaolinite ;
- l'altération d'une roche basique, comme le basalte, donne plutôt des smectites ;

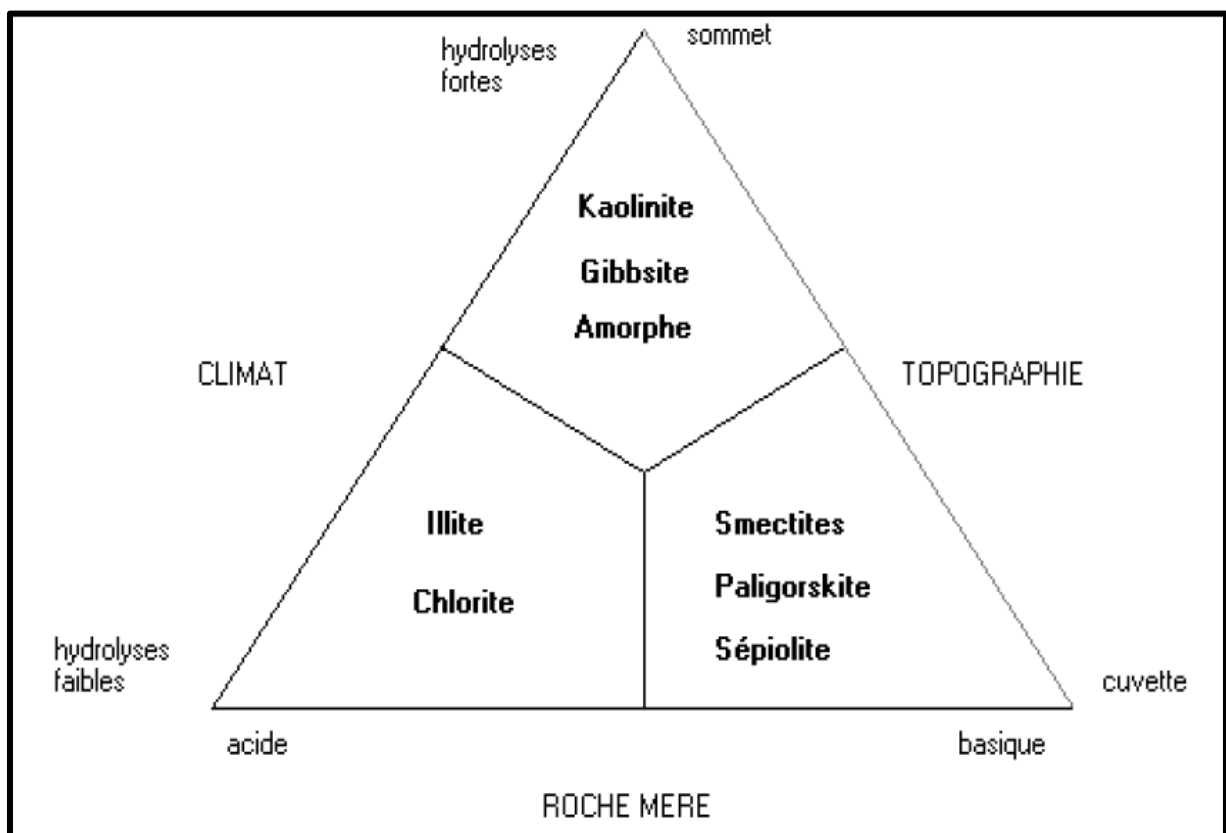


Figure II- 01 : Types de phyllosilicates formés au cours de l'altération (in Benkhedaa A. 2016).

**La topographie, qui commande le drainage, intervient également :**

- sur une pente, où le drainage et le lessivage sont bons, la formation de kaolinite et favorisée ;
- dans une cuvette, milieu confiné où se concentrent les solutions, se forment plutôt des smectites ;

## I.2 Les micas :

### I.2.1 Introduction :

Les micas sont des minéraux fréquents et abondants dans les roches métamorphiques (gneiss, micaschistes), ainsi que dans les roches magmatiques (granites, lamprophyres). Ils se caractérisent par leur aspect feuilleté (phyllites), leur clivage très fin et une certaine élasticité.

Ce sont des silicates hydratés, plus ou moins alumineux et presque toujours potassiques, qui contiennent en proportion variable du fer et du magnésium, ainsi que divers éléments mineurs à des teneurs parfois exploitables.

À la surface du globe, les micas s'altèrent en perdant principalement leur potassium, qui se trouve remplacé, selon les conditions du milieu d'altération, soit par des ions alcalino-terreux (vermiculitisation), soit par de l'aluminium (chloritisation).

### I.2.2 Altération des micas :

Les micas sont soumis aux processus généraux d'altération qui conduisent, à partir des minéraux primaires silicatés, à la formation de constituants secondaires plus stables dans les conditions de la surface du globe. Cependant, on retrouve, dans les minéraux secondaires les plus fréquents, la même structure en feuillets que dans les micas.

On peut rencontrer deux types de transformations spécifiques : la « vermiculitisation » et la « chloritisation ».

- **La vermiculitisation** : se produit en milieu neutre ou basique, en présence de solutions riches en cations. Le potassium interfoliaire est remplacé par des cations plus hydratés (Ca, Mg...). L'évolution conduit à des minéraux à 1,7 nm, à forte capacité d'échange, dénommés vermiculites. Cette évolution apparaît très fréquente pour les micas trioctaédriques (phlogopites, biotites), et elle s'accompagne alors d'une oxydation du fer ferreux situé en couche octaédrique (la teinte du mica devient mordorée) ; elle est beaucoup moins facile pour des micas dioctaédriques (muscovites) ou des micas contenant du fluor. Avec une transformation plus importante de la structure, on peut obtenir dans certains cas des minéraux argileux gonflants (genre montmorillonite). La séquence d'évolution s'écrit finalement :



- La **chloritisation** secondaire, différente de la chloritisation primaire rencontrée en conditions hydrothermales, s'effectue en milieu acide. Le potassium est remplacé par de l'aluminium ;

La nouvelle couche interfoliaire alumineuse, mal organisée dans les « intergrades Al », devient une couche stable et régulière dans les chlorites alumineux. Le terme ultime de cette évolution qui exige des transformations plus importantes peut être une kaolinite. La séquence se résume donc ainsi :

Mica  $\longrightarrow$  Intergrades Al  $\longrightarrow$  Chlorite  $\longrightarrow$  Kaolinite.

### I.3 Les feldspaths :

#### I.3.1 Introduction :

Les feldspaths sont les minéraux les plus abondants de l'écorce terrestre, dont ils contiennent la majeure partie de l'aluminium, la quasi-totalité du sodium et du potassium, une grande partie du calcium et du silicium. Leur identification précise est une des clés de la systématique des roches éruptives ; elle permet également de suivre certaines étapes importantes dans la progression du métamorphisme. Enfin, leur altération est à l'origine de la mise en solutions des ions alcalins, de la formation d'un grand nombre d'argiles, de l'apparition de la plupart des minéraux alumineux résiduels

Les feldspaths correspondent à un ensemble de minéraux formant deux séries entre trois pôles majeurs qui sont :  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ,  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  et  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ . Ces trois pôles sont respectivement représentés par l'orthose ou la sanidine (feldspath potassique des roches volcaniques), l'albite et l'anorthite. La série entre les pôles potassique et sodique définit les feldspaths alcalins, la série entre les pôles sodique et calcique, les plagioclases. Toutes les compositions existent entre albite et anorthite,

Les feldspaths sont des minéraux présents dans presque toutes les roches magmatiques ; les plagioclases proches du pôle calcique (anorthite) se rencontrent dans les roches basiques de type basalte ou gabbro. Les faciès plus différenciés (diorite, andésite...) renferment des plagioclases de composition intermédiaire entre pôles calcique et sodique. Les feldspaths potassiques (orthose et sanidine) sont abondants dans les granites ou dans les rhyolites où ils peuvent être accompagnés de plagioclases de type albite.

**I.3.2 Altération des feldspaths :**

Les feldspaths sont révélateurs du degré d'évolution du facies sableux instables, ils ne se trouvent que relativement près des roches sources. Leur altération aboutit à la formation de diverses argiles, notamment le kaolin. (Composé principalement de la kaolinite)

**I.4 Les minéraux lourds :**

On définit le groupe des minéraux lourds par leur densité supérieure à 2,87. Ce sont le plus souvent des silicates complexes inclus dans les sédiments et provenant directement ou indirectement de l'érosion de roches endogènes.

En raison de leur grande résistance à l'abrasion, la tourmaline, le zircon et le rutile sont les minéraux lourds les plus fréquents dans les roches sédimentaires détritiques (minéraux ubiquistes). Les autres minéraux, plus fragiles, proviennent généralement de l'érosion des roches métamorphiques.

Si, à l'origine, les études de minéraux lourds se limitaient, avec plus ou moins de succès, à la détermination de l'origine des sédiments, il est apparu que l'on pouvait en tirer davantage d'informations dans d'autres domaines de la géologie grâce aux progrès de la méthode. À partir des associations de minéraux lourds présents dans un sédiment, on peut restituer la direction et le sens des paléocourants qui alimentaient un bassin sédimentaire. En effet, en raison de phénomènes de dispersion au cours du transport, plus on s'éloigne de la source d'un minéral lourd, moins il est abondant.

## II. Les diagraphies :

Afin de ressortir les caractéristiques géochimiques des minéraux radioactifs comme outil d'approche des environnements de dépôt, nous avons utilisé les méthodes diagraphiques :

### II.1 Introduction :

Le terme diagraphie provenant du grec *dia*. "À travers". Et *graphein*. "Dessiner". Appelé plus couramment *log* (terme américain signifiant bûche, rouleau...). Désigne tout enregistrement continu d'une caractéristique donnée des formations traversées par un sondage, en fonction de la profondeur. (Bourquin S. 1991).

Les instruments de mesures diagraphiques sont également appelés, après traduction littérale du terme américain "tools", outils diagraphiques.

Au cours d'un sondage. Les enregistrements effectués sont de deux types :

- **Les diagraphies instantanées : réalisées** pendant le forage ;
- **Les diagraphies différées** : dont l'enregistrement est effectué après arrêt du forage.

Cette étude s'appuyant sur les diagraphies différées, seuls les outils permettant ces enregistrements seront décrits dans ce chapitre ;

Trois catégories de diagraphies doivent être distinguées :

- **Les diagraphies "de base"** : mesures de la radioactivité naturelle totale. du temps de parcours de l'onde sonique, de la densité, de l'indice d'hydrogène, des résistivités..., ont un pouvoir de résolution verticale de l'ordre de 30 à 50 cm ; elles sont utilisées pour définir la lithologie et les caractéristiques "réservoir" des formations, (Bourquin S. 1991) ;
- **Les diagraphies "géochimiques"** : mesures spectrométriques du rayonnement gamma naturel et induit, avec un pouvoir de résolution verticale identique à celui des précédentes, elles permettent d'appréhender la nature d'un certain nombre d'éléments présents dans les roches, (Bourquin S. 1991) ;
- **Les diagraphies "haute résolution"**, outils pendagemètre et microscanner. Grâce à leur pouvoir de résolution verticale de l'ordre du centimètre, autorisent une approche des paramètres texturaux et structuraux. (Bourquin S. 1991) ;

## II.2 Mesures de la radioactivité naturelle totale :

La désintégration des atomes instables présents dans l'horizon testé traduit une radioactivité naturelle se manifestant par l'émission de rayonnements  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$ . Cette radioactivité est essentiellement produite par trois éléments principaux : l'uranium, le thorium et le potassium. Au cours de l'enregistrement effectué par l'outil Gamma Ray ou GR (Schlumberger, 1987a, 1989a ; Serra, 1979, 1990, *in* Bourquin S. 1991), seul le rayonnement  $\gamma$  total, exprimé en unité API (American Petroleum Institute), est mesuré.

Les roches ou minéraux susceptibles de renfermer un ou plusieurs de ces éléments radioactifs sont :

- Les argiles, dont les minéraux argileux les composant contiennent plus ou moins de thorium, de potassium et d'uranium fixés par adsorption ;
- Les grès feldspathiques ou micacés, les arkoses et grauwackes ;
- Les minéraux potassiques (cas des formations évaporitiques potassiques, des illites...) ;
- Les minéraux lourds présents dans les formations gréseuses (zircon, monazite, sphène...) ;
- Les dépôts auxquels l'uranium est fréquemment associé, tels que les niveaux riches en matière organique, en phosphate... ;
- Les roches plutoniques ou volcaniques acides et acido-basiques ;
- Les gneiss, les micaschistes... ;

Cet outil permet la recherche des minerais radioactifs et la détection des bancs d'argiles ou de fines passées radioactives (cinérites ou tonsteins des séries houillères par exemple) qui peuvent être extrêmement importants en tant que niveaux repères isochrones.

## II.3 Mesures du temps de parcours de l'onde sonique :

L'outil sonique compensé ou BHC\* (Bore Hole Compensated ; Schlumberger, 1987a, 1989a; Serra, 1979, 1990, *in* Bourquin S. 1991). Envoie un train d'ondes acoustiques dans la formation et mesure le temps mis par la première onde longitudinale pour parcourir la distance séparant l'émetteur du récepteur. Afin d'éviter au maximum les erreurs de lecture dues à la présence de cavités ou à l'inclinaison de l'outil dans le trou de sonde, l'outil BHC\* comporte deux émetteurs et quatre récepteurs. Ainsi, en effectuant la moyenne des deux lectures, on minimise ces effets parasites : l'outil est alors dit "compensé des effets de trou". (Bourquin S. 1991).

Ces mesures (DT) exprimées en microseconde par pied ( $\mu\text{s}/\text{f}$ ), sont fonction de la composition minéralogique de la roche, de sa structure (homogénéité du sédiment), de sa texture (taille et forme des grains et des pores, nature des contacts, répartition et connexion des pores), de son degré de compaction, de sa porosité, de la nature des fluides présents. (Bourquin S. 1991).

## II.4 Mesures de spectrométrie du rayonnement gamma naturel :

L'outil NGS\* (Natural Gamma Ray Spectrometry; Serra, 1979, 1990; Schlumberger, 1987a, 1989a, in Bourquin S. 1991). Effectue une analyse spectroscopique du rayonnement  $\gamma$  naturel total émis par la formation, en mesurant, pour un certain domaine d'énergie, l'intensité du rayonnement des différents éléments radioactifs (Uranium (U), Thorium, (Th), Potassium (K)). Les teneurs sont exprimées en ppm pour l'uranium et le thorium, et en % pour le potassium.

### II.4.1 Principe de la spectrométrie :

La diagraphie gamma-ray enregistre la radioactivité  $\gamma$  naturelle et globale des formations traversées. Cette radioactivité est due à trois éléments radioactifs principaux (K40, Th232, et U238), ou à leurs descendants, qui émettent des rayons  $\gamma$  d'énergie différente. (in Malla A. 2016).

Le spectre d'énergie du rayonnement  $\gamma$  de ces éléments montre que ces rayons sont caractéristiques, par leur énergie aux éléments qui les engendrent. Ainsi le potassium K40 se caractérise par un photon d'énergie égale à 1.46 MeV (Ar40), Le Thorium Th232 par un photon  $\delta$  à 2.62 MeV (T208) et l'Uranium U238 par un photon  $\delta$  à 1.76 MeV (Bi214). (Malla A. 2016).

Théoriquement, l'enregistrement des trois « fenêtres » correspondantes du spectre d'énergie  $\gamma$  complet permet donc de déterminer la part du rayonnement  $\gamma$  total revenant à chacun des éléments radioactifs principaux, dans la mesure où l'équilibre radioactif est atteint. (in Malla A. 2016).

L'outil NGS peut mesurer de manière continue le spectre gamma relatif à chaque élément radioactif. Ainsi pour chaque élément, nous avons un enregistrement sous forme de courbe qui correspond à sa teneur en fonction de la profondeur. Par association des trois courbes on obtient un gamma-ray total (GT) qui rassemble les trois éléments. Il arrive que

l'un des éléments soit plus abondant que les autres. Par conséquent ceci peut induire en erreur lors de l'interprétation. Pour y remédier, on soustrait du gamma-ray total l'influence de l'élément indésirable pour obtenir un gamma-ray corrigé (CG). (Malla A. 2016).

Voici le tableau qui montre les caractéristiques de chaque élément radioactif :

éléments	Caractéristiques
Thorium	<ul style="list-style-type: none"><li>• Insoluble dans l'eau.</li><li>• Généralement combiné avec des schistes, peut fournir certaines informations sur la teneur en argile.</li><li>• Combiné avec des minéraux lourds dans les roches ignées.</li></ul>
Uranium	<ul style="list-style-type: none"><li>• Généralement non lié à la contamination argileuse des roches.</li><li>• Dépend de la teneur en matière organique.</li></ul>
Potassium	<ul style="list-style-type: none"><li>• L'un des composants de base des roches de schiste.</li><li>• Indicateur de la présence de feldspaths et de micas.</li><li>• Se produit principalement sous forme oxydée (K<sub>2</sub>O).</li><li>• Stabilise les minéraux argileux comme KCl.</li></ul>

Tableau II-01 : Les caractéristiques des éléments radioactifs Thorium, Uranium le Potassium.

(Klaja J. et Dudek L. 2016)

**II.4.2 Intérêt de la spectrométrie :**

Les mesures de la spectrométrie (in Malla A. 2016). Permettent d'obtenir une meilleure connaissance de la minéralogie mais aussi de définir le type et le pourcentage des argiles présentes dans les roches, notamment en combinaison avec d'autres diagraphies. Elles permettent également :

- **D'établir des corrélations entre sondages** : par les pics observés sur les courbes du thorium correspondants souvent à des cendres volcaniques (ou à des couches renfermant de la bentonite). On peut ainsi considérer que celles-ci se sont déposées exactement en même temps sur une large zone. (in Malla A. 2016) ;

- **De détecter des discordances** : des changements brusques du rapport Th/K sont généralement révélateurs d'importantes variations de la proportion des minéraux radioactifs, qui se produisent lorsque les conditions géologiques de dépôt se modifient. Ces changements correspondent à des discordances, souvent très difficiles à détecter sur d'autres enregistrements. (in Malla A. 2016) ;

- **D'évaluer le potentiel d'hydrocarbures** : plusieurs auteurs (Beers et Goodman (1944), Russel (1945), Swanson (1960), in Malla A. 2016). Ont observé une corrélation importante entre l'uranium et la matière organique. Donc, après étalonnage avec les mesures de la carotte, on peut évaluer la teneur de la roche- source en carbone organique d'après sa teneur en uranium et, à partir de là, son potentiel d'hydrocarbures. Une concentration élevée en uranium est caractéristique d'une concentration de matière organique ou de la présence de joints stylolitiques (Hassan et Coll, 1976), in Malla A. 2016) ;

Les rayons gamma ray spectral sont très utiles, en particulier pour la détermination de la teneur en argile des dépôts étudiés, l'évaluation des types de minéraux argileux et la détermination de la teneur en matière organique dans les sédiments. (Malla A. 2016).

**II.4.2.1 Intérêt minéralogique et sédimentologique :**

Une des informations primordiales que la spectrométrie gamma peut nous donner c'est la minéralogie des argiles. Cette donner va nous renseigner sur entre autre les environnements de dépôts

A partir de ces données, on effectue des rapports entre les abondances des principales sources radioactives (les éléments Th, K, U) dans le but de savoir le type et le pourcentage des

minéraux argileux présentes dans les roches et d'avoir une meilleure approche des milieux de dépôts.

Les informations fournis par l'outil NGS sur les éléments radioactifs permettent l'identification, avec précision, des minéraux radioactifs présents dans les roches et l'analyse des conditions de dépôt (tableau II-2) grâce à la radioactivité naturelle émise par l'uranium contenu dans les sédiments. En effet, son absence indique un milieu oxydant et sa présence nous renvoie à un milieu réducteur. La mesure de l'Uranium peut aussi mettre en évidence la distribution verticale des minéraux et reconstituer avec une grande précision les conditions de dépôt (Hassan & Coll, 1976. *in* Malla A. 2016). Celles-ci sont définies par la présence de certains minéraux caractéristiques (La glauconite, - Les feldspaths, Les dépôts phosphatés, Les bauxites).

L'identification des minéraux radioactifs présents dans la roche par le rapport Th/K :

- 1- Le rapport Th/K :** la nature minéralogique des argiles (kaolinite, illite, montmorillonite...), et la présence de minéraux radioactifs tels que mica, feldspath potassique, phosphate...

Pour l'interprétation de ces mesures (Th/K) en utilise cette cross plot pour l'identification du type de minéral radioactif présent dans la roche.

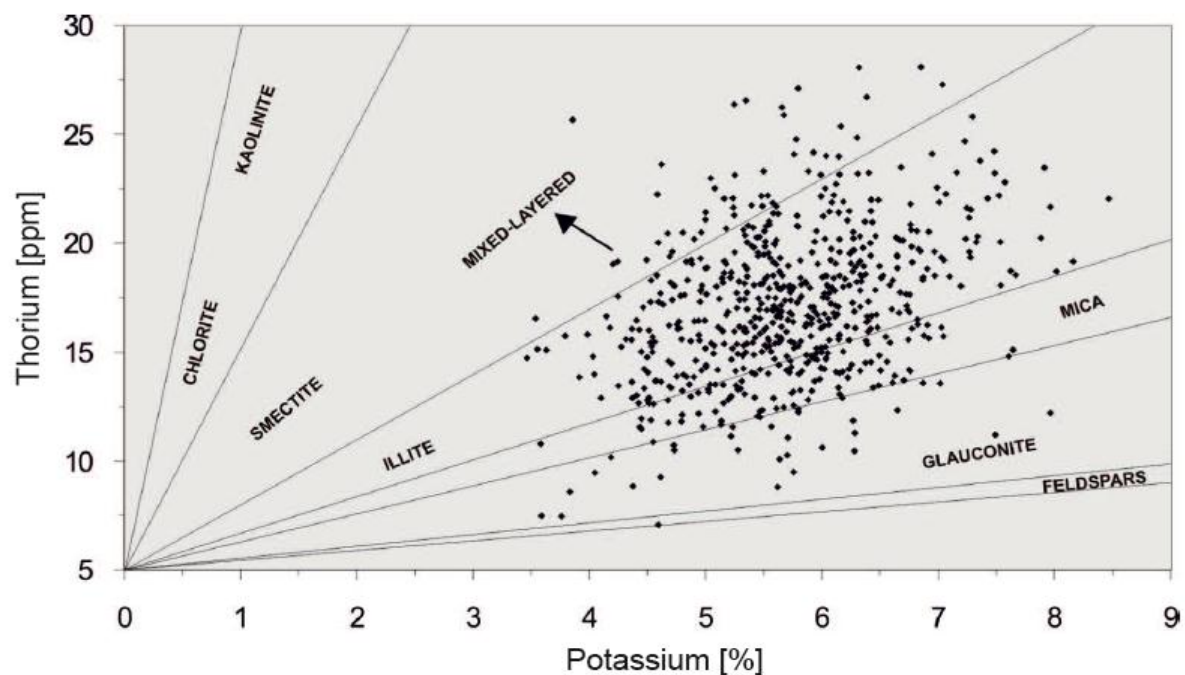


Figure II-02 : Cross-plot Thorium / Potassium pour l'identification des minéraux en utilisant les données de rayons gamma spectral. (Klaja J. et Dudek L. 2016)

Et l'analyse des conditions de dépôt (tab. III-2) on utilisant le rapport Th/U selon le :

- 1- **Rapport Th/U** : permettent de distinguer les argiles marines des argiles continentales, d'identifier éventuellement les zones poreuses, les zones transformées en dolomite ainsi que les zones calcaires riches en résidus. (in Malla A. 2016).

#### **II.4.2.2 Intérêt pétrolier (Matière organique) :**

A l'aide du rapport U/K on obtient des informations sur la matière organique et d'évaluer le potentiel d'hydrocarbures

- 1- **Le Rapport U/K** : L'Uranium présente une corrélation importante avec la matière organique (Beers et Goodman. 1944, Russel. 1945, Swanson. 1960. *in* Malla A. 2016.). Ce rapport est appliqué pour estimer le potentiel en matière organique de la roche sédimentaire source. Il dépend des possibilités de fixation et de précipitation de l'uranium ainsi que de l'origine de la matière organique ;

Tableau Résumant l'importance des rapports utilisé dans notre étude.

Rapport	Importance
Th/U	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse des conditions sédimentaires :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Th / U &gt; 7 environnement continental, conditions oxydantes, sols altérés, etc... ;</li> <li>- Th / U &lt; 7 sédiments marins, schistes gris et verts, greywackes, (greywackes grés avec les micas + feldspath) ;</li> <li>- Th / U &lt; 2 schistes noirs marins, phosphorites, conditions réductrices. Offshore;</li> </ul> </li> <li>• Estimation de la teneur en matière organique dans les argiles.</li> <li>• Détection des discontinuités de base.</li> <li>• Utilisé dans les corrélations stratigraphiques en déterminant les conditions transgressive-régressive et oxydante-réductrice.</li> </ul>
U/K	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Évaluation de la teneur en matière organique dans les sédiments argileux.</li> <li>• Utilisé dans les corrélations stratigraphiques.</li> <li>• Détection des changements diagénétiques dans les sédiments argileux et carbonatés, etc.</li> <li>• Utilisé en corrélation des systèmes de fissures naturelles dans les formations plus profondes.</li> </ul>
Th/K	<ul style="list-style-type: none"> <li>• les changements brusques du rapport Th / K peuvent agir comme un indicateur de changement brusque de milieu de dépôt, (discordance).</li> <li>• Reconnaissance des types de sédiments représentant différents faciès.</li> <li>• Détermination des types de conditions sédimentaires, distance par rapport aux rivages paléo, etc.</li> <li>• Détermination des changements diagénétiques dans les sédiments argileux.</li> <li>• Détermination du type de minéraux argileux ; le rapport th / k augmente dans la direction suivante : glauconite → muscovite → illite → argile interstratifiée → kaolinite → chlorite → bauxite</li> </ul>

Tableau II-02 : l'importance des trois rapports. Th/U, U/K, Th/K. (Klaja J. et Dudek L. 2016)

# **CHAPITRE III :**

## **APPLICATION DE L'ANALYSE MINÉRALOGIQUE**

- 1 Introduction.**
- 2 Découpage des unités réservoirs (log lithologique).**
- 3 Caractérisation minéralogique des différentes unités.**
- 4 Essai de caractérisations des environnements de dépôts.**
- 5 Corrélation et proposition d'un nouveau découpage pour la région.**

### I. Introduction :

Dans ce chapitre à l'aide de logiciel PETREL nous allons appliquer les notions théoriques du chapitre précédent, démarche et données de base (chapitre 02), dont la minéralogie des argiles, la présence de la matière organique et leurs relations avec les environnements de dépôts.

Sur la base de la corrélation litho-stratigraphique classique réalisée à partir des diagraphies de base (GR et DT) en suite à l'aide de la courbe GR, nous avons réalisé un log lithologique (grés- argile) afin d'améliorer le découpage.

En suite pour affiner notre découpage nous avons procédé à une caractérisation minéralogique des unités réservoirs du Dévonien moyen-inférieur, pour donner une minéralogie type de chaque puits à l'aide du rapport Th/K.

Pour restituer les environnements de dépôts dans la région d'El Ouar nous allons utiliser deux démarches ; la reconstitution des environnements de dépôts à partir des minéraux radioactifs caractéristiques, l'autre démarche est centrée sur l'interprétation du rapport Th/U.

Voici la carte de positionnement des trois puits concerne par cette étude :

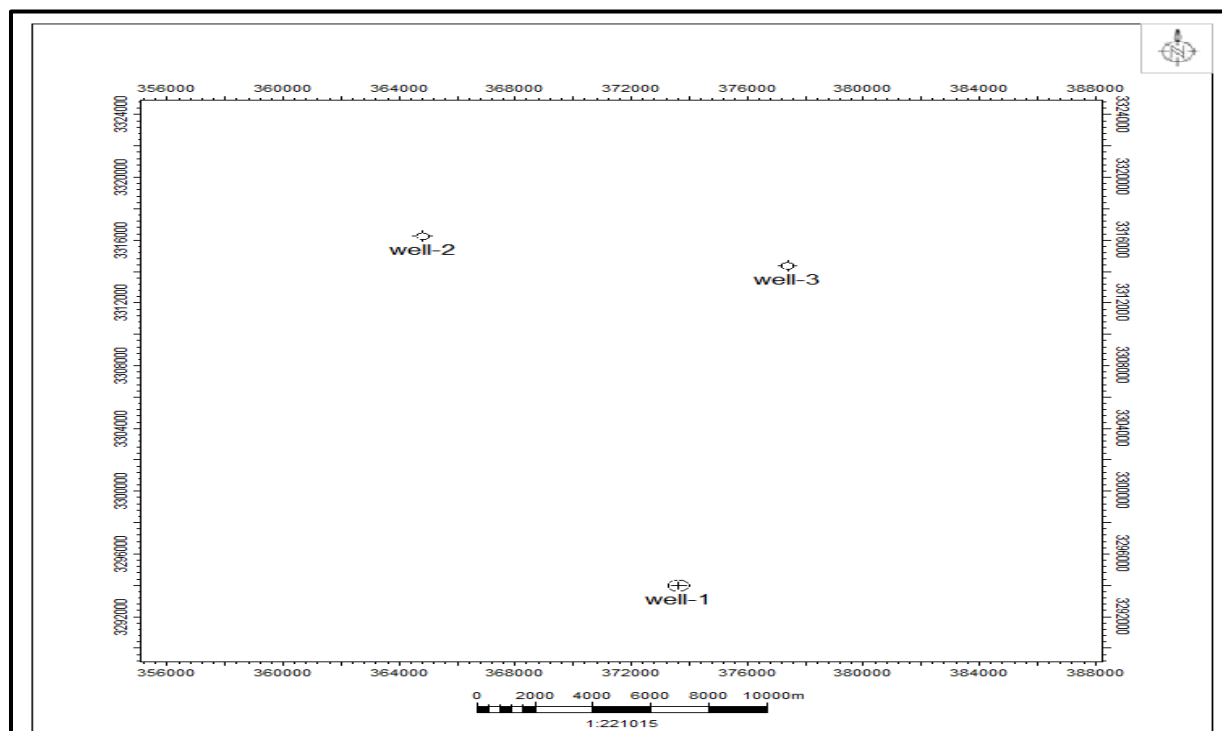


Figure III-01 : Carte de position des puits.

### II. Découpage des unités réservoirs ; log lithologique (grès-argile) :

#### II.1 Méthodologie :

A partir des courbes (GR et DT) en a réalisé des logs lithologiques de chaque puits sur tout l'intervalle du dévonien inférieur et moyen sur le logiciel PETREL en utilisant la formule suivante :

$$\text{litho} = \text{If} (\text{GR} \leq 70, 0, \text{If} (\text{GR} \geq 200, 1, 1))$$

**GR ≤ 70, 0** : si les valeurs du GR sont inférieures à 70 on obtient des grès.

**GR ≥ 200, 1, 1** : si les valeurs du GR sont supérieures à 70 et inférieures à 200 on obtient des argiles.


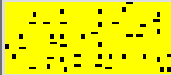


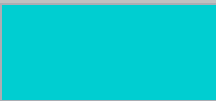
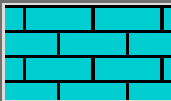
Code	Name	Background	Pattern
0	grès		
1	argile		
2	calcaire		

Figure III-02 : La légende des logs lithologiques.

II.2 Contenu Lithologique du puits : well-1

II.2.1 L'intervalle de 3489.07 - 3338.18 : Gédinnien F6-3 :

Le réservoir F6-3 est d'une épaisseur de 150m, limité à la base par la discordance calédonienne. Il est constitué essentiellement par des grès très fin à fin, blanc à beige avec fines passées d'argile grise à gris clair. (**masterlog**).

Les pics du (GR) indiquent la présence d'argile d'une épaisseur très faible.

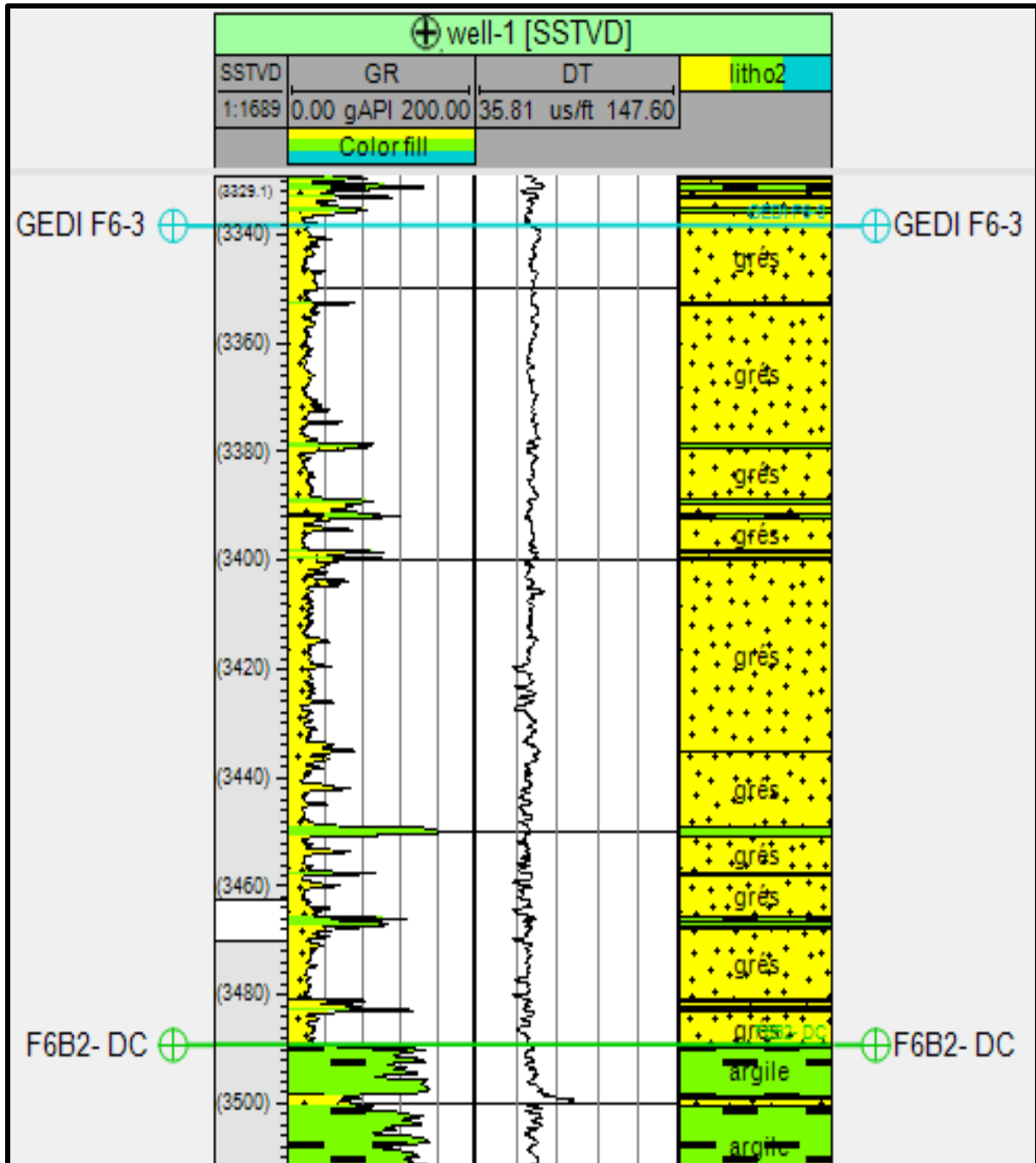


Figure III-03 : Log lithologique du réservoir Gédinnien F6-3 de puits well-1.

II.2.2 L'intervalle de 3338.18 - 3160.50 : Siégenien F6-1 :

Le réservoir F6-1 est d'une épaisseur de 177m il est constitué par des grès très fin à fin rarement moyen blanc à beige, argileux à silico-argileux, et d'argile grise à gris clair parfois noire, avec des traces de pyrite. (**masterlog**)

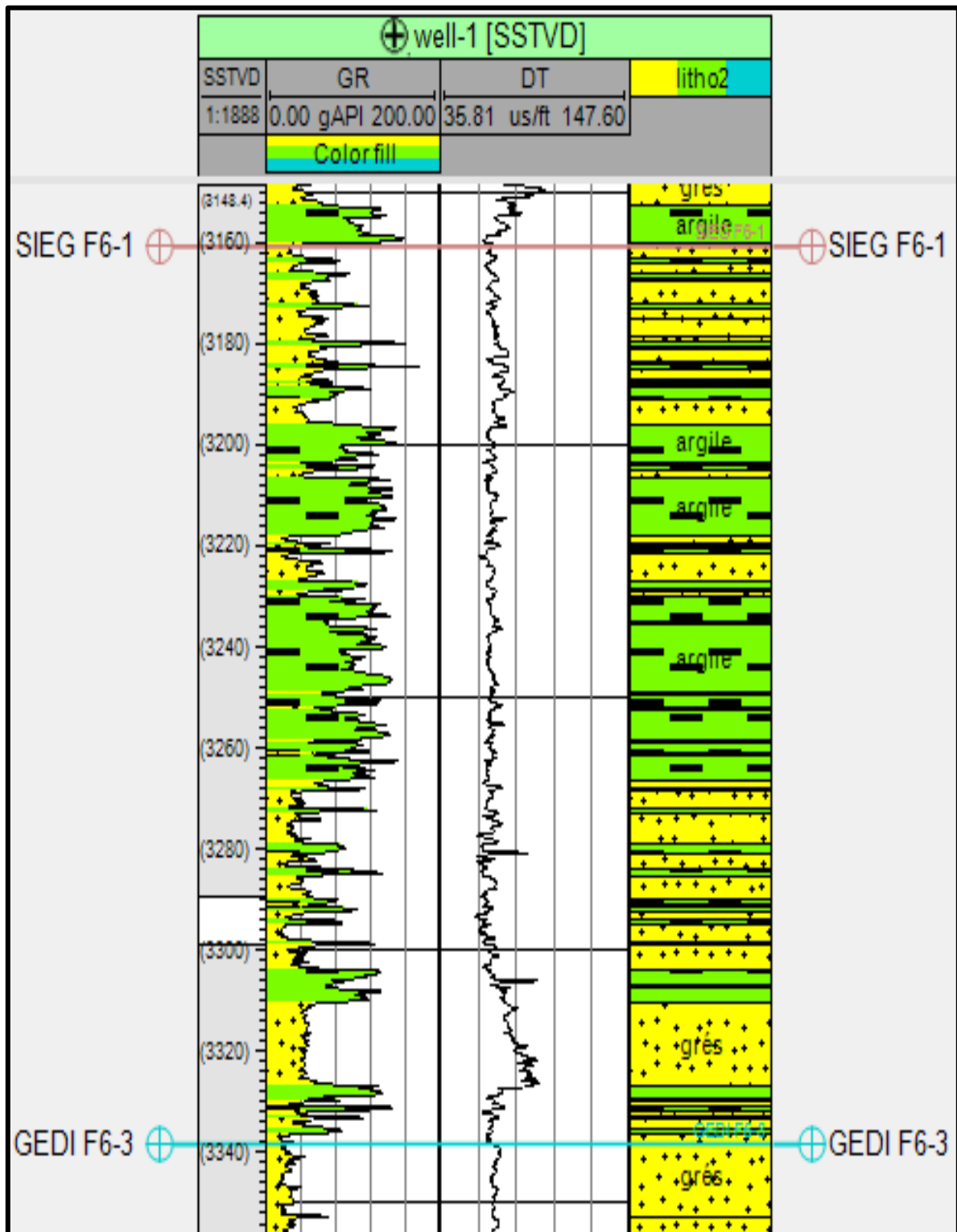


Figure III-04 : Log lithologique du réservoir Siégenien F6-1 de puits well-1.

II.2.3 L'intervalle de 3160.50 - 3145.67 : Emsien F4 :

Le réservoir F4 est d'une épaisseur de 14m il est composé essentiellement par des argile grise à gris noir, feuilletée, silteuse, micacée, surmonté par un banc de grès fin à moyen, blanc à gris, beige, argileux à silico-argileux, avec des traces de pyrite. (masterlog)

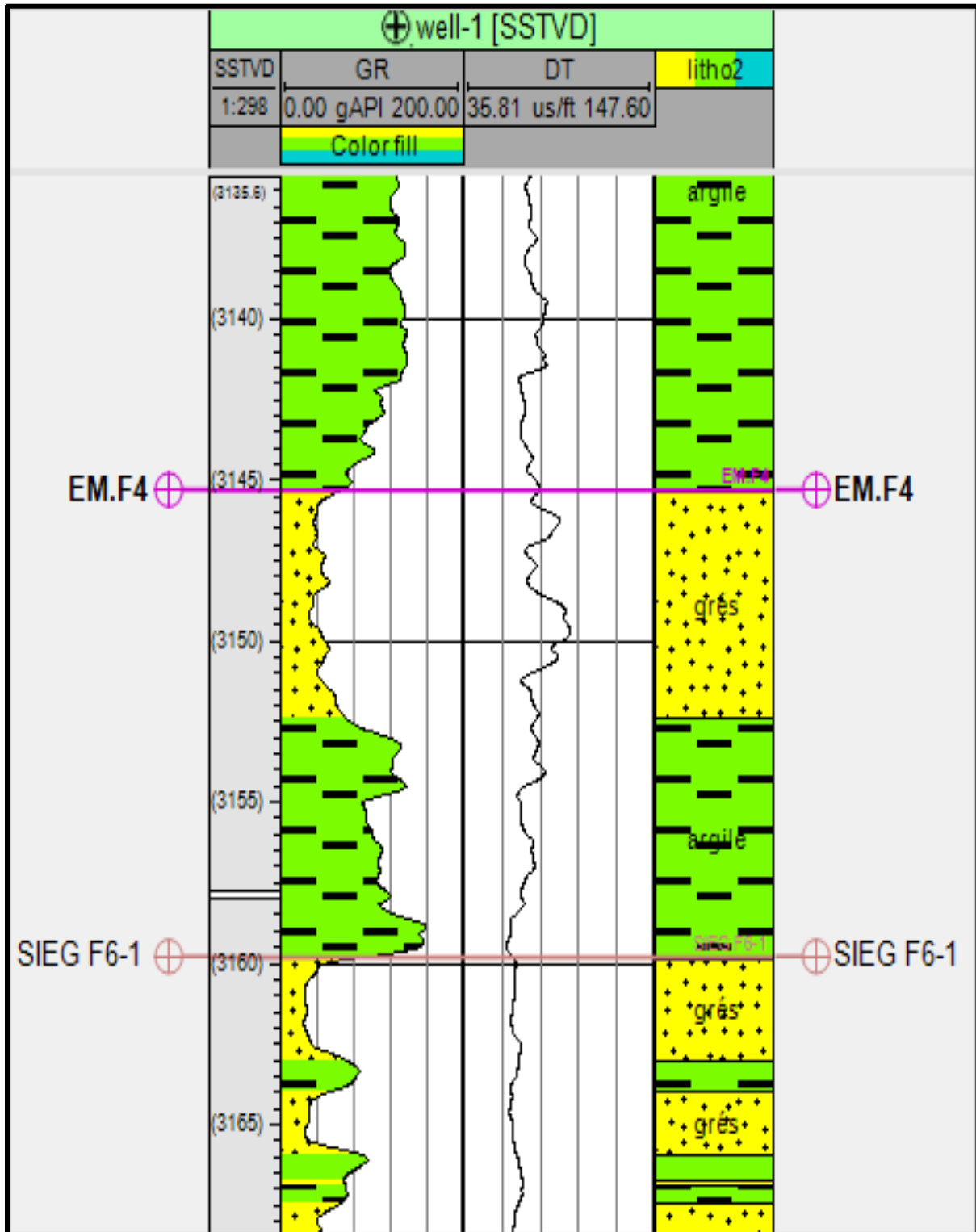


Figure III-05 : Log lithologique du réservoir Emsien F4 de puits well-1.

II.2.4 L'intervalle de 3145.67 – 3120.32 : Givétien F3 :

Le réservoir F3 est d'une épaisseur de 25m il est constitué essentiellement par des argiles grises, feuilletées, silteuses, micacées, surmonté par des grès fins à moyen, blanc à gris, beige, argileux à silico-argileux. (masterlog)

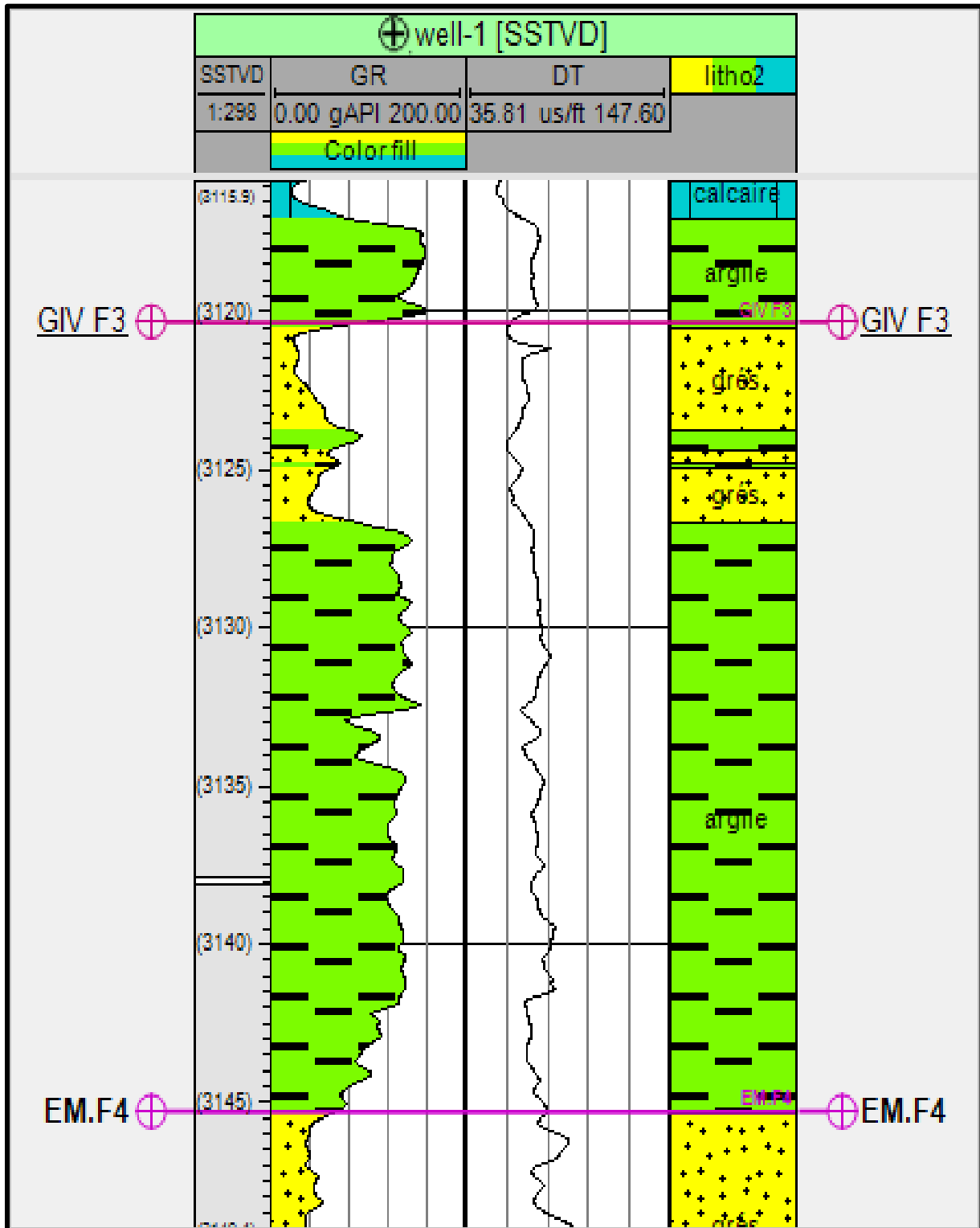


Figure III-06 : Log lithologique du réservoir Givétien F3 de puits well-1.

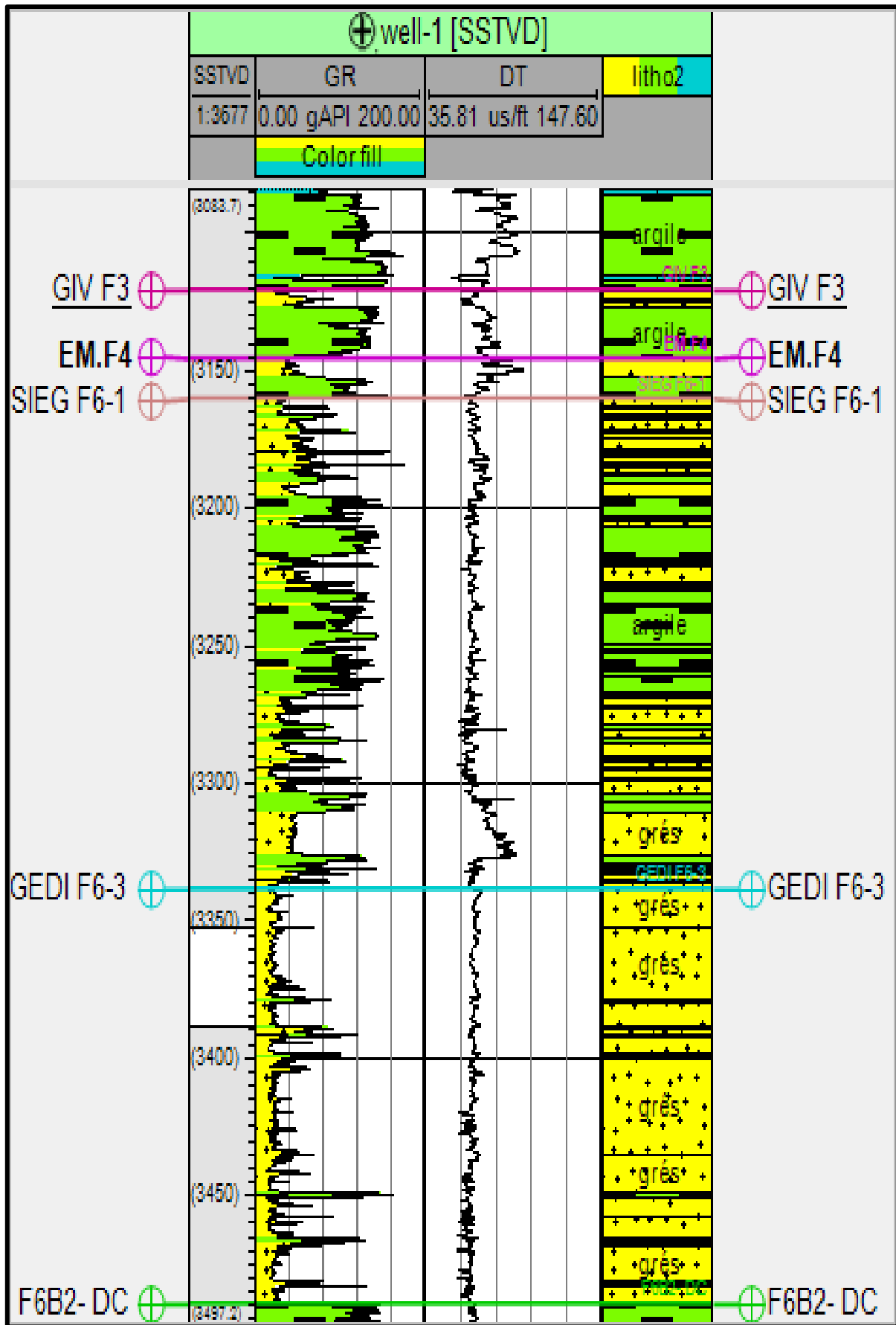


Figure III-07 : Log lithologique complet du puits well-1.

II.3 Contenu Lithologique du puits : well-2 :

II.3.1 L'intervalle inconnu - de 3731.87 : Gédinnien F6-3 :

La limite inférieure du réservoir F6-3 n'est pas connue, dû à l'arrêt de forage avant d'atteindre cette limite (fin de forage). Il est constitué essentiellement par des grès blancs à gris blanc, fin à moyen parfois grossier, subanguleux à subarrondi, siliceux à silico-quartzitique, avec passées d'argile gris foncé à noire, silteuse, (**masterlog**)

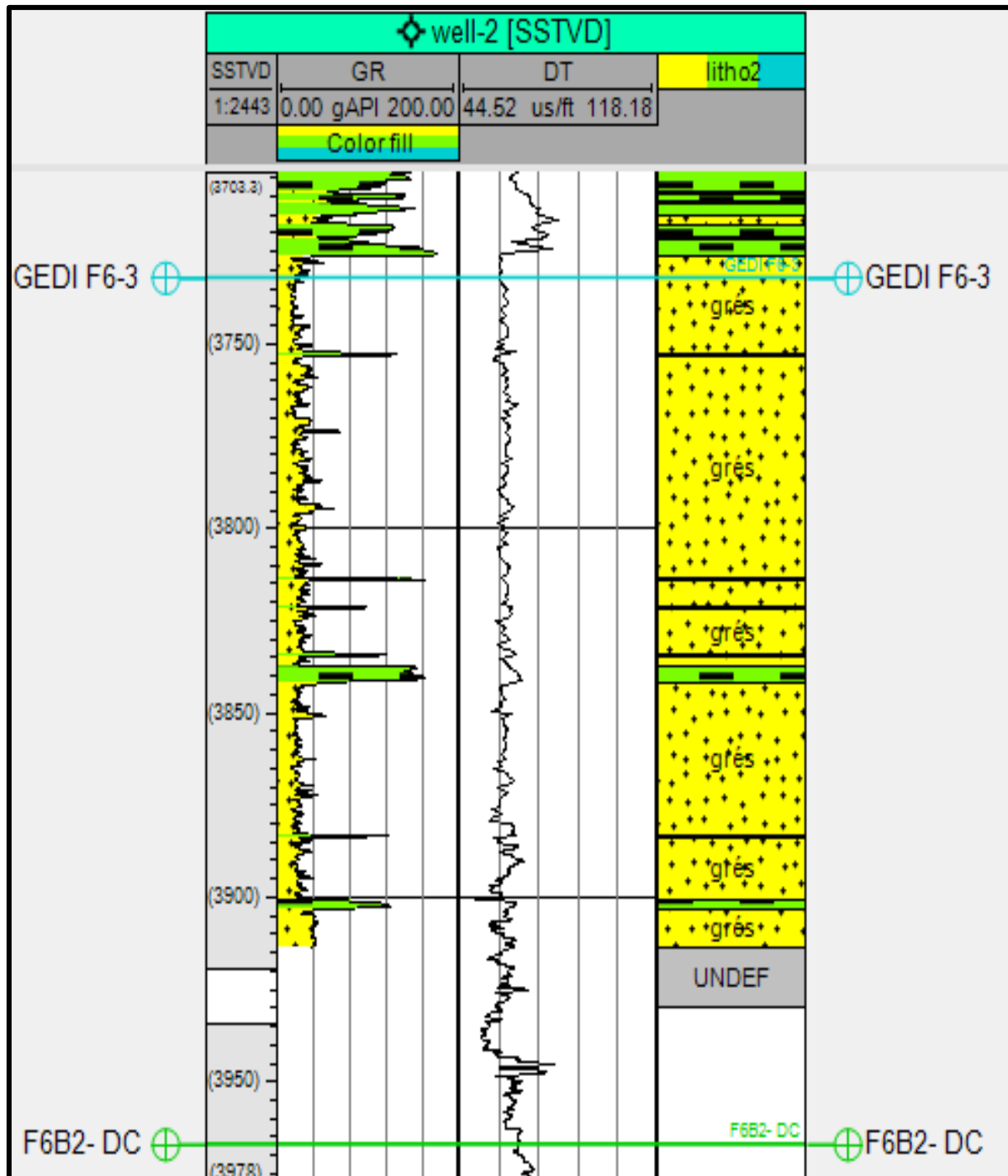


Figure III-08 : Log lithologique du réservoir Gédinnien F6-3 de puits well-2.

II.3.2 L'intervalle de 3731.87 - 3473.88 : Siégenien F6-1 :

Le réservoir F6-1 est un complexe grés-argileux, d'une épaisseur de 308m il est constitué essentiellement par des argile gris sombre à noire, silteuse, micacée, avec intercalations des grès gris blanc à gris beige, très fin à fin, siliceux, (**masterlog**)

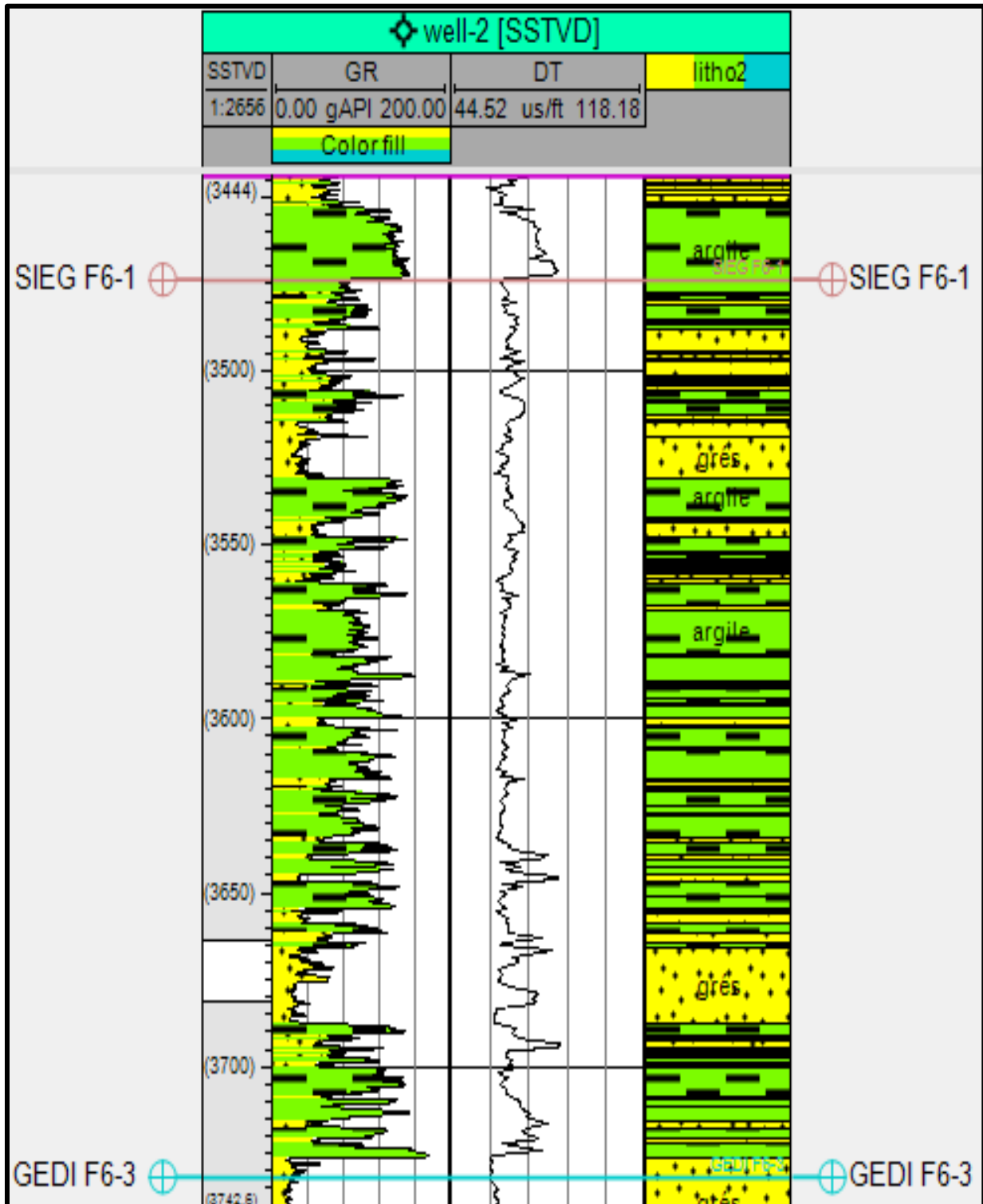


Figure III-09 : Log lithologique du réservoir Siégenien F6-1 de puits well-2.

### II.3.3 L'intervalle de 3473.88 - 3443.89 : Emsien F4 :

Le réservoir F4 est d'une épaisseur de 30m il est constitué essentiellement par des argile gris sombre à noire, silteuse, surmontée par des grès gris sombre, très fin, silico-argileux. (masterlog)

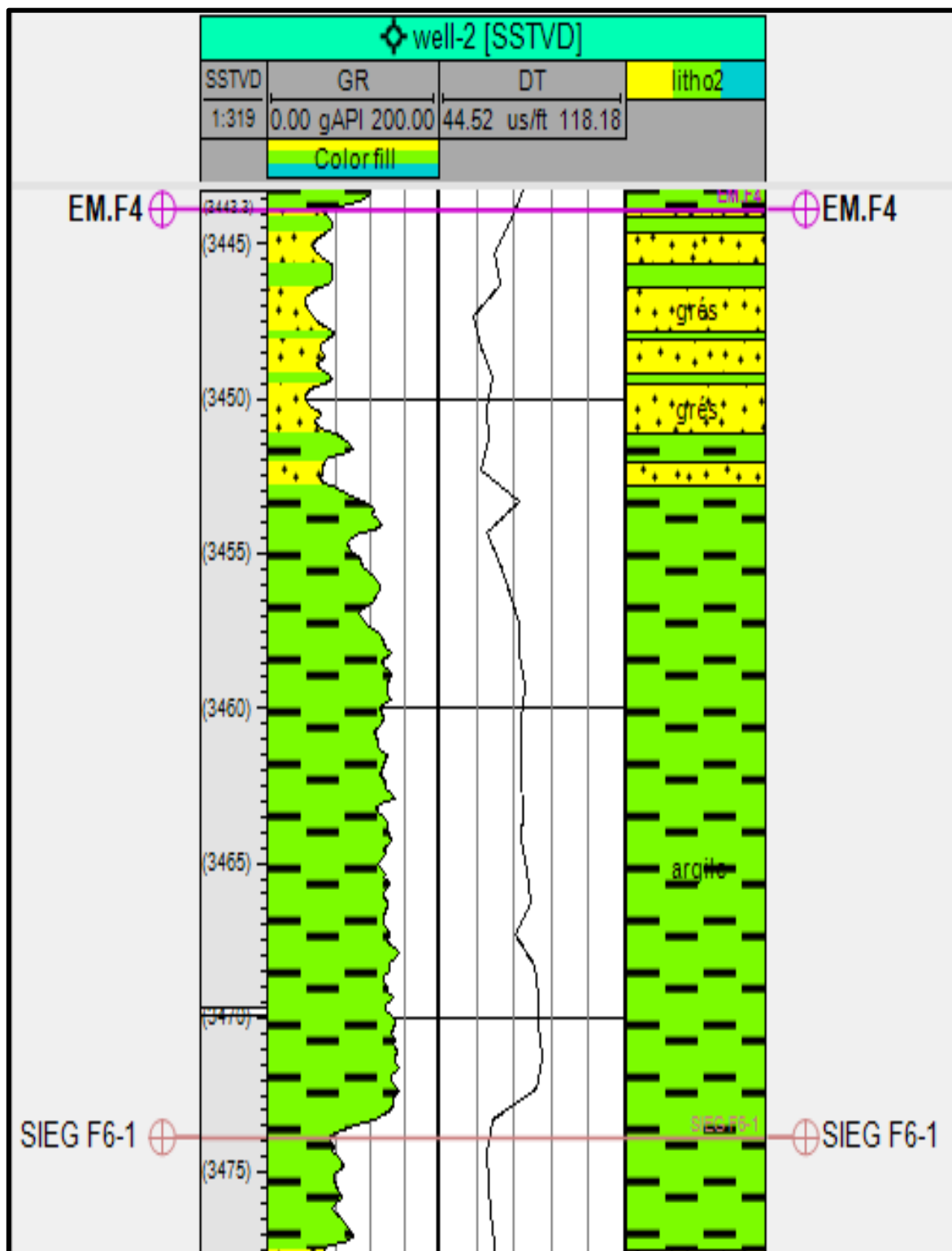


Figure III-10 : Log lithologique du réservoir Emsien F4 de puits well-2.

**II.3.4 L'intervalle de 3443.89 – 3386.87 : Givétien :**

Le réservoir F3 est d'une épaisseur de 57m il est constitué essentiellement par des argiles gris clair, silteuse, finement micacée, surmontée par des grès gris sombre, très fin, silico-argileux (**masterlog**)

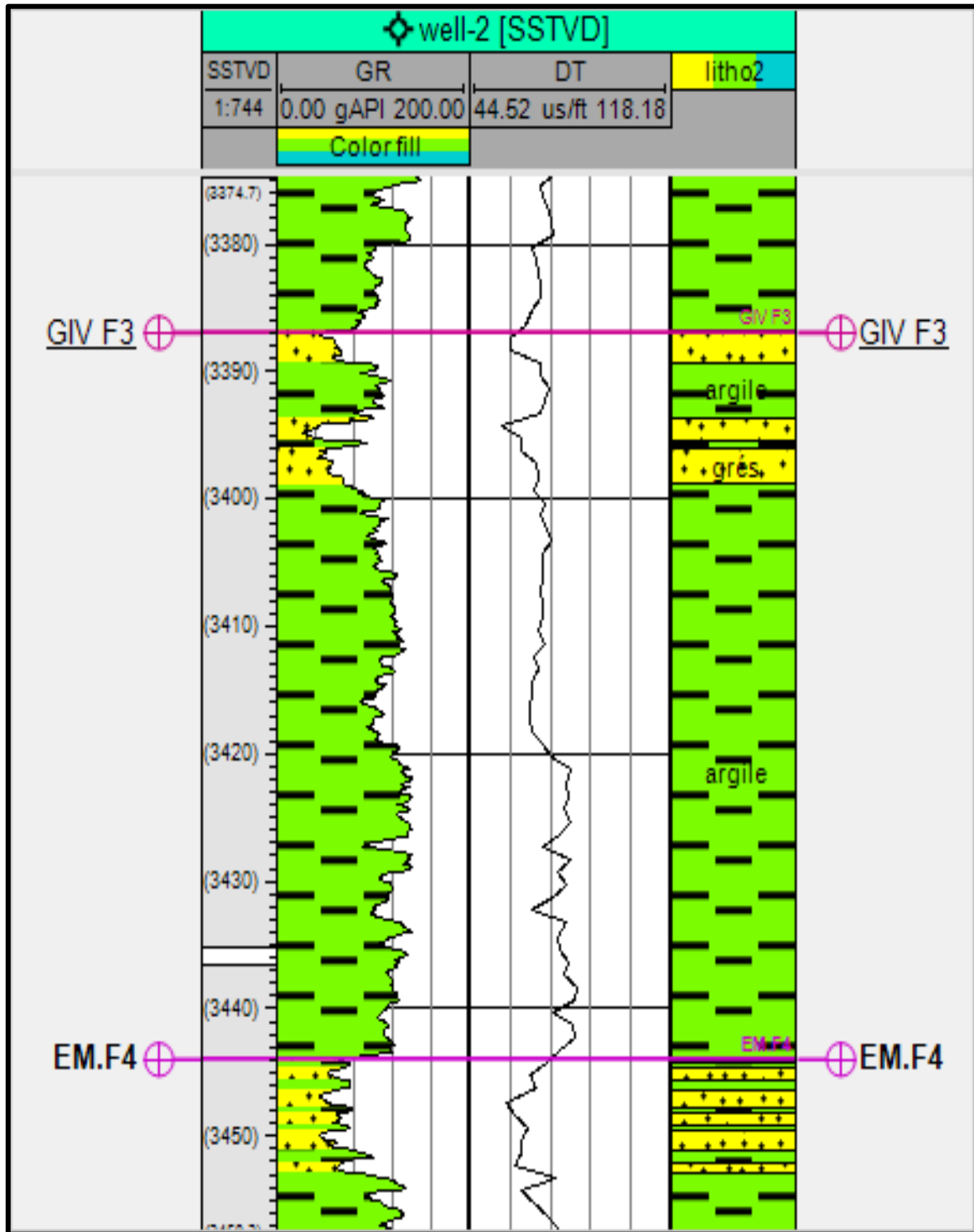


Figure III-11 : Log lithologique du réservoir Givétien de puits well-2.

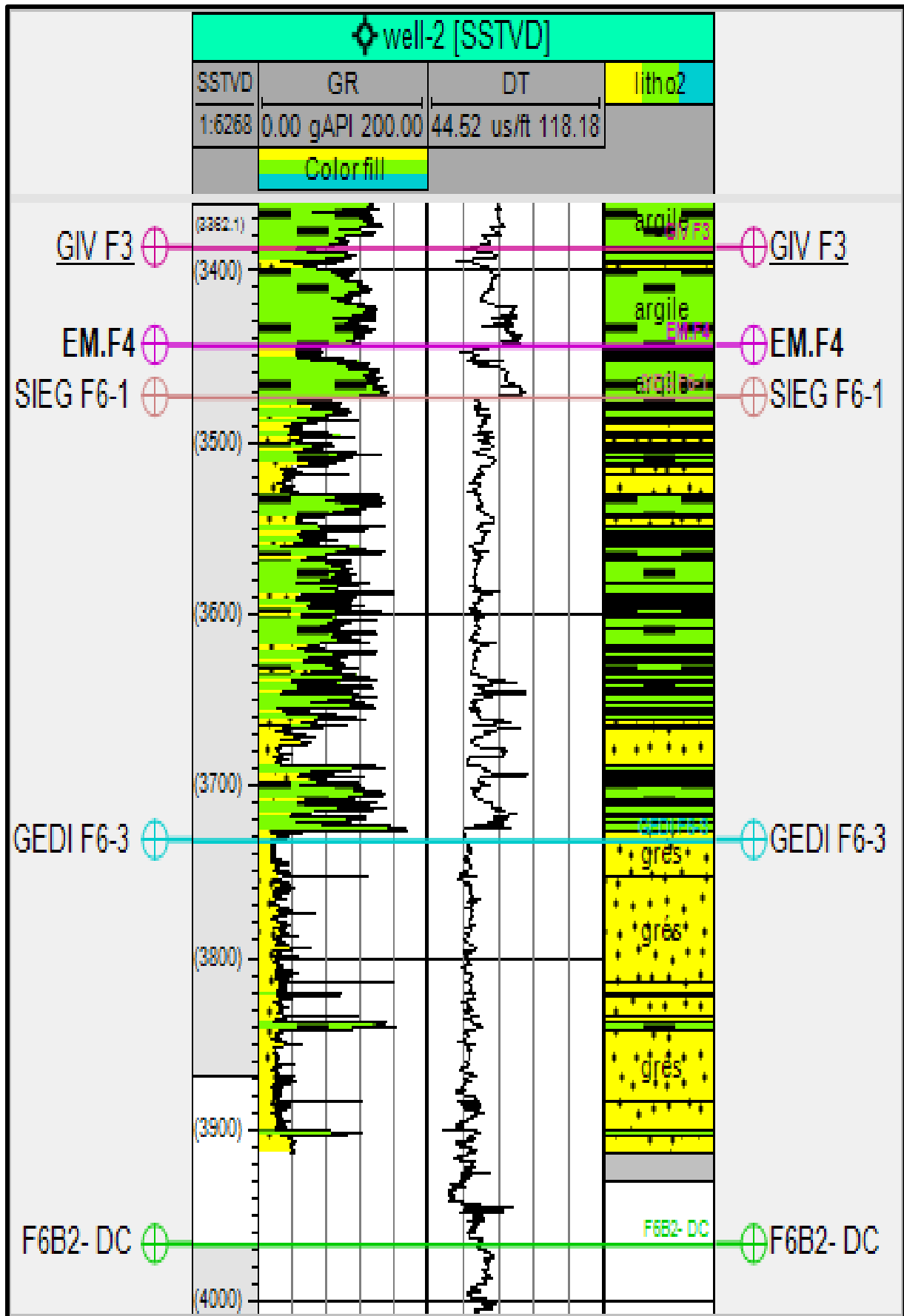


Figure III-12 : Log lithologique complet du puits well-2.

II.4 Contenu Lithologique du puits : well-3

II.4.1 L'intervalle de 3864.43 - 3689.93 : Gédinnien F6-3 :

Le réservoir F6-3 est d'une épaisseur de 174m, limité à la base par la discordance calédonienne. Il est constitué essentiellement par des grès fins à moyen, localement grossier, subanguleux, blanc à gris blanc, avec passée d'argile grise à gris sombre silteuse. (**masterlog**)

Les pics du (GR) indiquent la présence d'argile d'une épaisseur très faible.

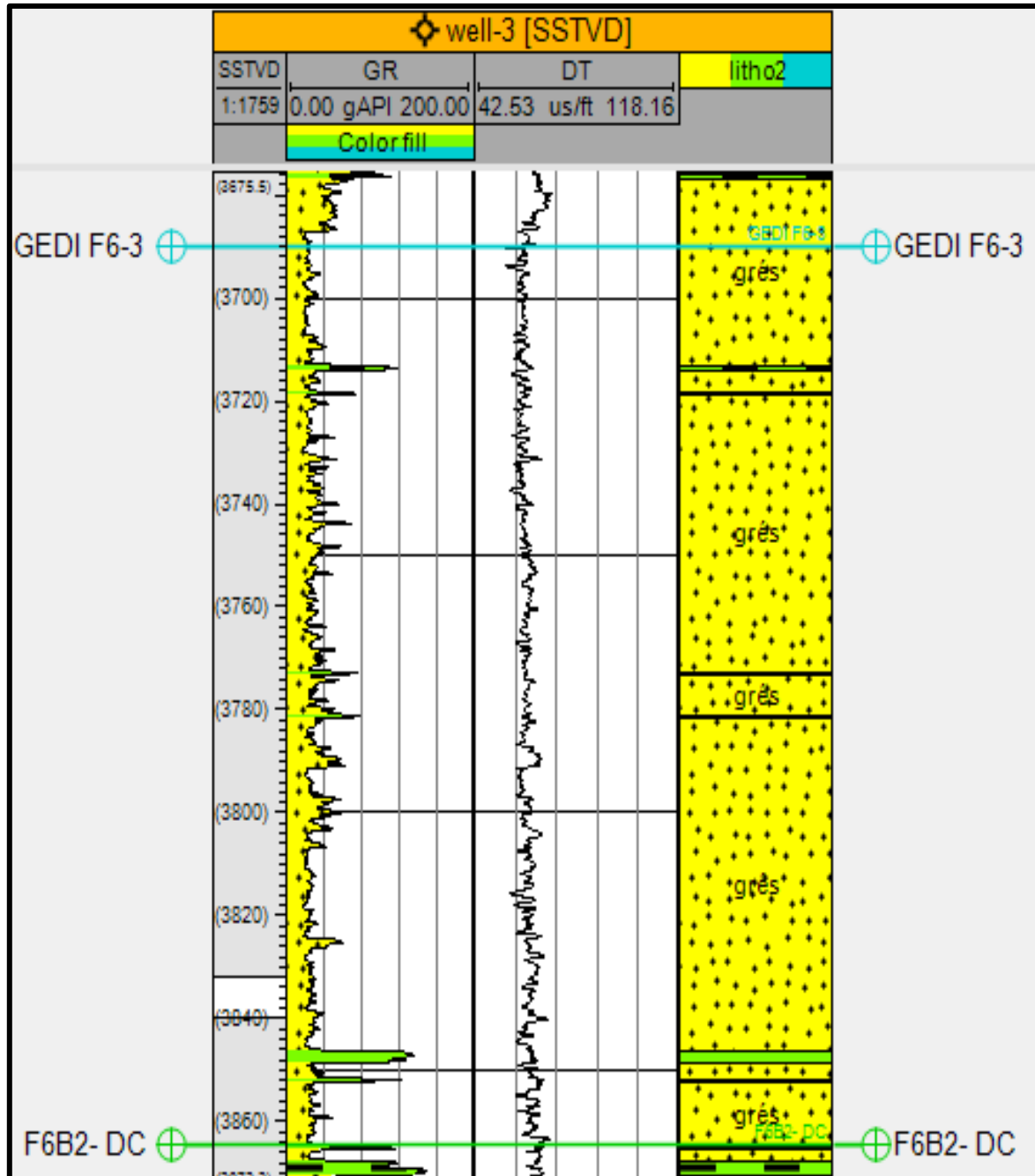


Figure III-13 : Log lithologique du réservoir Gédinnien F6-3 de puits well-3.

### II.4.2 L'intervalle de 3689.93 - 3458.82 : Siégenien F6-1 :

Le réservoir F6-1 est d'une épaisseur de 231m il est constitué essentiellement par des argiles gris noir, silteuse, micacée, avec passée des grès très fin à fin blanc, gris blanc, siliceux a silico-quartzitique, (masterlog)

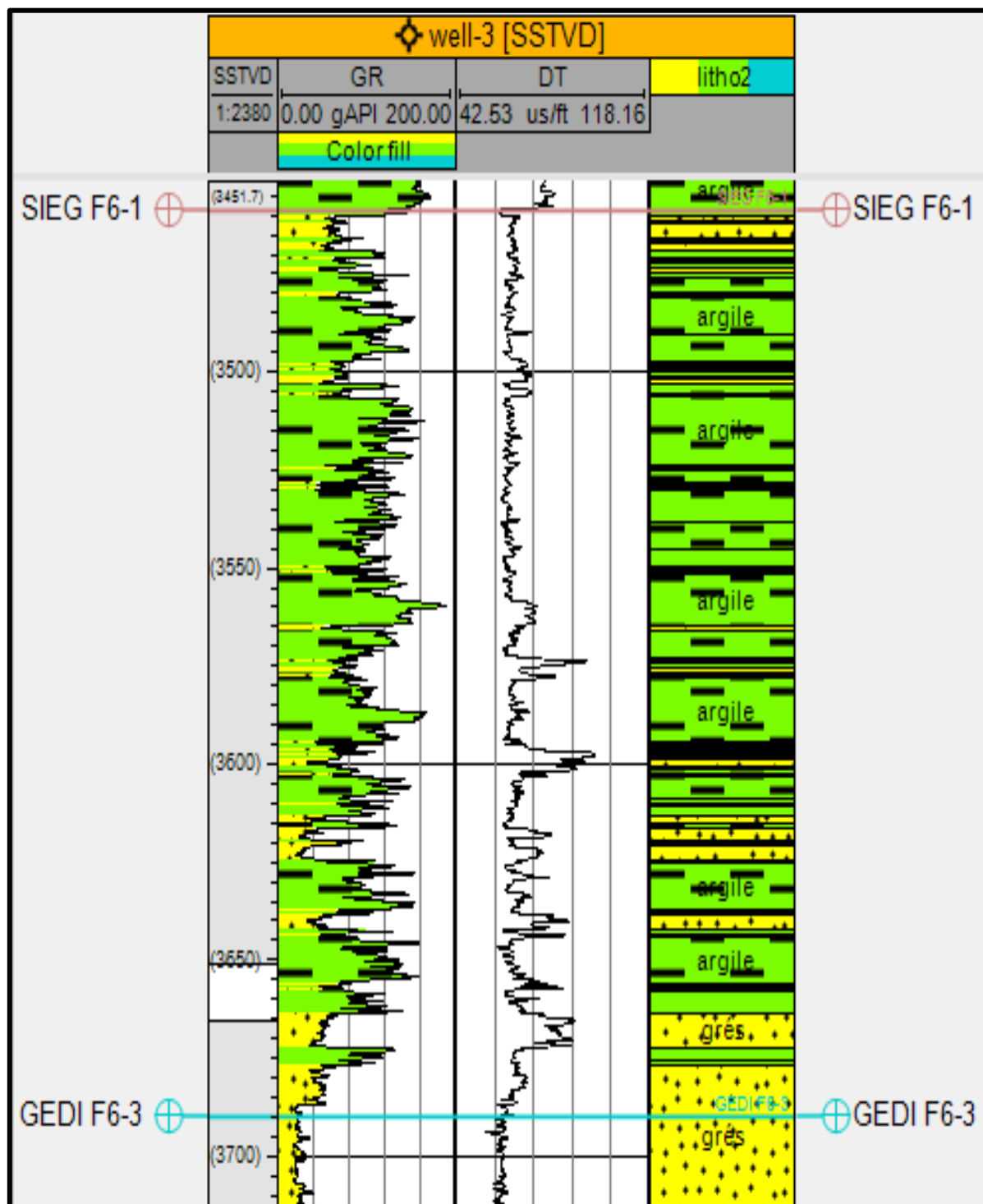


Figure III-14 : Log lithologique du réservoir Siégenien F6-1 de puits well-3.

**II.4.3 L'intervalle de 3458.82 - 3416.22 : Emsien F4 :**

Le réservoir F4 est d'une épaisseur de 42m il est constitué essentiellement par des argiles grises, grises noires, silteuses, feuilletées, micacées, surmonté par des grès très fin à fin, gris, gris blanc, gris sombre, siliceux à silico-argileux. (**masterlog**)

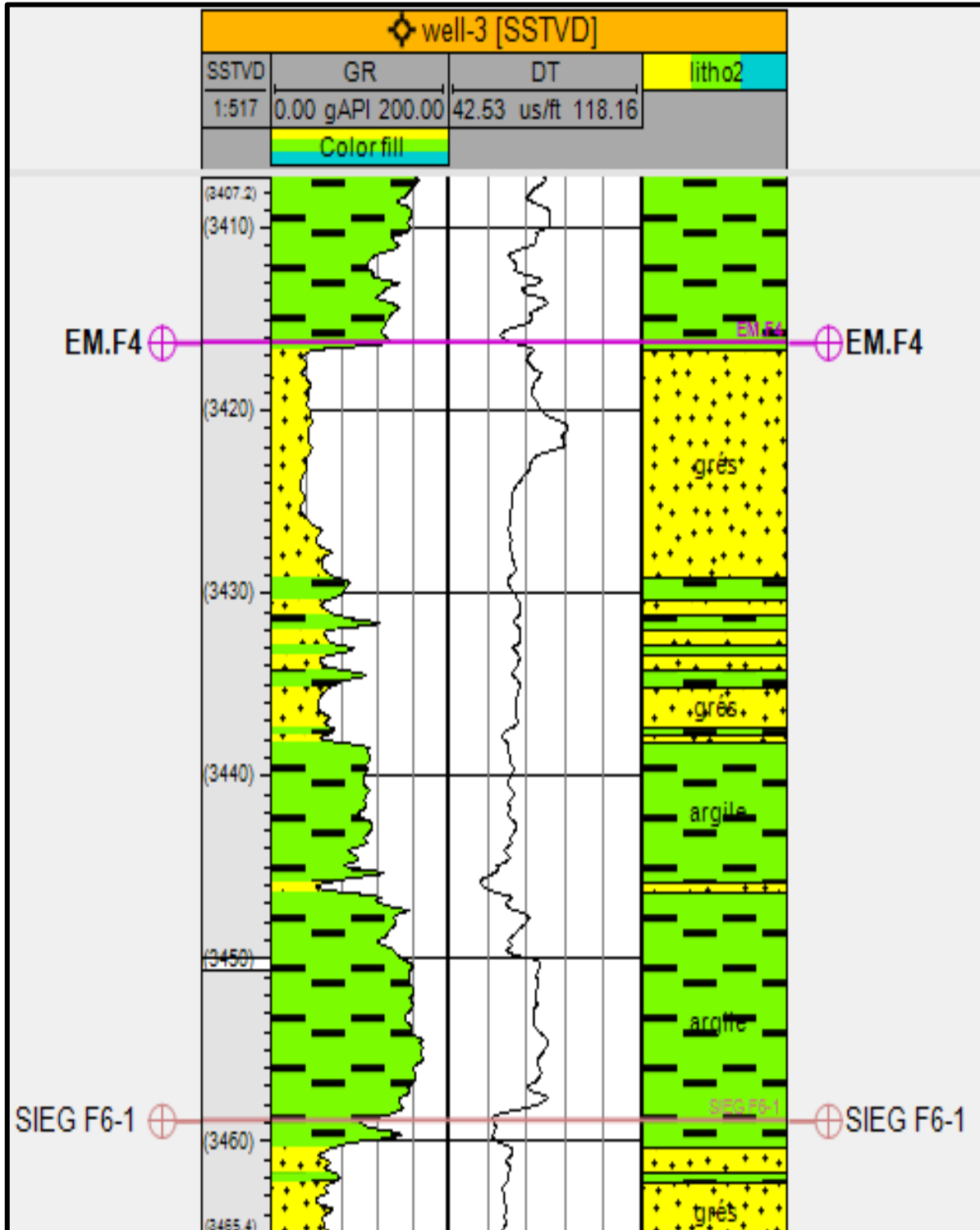


Figure III-15 : Log lithologique du réservoir Emsien F4 de puits well-3.

**II.4.4 L'intervalle de- 3416.22 – 3369.58 : Givétien F3 :**

Le réservoir F3 est d'une épaisseur de 46m il est constitué essentiellement par des argile gris sombre à noire, silteuse, surmonté par des Grès très fin à fin, gris, gris blanc, gris sombre, siliceux à silico-argileux (**masterlog**)

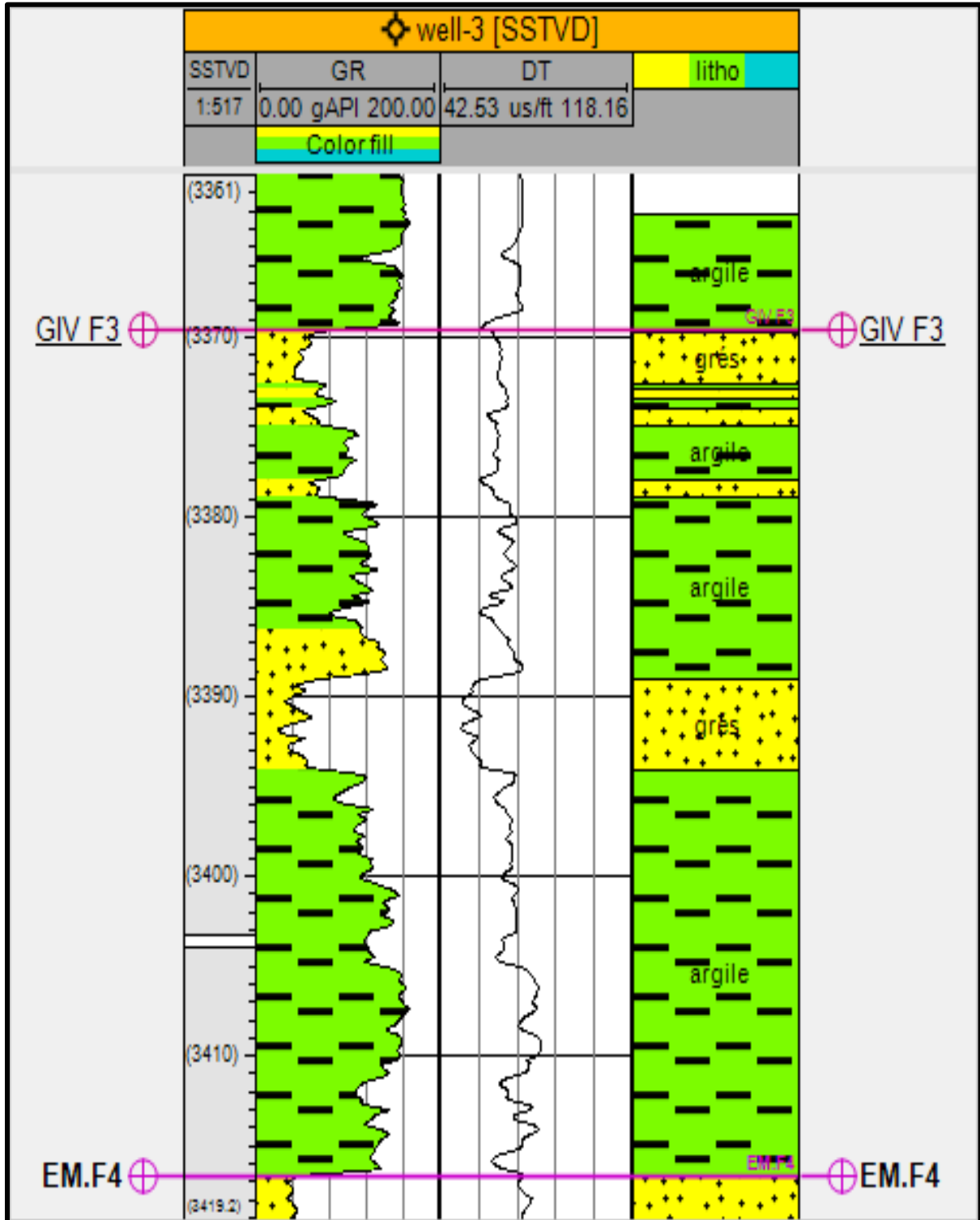


Figure III-16 : Log lithologique du réservoir Givétien de puits well-3.

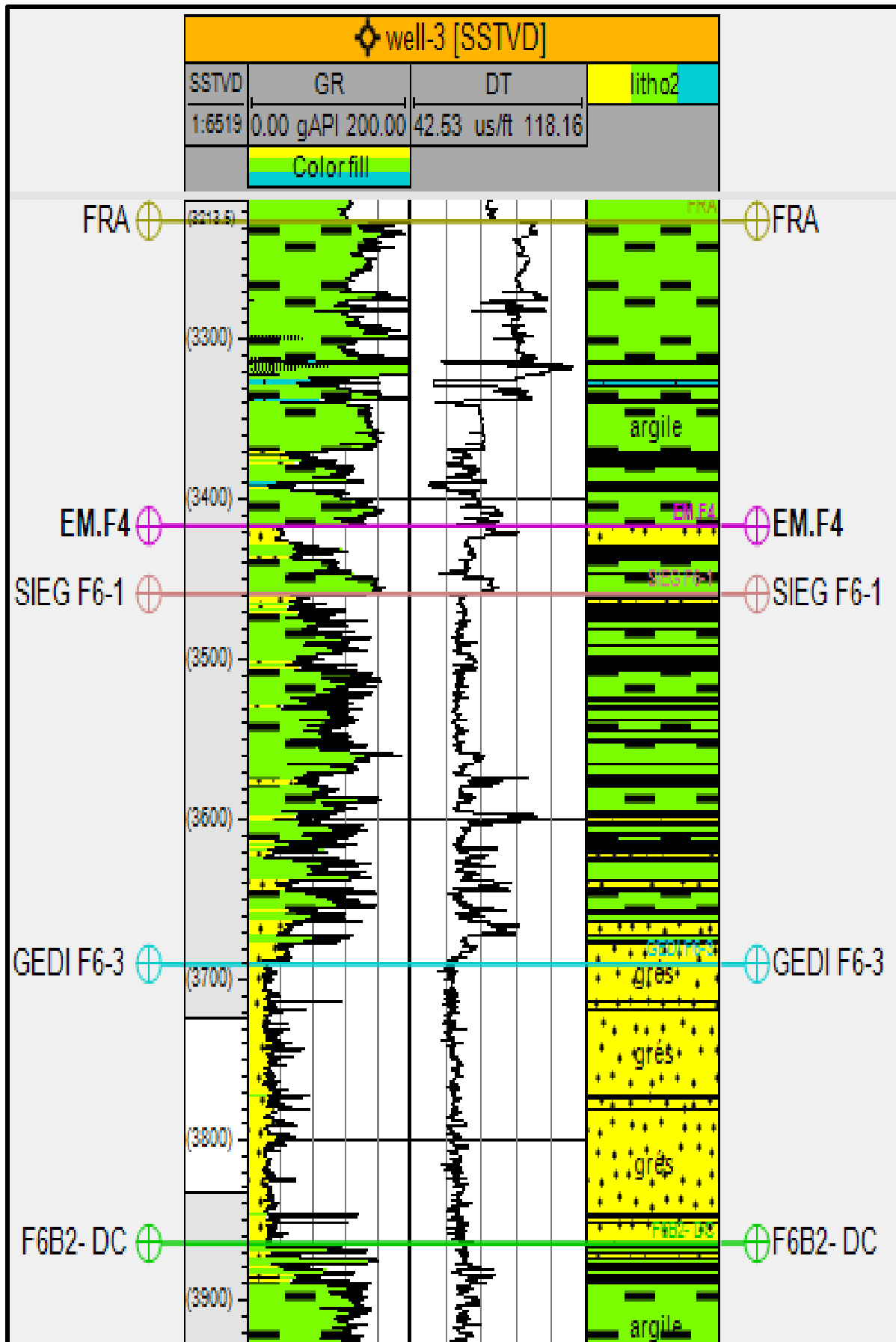


Figure III-17 : Log lithologique complet du puits well-3.

### III. Caractérisation minéralogique des différentes unités réservoirs :

#### III.1 Méthodologie :

A partir des valeurs des principales sources radioactives (les éléments Thorium (Th), Potassium (K), Uranium (U)) on effectue des rapports entre les abondances (Thorium/Potassium) dans le but de savoir le type et le pourcentage des minéraux radioactifs présentes dans les roches.

Ensuite ont réalisé un log du contenu minéralogique de tout l'intervalle du dévonien inférieur-moyen en utilisant le rapport Th/K à l'aide de logiciel PETREL en appliquant la formule suivante :

$$\text{THK\_FACIES} = \text{If}(\text{ThK} \geq 25, 0, \text{If}(\text{ThK} \geq 12, 1, \text{If}(\text{ThK} \geq 3.5, 2, \text{If}(\text{ThK} \geq 2, 3, \text{If}(\text{ThK} \geq 1.4, 4, \text{If}(\text{ThK} \geq 0.6, 5, \text{If}(\text{ThK} \geq 0.3, 6, 7))))))$$

**THK\_FACIES** : type de minéraux radioactifs (minéraux argileux).

**ThK**  $\geq$  **25,0** : si les valeurs du rapport Th/K sont supérieur à 25 en obtient les minéraux lourds

**ThK**  $\geq$  **12,1** : si les valeurs du rapport Th/K sont entre 12 et 25 en obtient le chlorite et la kaolinite

**ThK**  $\geq$  **3.5, 2** : si les valeurs du rapport Th/K sont entre 3.5 et 12 en obtient la montmorillonite et l'argile interstratifiée.

**ThK**  $\geq$  **2, 3** : si les valeurs du rapport Th/K sont entre 2.3 et 3.5 en obtient de l'illite

**ThK**  $\geq$  **1.4,4** : si les valeurs du rapport Th/K sont entre 1.4 et 2.3 en obtient des micas

**ThK**  $\geq$  **0.6, 5** : si les valeurs du rapport Th/K sont entre 0.6 et 1.4 en obtient de la glauconite

**ThK**  $\geq$  **0.3, 6, 7** : si les valeurs du rapport Th/K sont entre 0.3 et 0.6 en obtient des feldspaths et l'évaporite potassique.

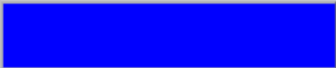


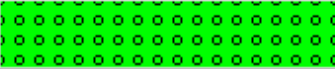








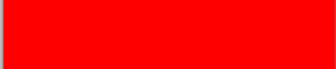



	Code	Name	Background	Pattern
	0	MINÉRAUX LOOURDS A THORIUM		
	1	CHLORITE + kaolinite		
▶	2	( montmorillonite) - ARGILE INTERSTRATIFIER		
	3	illite		
	4	micas		
	5	GLAUCOGNITE		
	6	feldspaths		
	7	EVAPORITE POTASSIQUE		

Figure III-18 : La légende de la minéralogie établie à partir du rapport Th/K.

III.2 Contenu minéralogique du puits : well-1

III.2.1 L'intervalle de 3489.07 - 3338.18: Gédinnien F6-3 :

Cette unité est composée principalement par des bancs de grès massifs avec l'intercalation d'argiles de très faible épaisseur

Pour la composition minéralogique cette unité est dominée par des chlorites et des kaolinites qui sont importants dans la partie supérieure, et dans la partie inférieure elle est dominée par des minéraux lourds indiqués par des grandes valeurs du rapport Th/K.

Dans cet intervalle on remarque que la quantité des montmorillonites et des argiles interstratifiés est très faible.

**La kaolinite** est le minéral argileux le plus commun des roches sédimentaires. Il est dominant dans les dépôts continentaux. Il provient de l'altération, en milieu acide (climat chaud et humide)

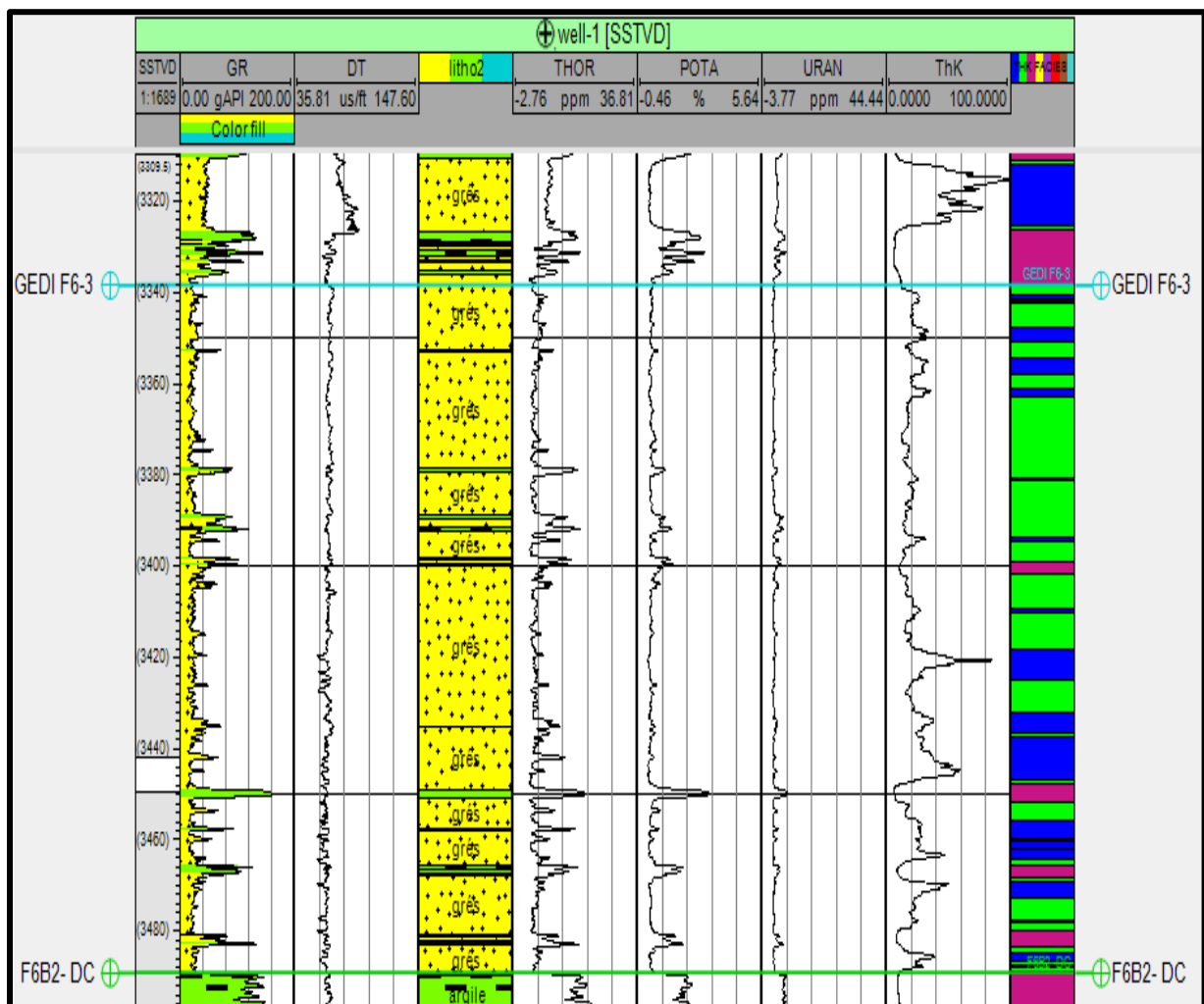


Figure III-19 : Log minéralogique du réservoir Gédinnien F6-3 de puits well-1.

## III.2.2 L'intervalle de 3338.18 - 3160.50 : Siégenien F6-1 :

Le réservoir F6-1 est composé d'une alternance des grés avec des argiles dominées par des grés a la base et au sommet, et des argiles au milieu de la formation.

Pour la composition minéralogique cette unité est dominé par des montmorillonites et des argiles interstratifiés avec des quantités très importantes, et on remarque une faible présence des chlorites, des kaolinites et des minéraux lourds a la base de la formation. Et une présence d'illite au sommet de la formation dans les argiles.

**L'illite** est le minéral dominant dans les dépôts marins anciens.

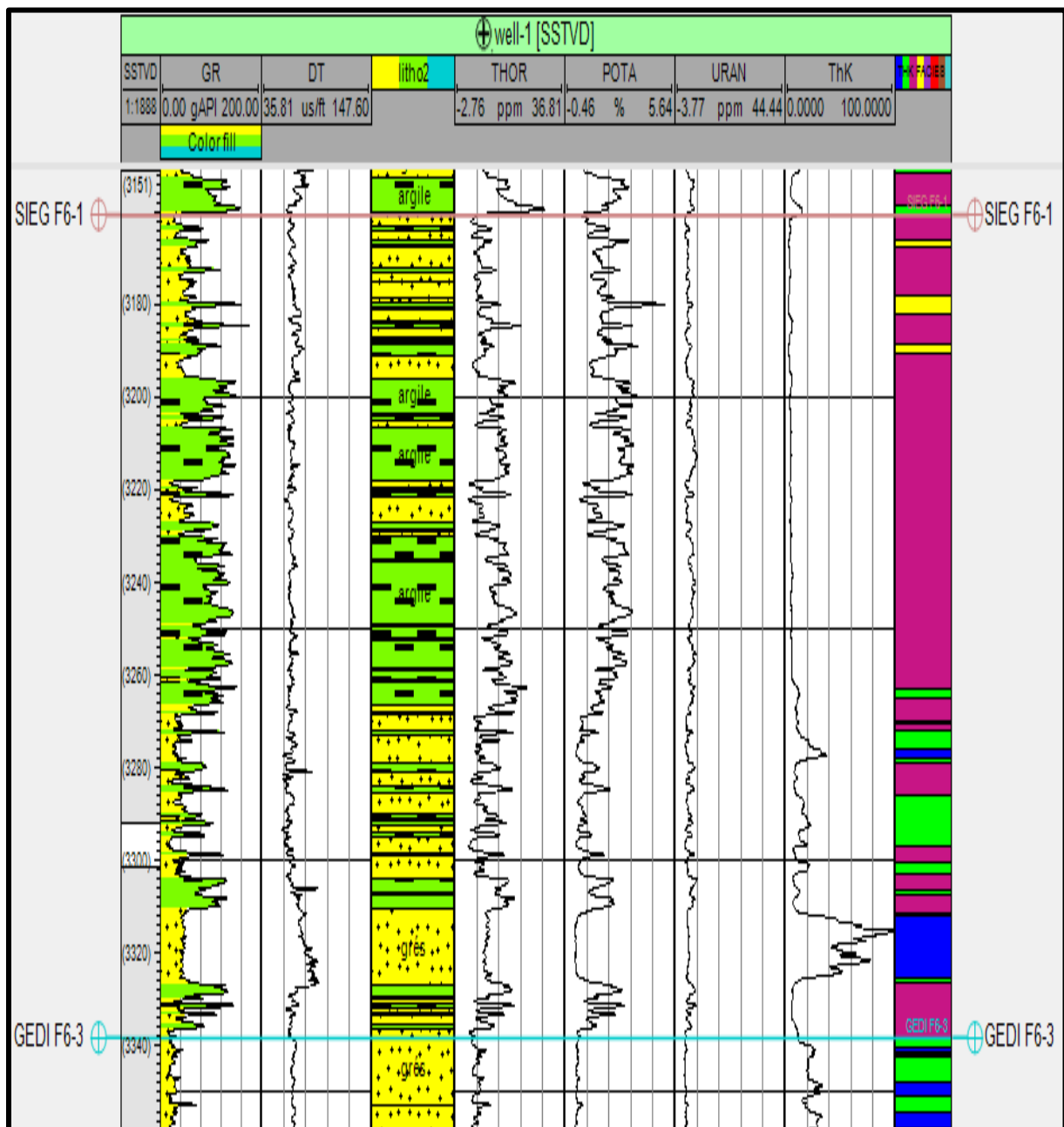


Figure III-20 : Log minéralogique du réservoir Siégenien F6-1 de puits well-1.

**III.2.3 L'intervalle de 3160.50 - 3145.67 : Emsien F4 :**

Cette unité est composée d'un banc d'argile à la base caractérisée par La présence des montmorillonites et des argiles interstratifiés et d'un banc de grès caractérisé par des chlorites et des kaolinites et à la base de l'unité on remarque la présence d'une faible quantité de chlorites et de kaolinite.

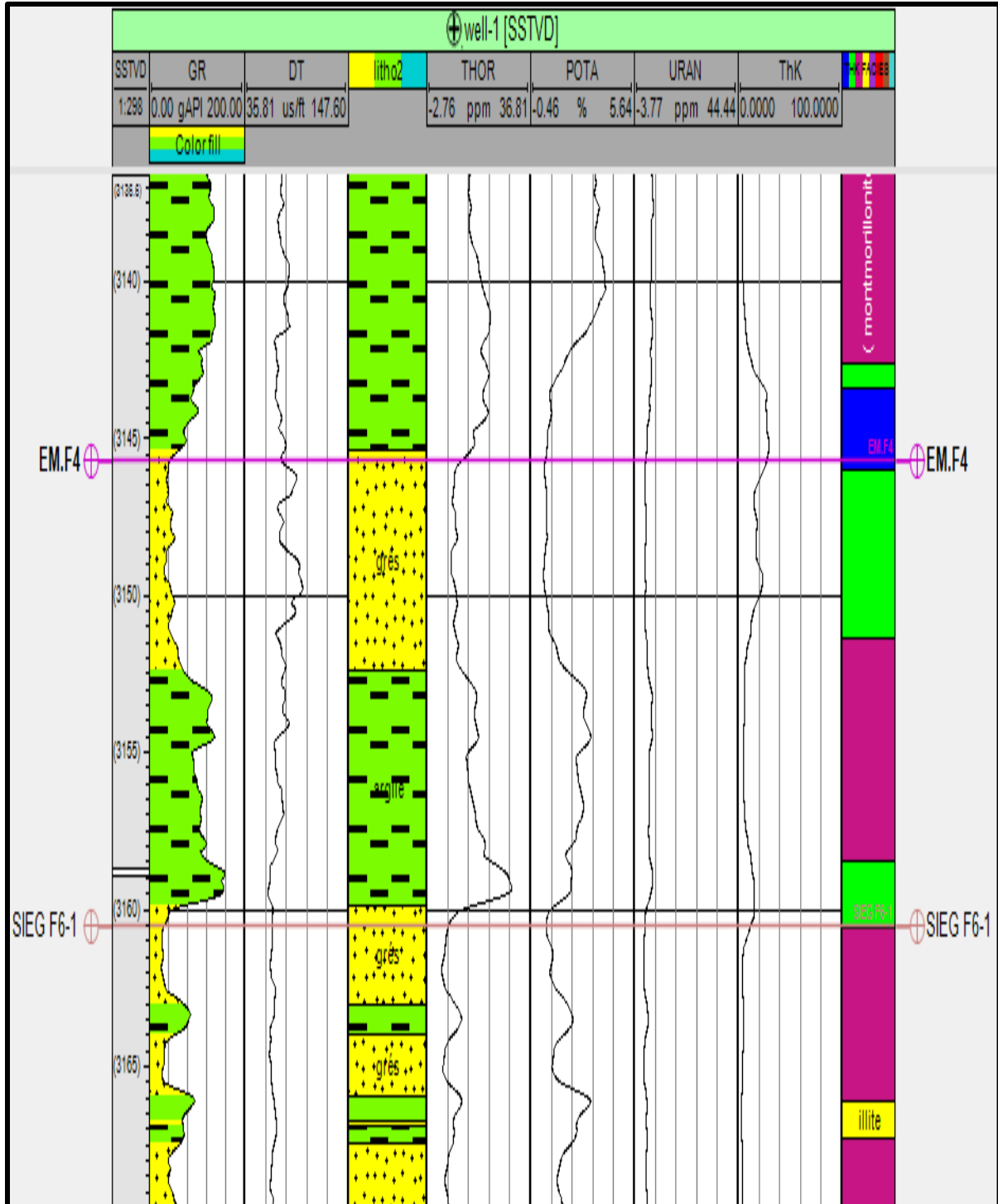


Figure III-21 : Log minéralogique du réservoir Emsien F4 de puits well-1.

III.2.4 L'intervalle de 3145.67 – 3120.32 : givétien :

La composition minéralogique de cet intervalle est composée essentiellement par des montmorillonites et des argiles interstratifiés. On remarque la présence d'une faible quantité des chlorites et des kaolinites au sommet et des minéraux lourds a la base de la formation.

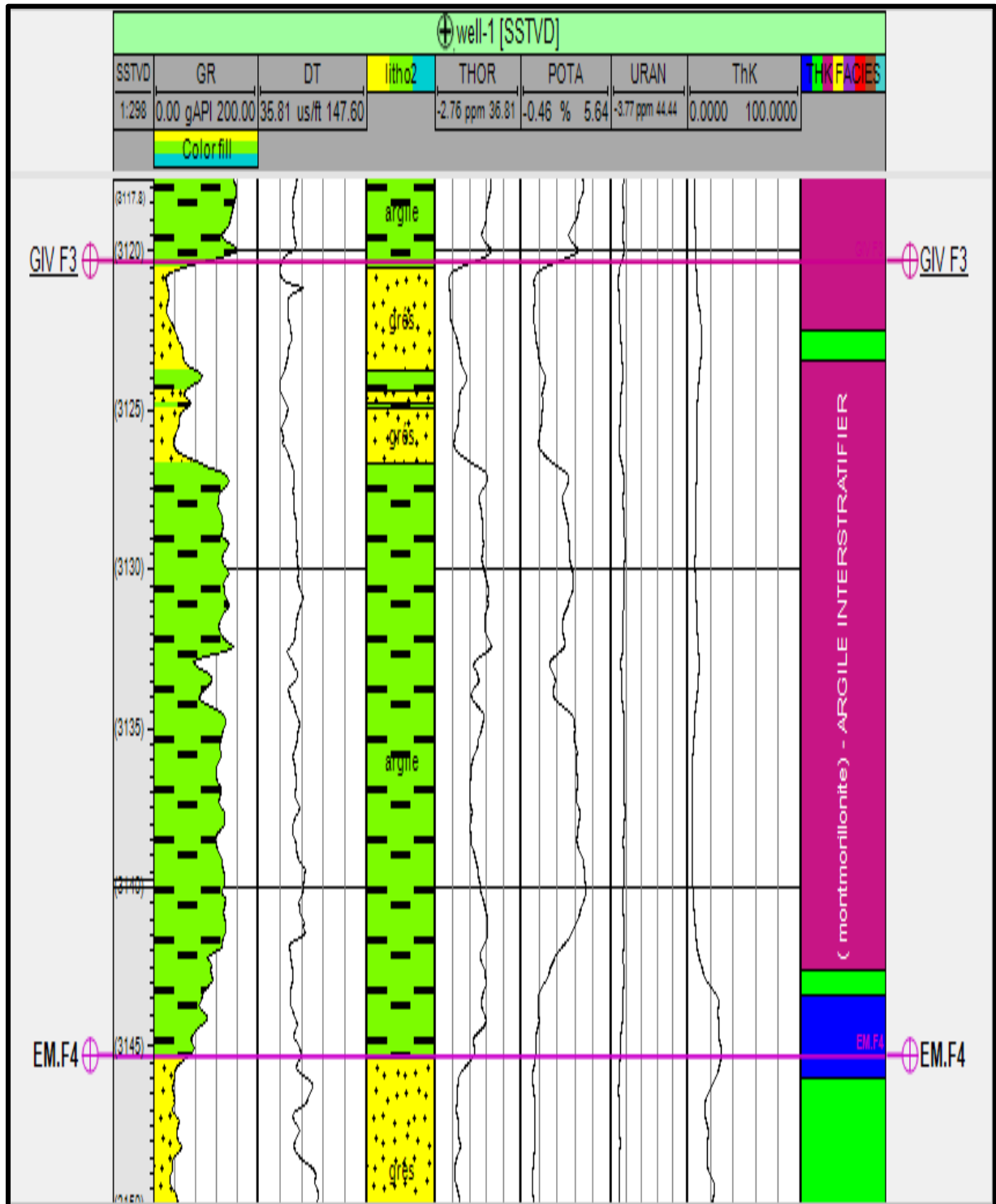


Figure III-22 : Log minéralogique du réservoir givétien F3 de puits well-1.



III.3 Contenu minéralogique du puits : well-2

III.3.1 L'intervalle d'inconnu - 3731.87 : Gédinnien F6-3 :

Cette unité est composée principalement par des bancs de grès massifs avec l'intercalation d'argiles de très faibles épaisseurs.

Pour la composition minéralogique cette unité est dominée par des chlorites et des kaolinites qui sont important dans la partie inférieure, et dans la partie supérieure elle est dominée par des montmorillonites et des argiles interstratifiés

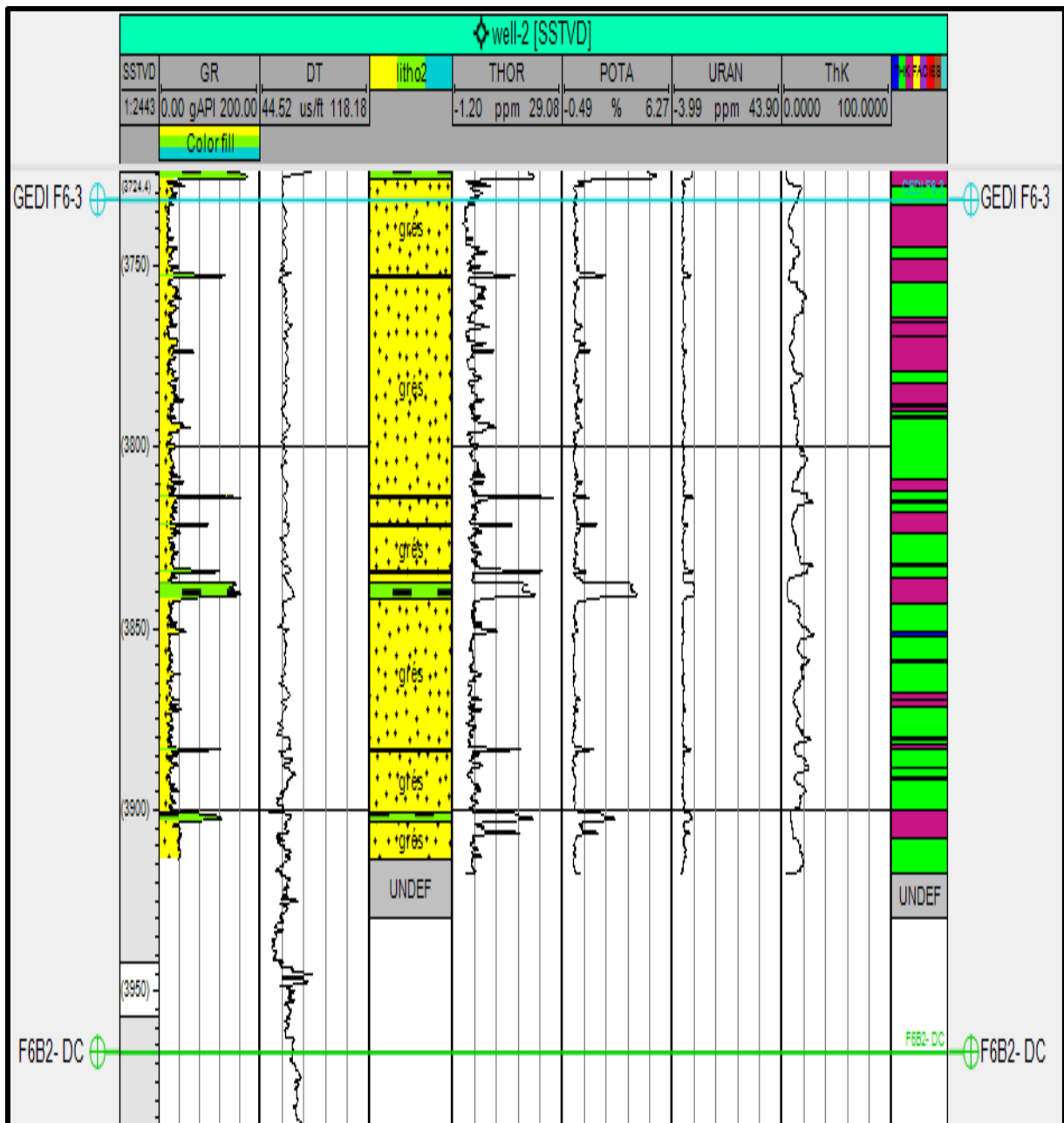


Figure III-24 : Log minéralogique du réservoir Gédinnien F6-3 de puits well-2.

**III.3.2 L'intervalle de 3731.87 - 3473.88 : Siégenien F6-1 :**

Le réservoir F6-1 est composé essentiellement par des argiles avec intercalation des grés.

Pour la composition minéralogique Cette formation est dominée par des montmorillonites et des argiles interstratifiés avec des quantités très importantes, on remarque une faible présence des chlorites, des kaolinites et des minéraux lourds à la base, et une faible présence d'illite au sommet de la formation.

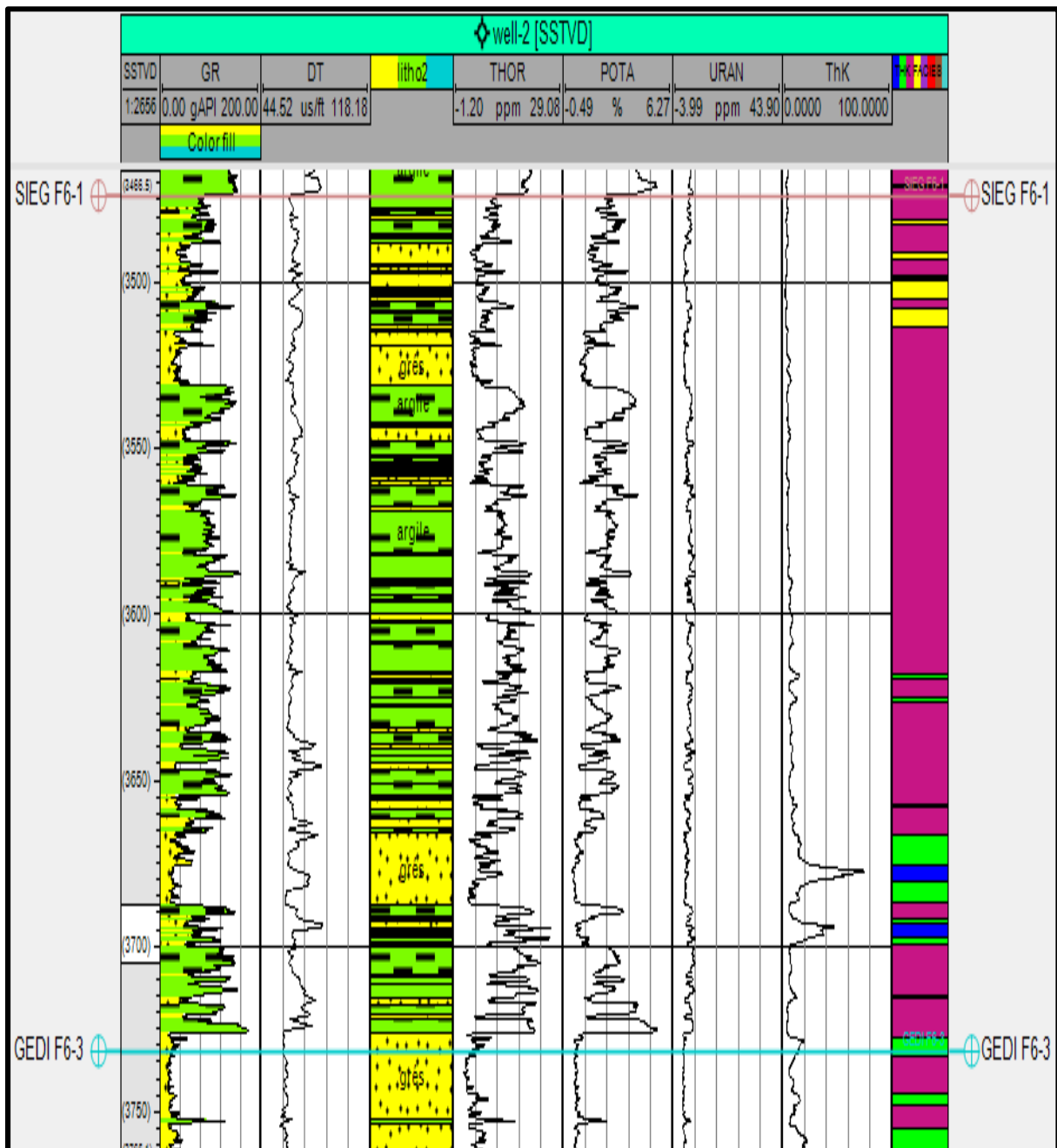


Figure III-25 : Log minéralogique du réservoir Siégenien F6-1 de puits well-2.

**III.3.3 L'intervalle de 3473.88 - 3443.89 : Emsien F4 :**

Cette unité est composée essentiellement par des argiles surmontées par des grés au sommet de la formation.

Pour la composition minéralogique le réservoir est composé principalement par des montmorillonites et des argiles interstratifiés.

On remarque la présence d'une faible quantité d'illite à la base, des chlorites et des kaolinites au sommet.

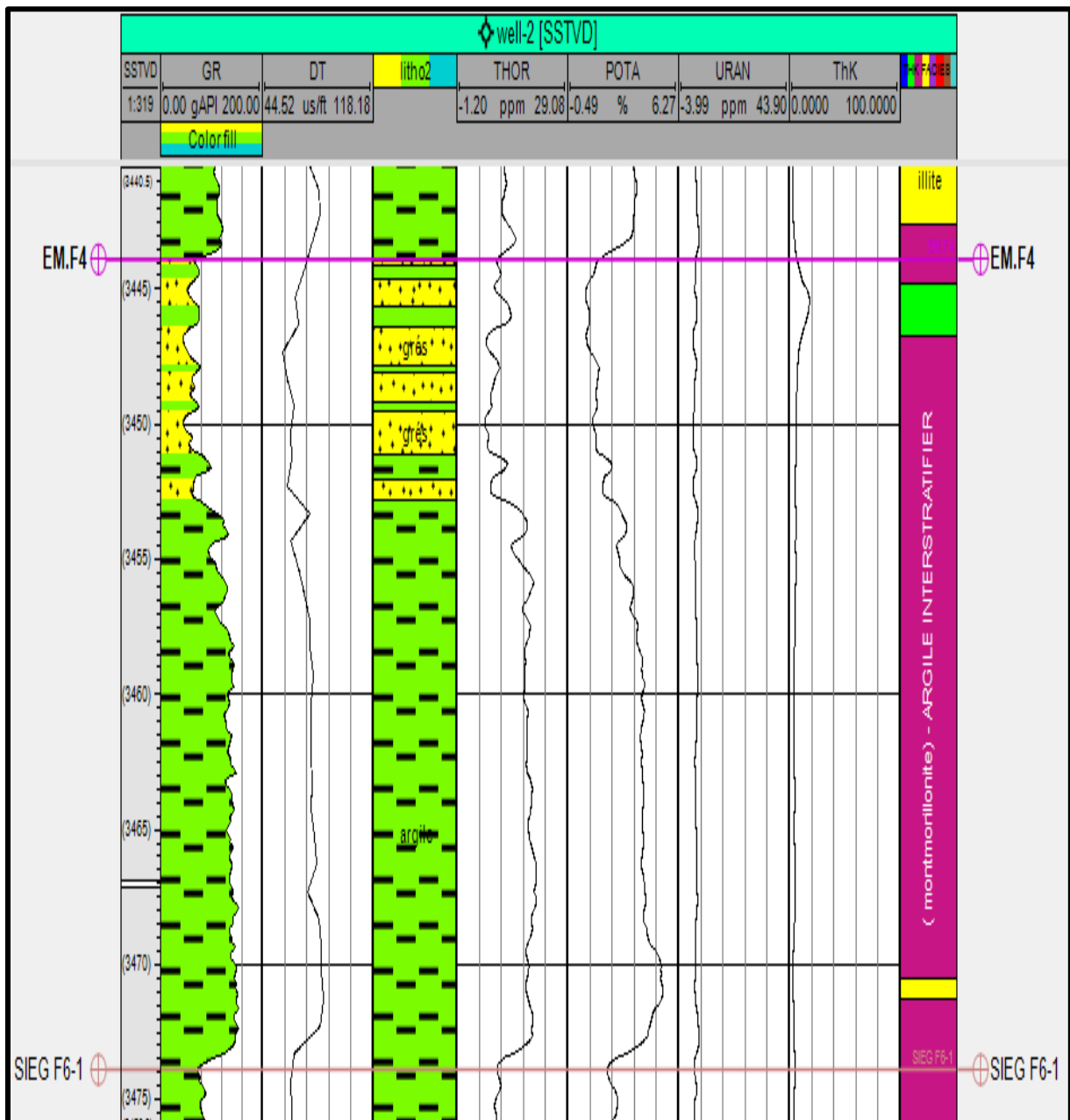


Figure III-26 : Log minéralogique du réservoir Emsien F4 de puits well-2.

**III.3.4 L'intervalle de 3443.89 – 3386.87 : Givétien F3 :**

La composition minéralogique de cet intervalle est composée essentiellement par des montmorillonites et des argiles interstratifiés. On remarque une faible présence d'illite a la base de la formation.

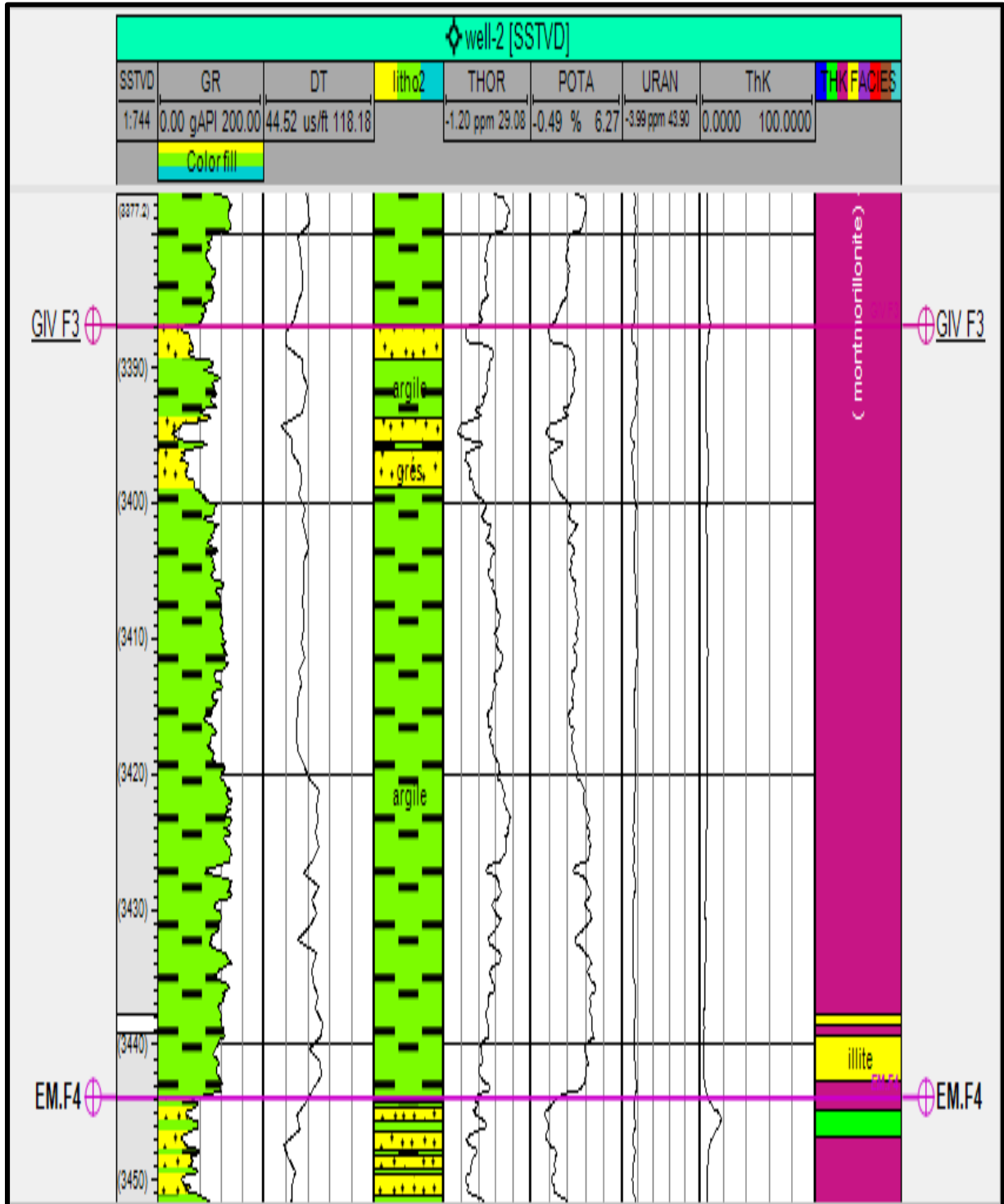


Figure III-27 : Log minéralogique du réservoir Givétien F3 de puits well-2.

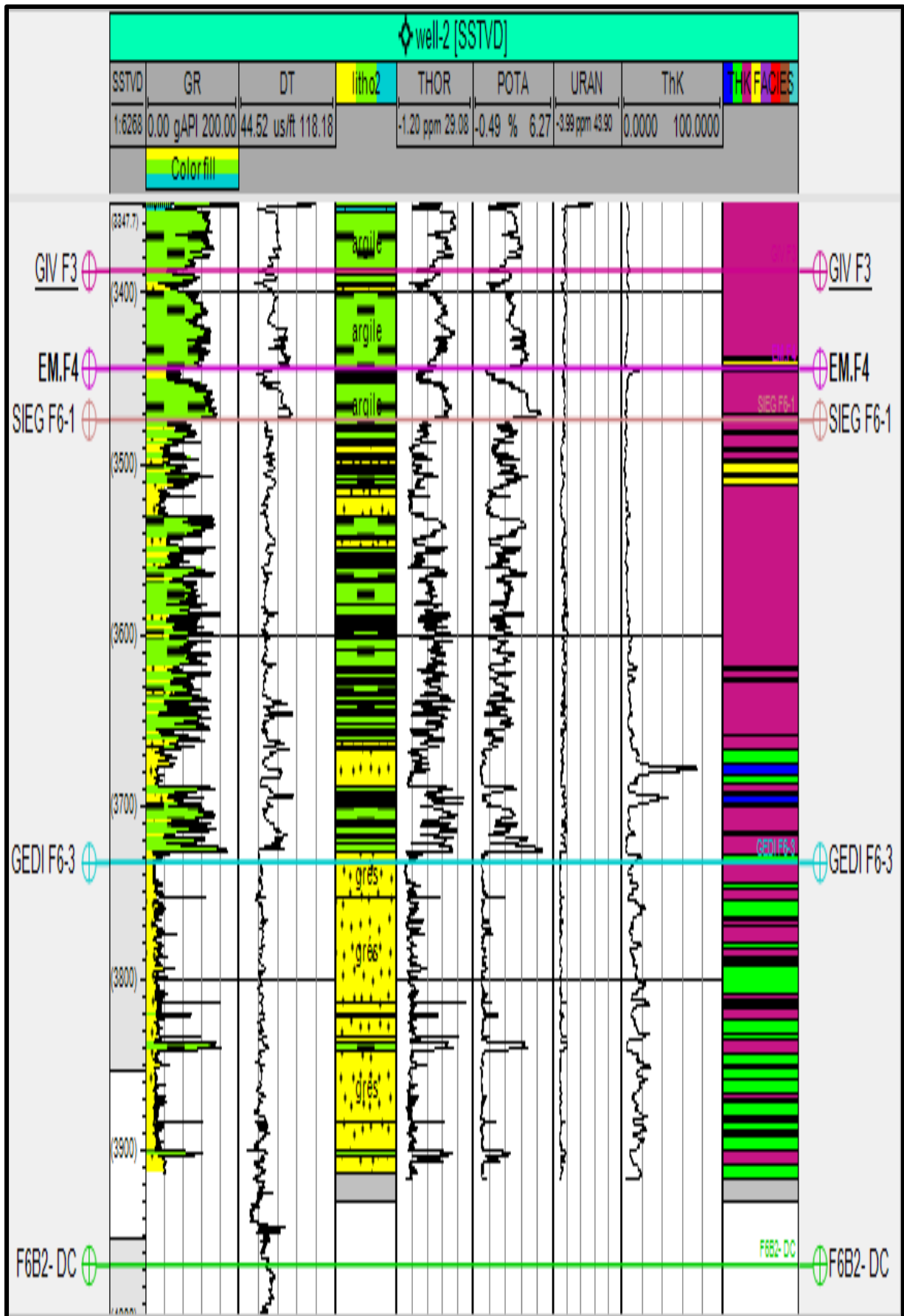


Figure III-28 : Log minéralogique complet de puits well-2.

III.4 Contenu minéralogique du puits : well-3

III.4.1 L'intervalle de 3864.43 - 3689.93 : Gédinnien F6-3 :

Cette unité est composée principalement par des grès propres avec l'intercalation d'argiles de très faible épaisseur

Pour la composition minéralogique de cette formation elle est marquée par la présence des chlorites et des kaolinites qui sont important dans la partie supérieure, et dans la partie inférieure elle est dominée par des minéraux lourds indiqué par des grandes valeurs du rapport Th/K

Dans cet intervalle on remarque que la quantité de montmorillonites et des argiles interstratifiés est très faible.

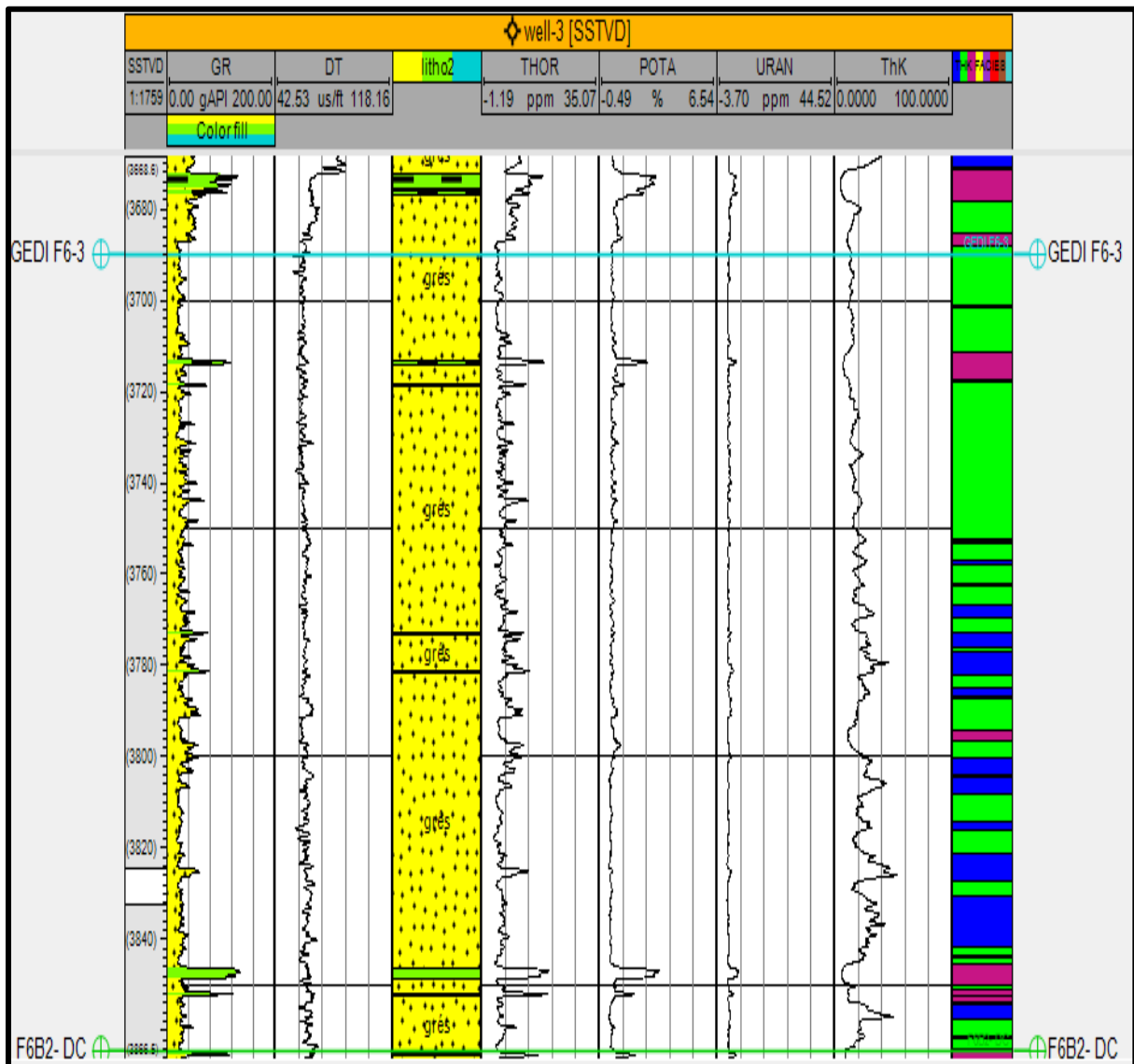


Figure III-29 : Log minéralogique du réservoir Gédinnien F6-3 de puits well-3.

**III.4.2 L'intervalle de 3689.93 - 3458.82 : Siégenien F6-1 :**

Le réservoir F6-1 est composé d'une alternance des grés avec des argiles dominées par des argiles dans tout l'intervalle.

Pour la composition minéralogique cette formation est dominée par des montmorillonites et des argiles interstratifiés avec des quantités très importantes, et on remarque une faible présence des chlorites, des kaolinites et des minéraux lourds à la base, et une faible présence d'illite au sommet de la formation.

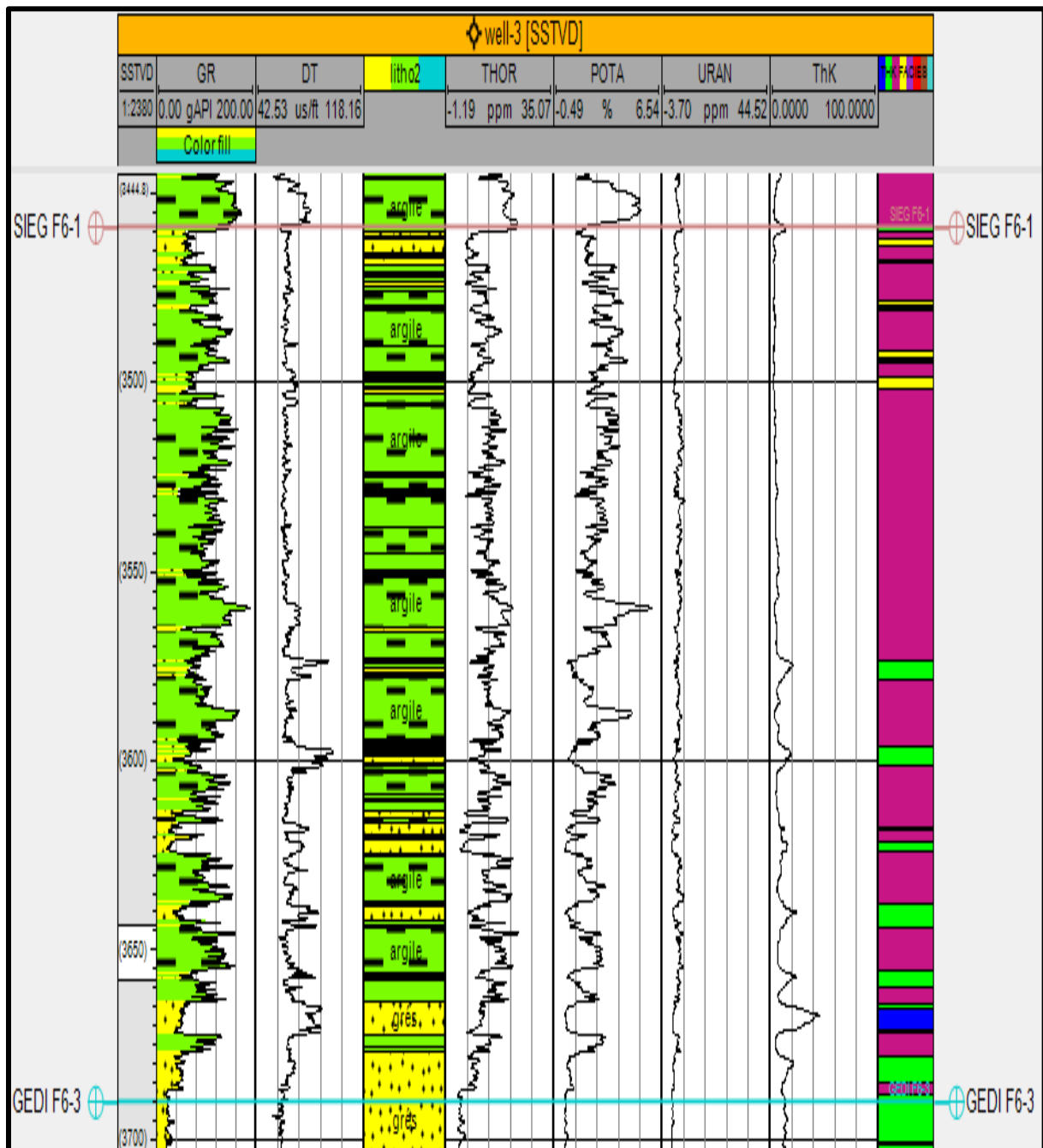


Figure III-30 : Log minéralogique du réservoir Siégenien F6-1 de puits well-3.

**III.4.3 L'intervalle de 3458.82 - 3416.22 : Emsien F4 :**

Cette unité est composée d'une alternance de grès et d'argile. La formation est dominée par des argiles a la base, on observe la présence des niveaux de grès au sommet plus au moins épais.

Pour la composition minéralogique le réservoir est composé principalement par des montmorillonites et des argiles interstratifiés.

On remarque la présence d'une faible quantité des chlorites, des kaolinites et des minéraux lourds au sommet (dans les grès)

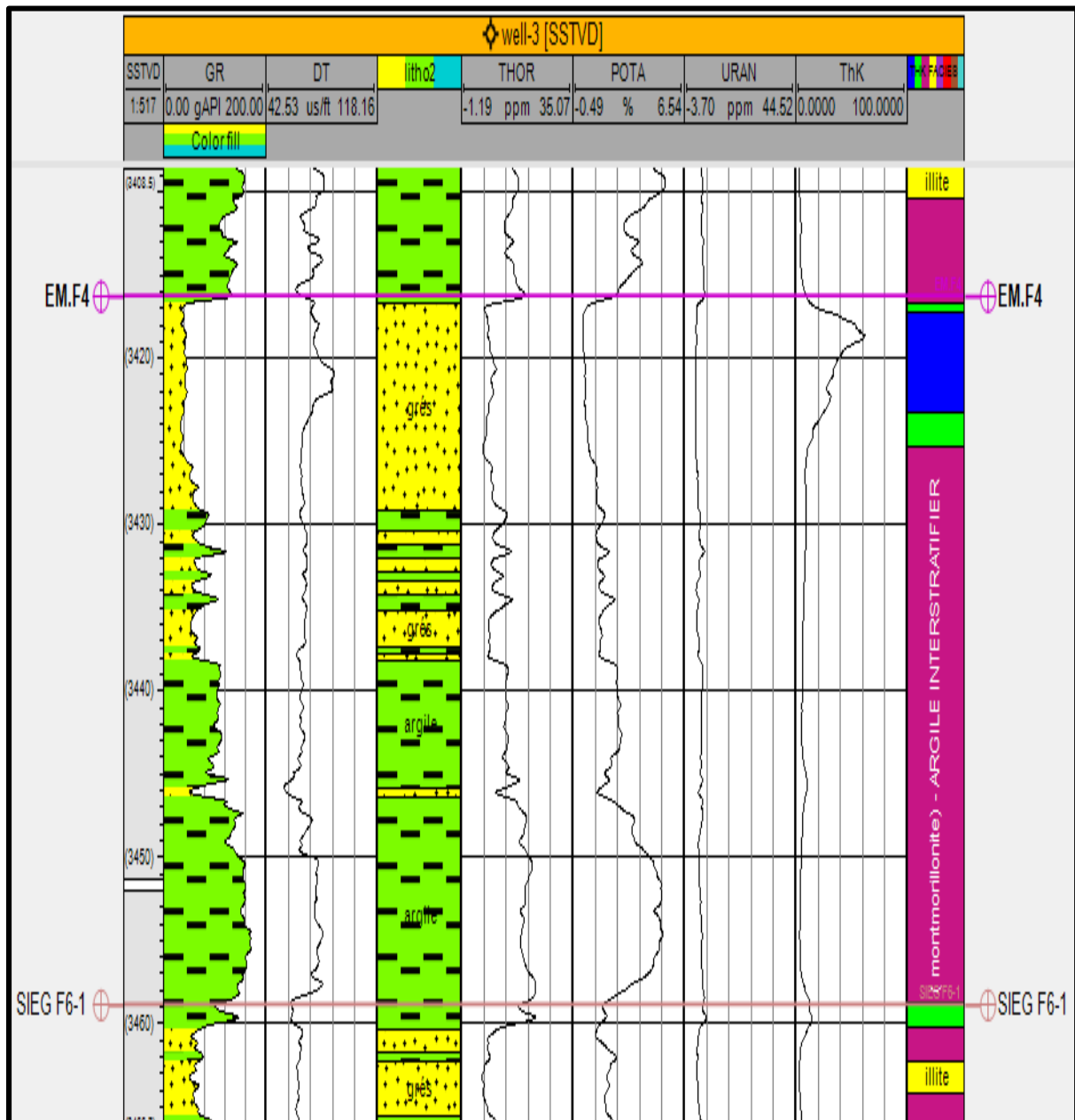


Figure III-31 : Log minéralogique du réservoir Emsien F4 de puits well-3.

III.4.4 L'intervalle de 3416.22 – 3369.58 : Givétien F3 :

La composition minéralogique de cet intervalle est composée essentiellement par des montmorillonites et des argiles interstratifiés. On observe une faible présence d'illite à la base, des chlorites et des kaolinites au sommet.

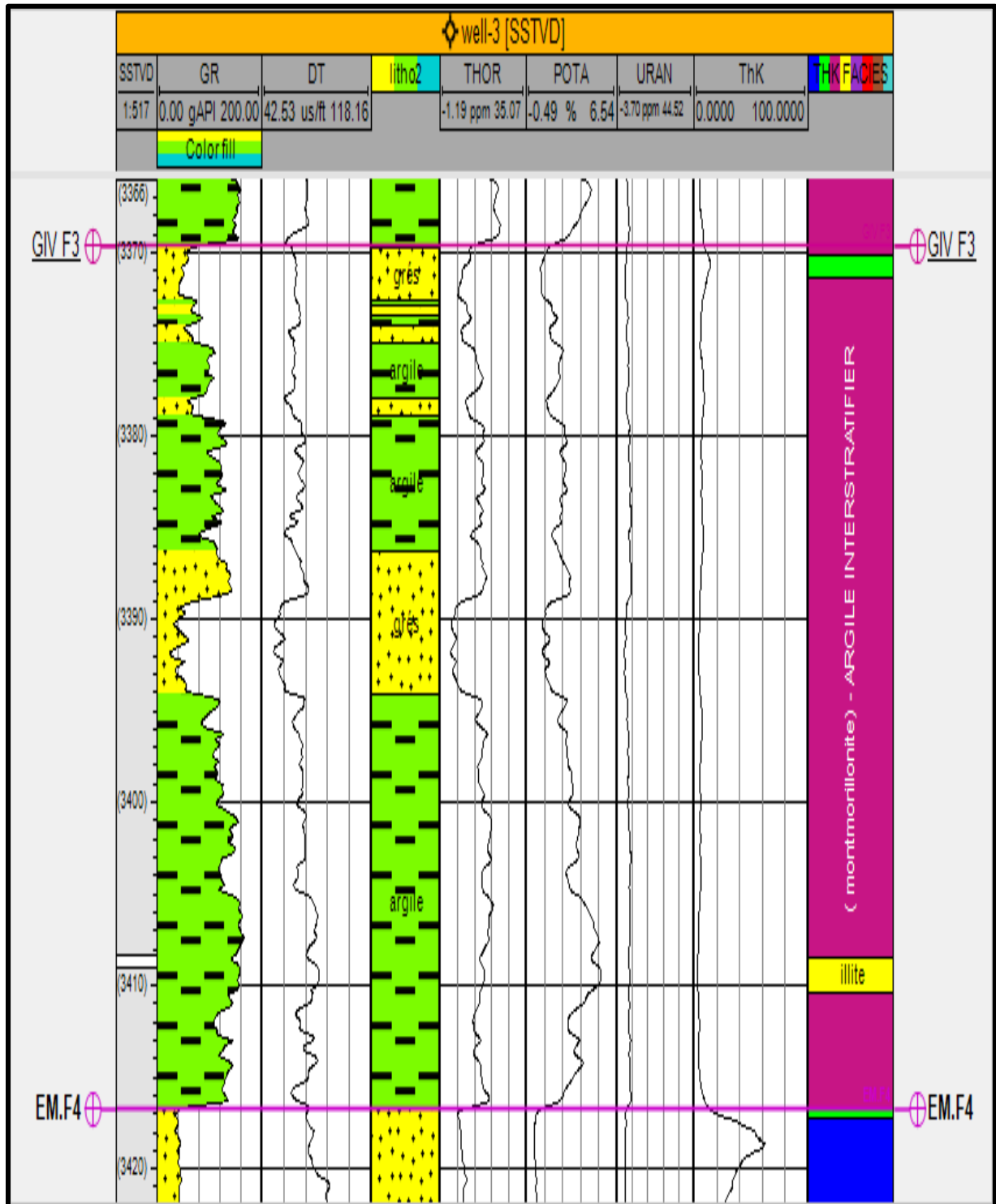


Figure III-32 : Log minéralogique du réservoir Givétien F3 de puits well-3.

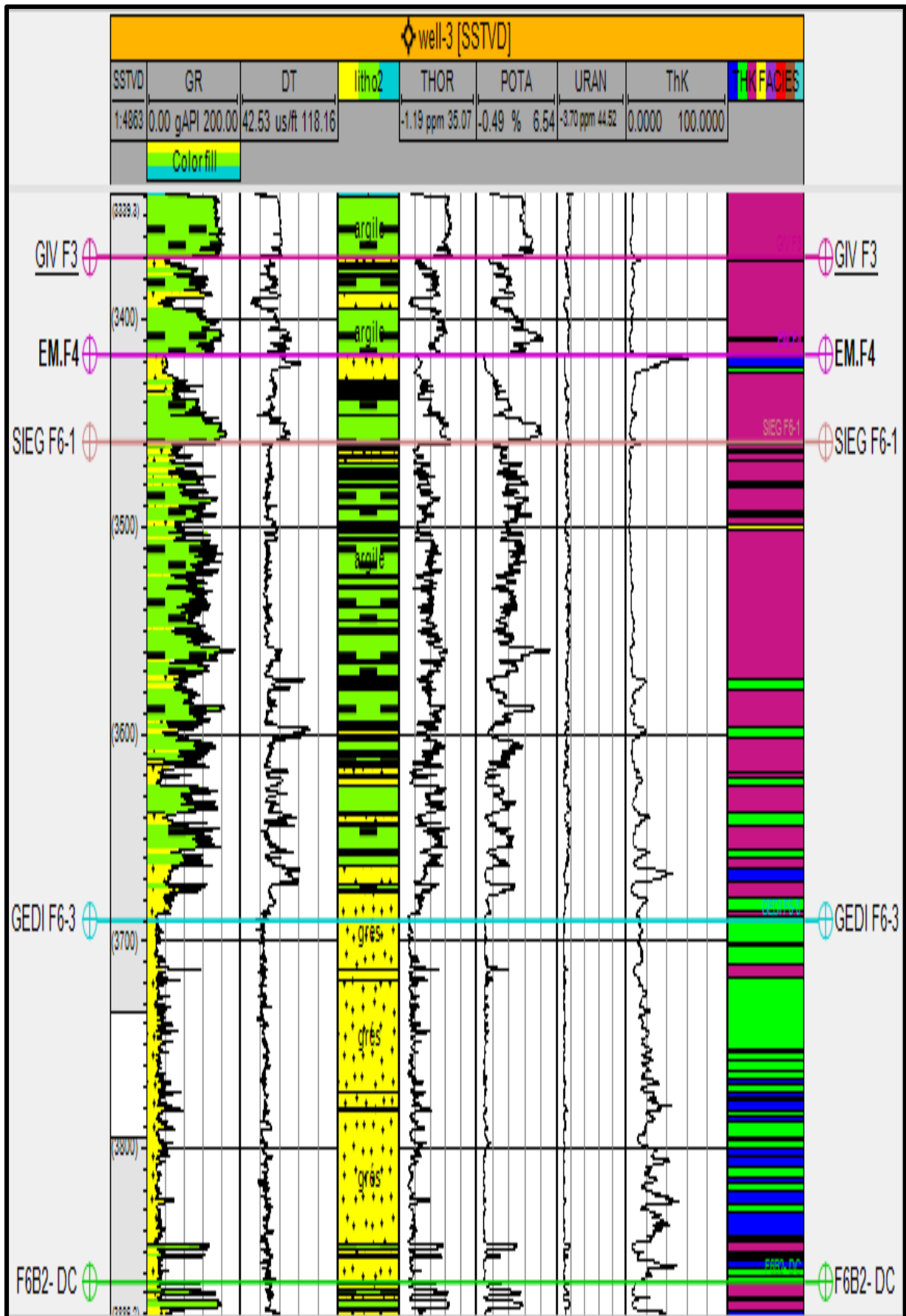


Figure III-33 : Log minéralogique de l'intervalle étudié du puits well-3.

**IV. Essai de caractérisations des environnements de dépôts**

**IV.1 Méthodologie :**

A partir des valeurs des principales sources radioactives (les éléments Thorium, Potassium, Uranium) on effectue des rapports entre les abondances (Thorium/Uranium) afin de reconstituer les environnements de dépôts de la région étudiée.

Ensuite on réalise des faciès de différents environnements de dépôts de l'intervalle étudié (dévonien inférieur-moyen) en utilisant le rapport Th/U à l'aide de logiciel PETREL en appliquant la formule suivante :

$$\text{FACIES\_THU} = \text{If}(\text{RTHU} > 7,0, \text{If}(\text{RTHU} > 2, 1, 2))$$

**FACIES\_THU** : type d'environnement de dépôts.

**RTHU > 7,0** : si les valeurs du rapport Th/U sont supérieures à 7 on est dans un environnement continental avec des conditions oxydantes.

**RTHU > 2, 1,2** : si les valeurs du rapport Th/U sont inférieures à 7 et supérieures à 2 on est dans un environnement marin avec des schistes gris et vert dans le cas où les valeurs du rapport Th/U sont inférieures à 2 on est dans un environnement marin caractérisé par des schistes noirs marins, phosphorites, des conditions réductrices. (Le terme schiste indique ici, la traduction du terme anglo-saxon shall)

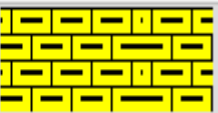


Code	Name	Background	Pattern
0	environnement continental, conditions oxydantes		
1	sédiments marins, schistes gris et verts		
2	schistes noirs marins, phosphorites, conditions réductrices.		

Figure III-34 : La légende des environnements de dépôts établis à partir du rapport Th/U.



### IV.2.2 Les environnements de dépôts du Siégenien F6-1 :

L'identification des environnements de dépôts pour le Siégenien F6-1 est basée sur La courbe de rapport Th / U selon lequel les dépôts du réservoir F6-1 sont principalement représentés par des sédiments marins composés par des schistes (argiles) gris et vert. Et une faible influence continentale caractérisée par des conditions oxydantes. (Moins importante que le Gédinien).

Dans cette unité on remarque que la phase de régression n'est présente que rarement avec des dépôts de très faibles épaisseurs par rapport à la phase de transgression qui domine la totalité de l'intervalle avec des dépôts très épais.

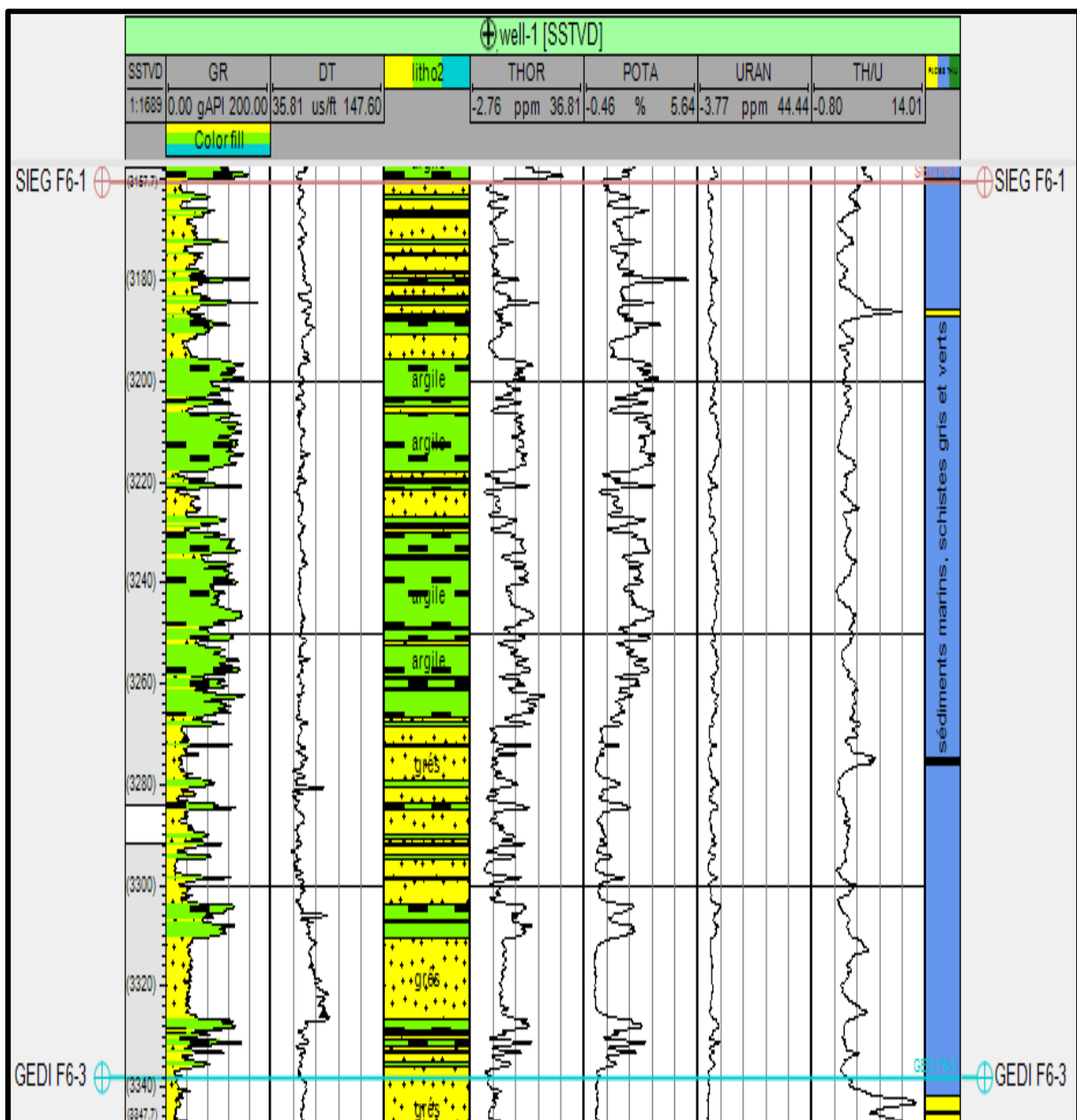


Figure III-36 : Détermination des environnements de dépôts du Siégenien F6-1.

**IV.2.3 Les environnements de dépôts de l'Emsien F4 :**

L'identification des environnements de dépôts du réservoir Emsien F4 est basée sur La courbe de rapport Th / U selon lequel les dépôts du réservoir F4 sont principalement représentés par des sédiments marins composé par des schistes (argiles) gris et vert. Et une faible influence du continent caractériser par des conditions oxydantes. (Moins importante que le Gédinnien).

Dans cette unité on remarque que la régression n'est présente que rarement avec des dépôts de très faibles épaisseurs par rapport à la phase de transgression qui domine la totalité de l'intervalle avec des dépôts très épais.

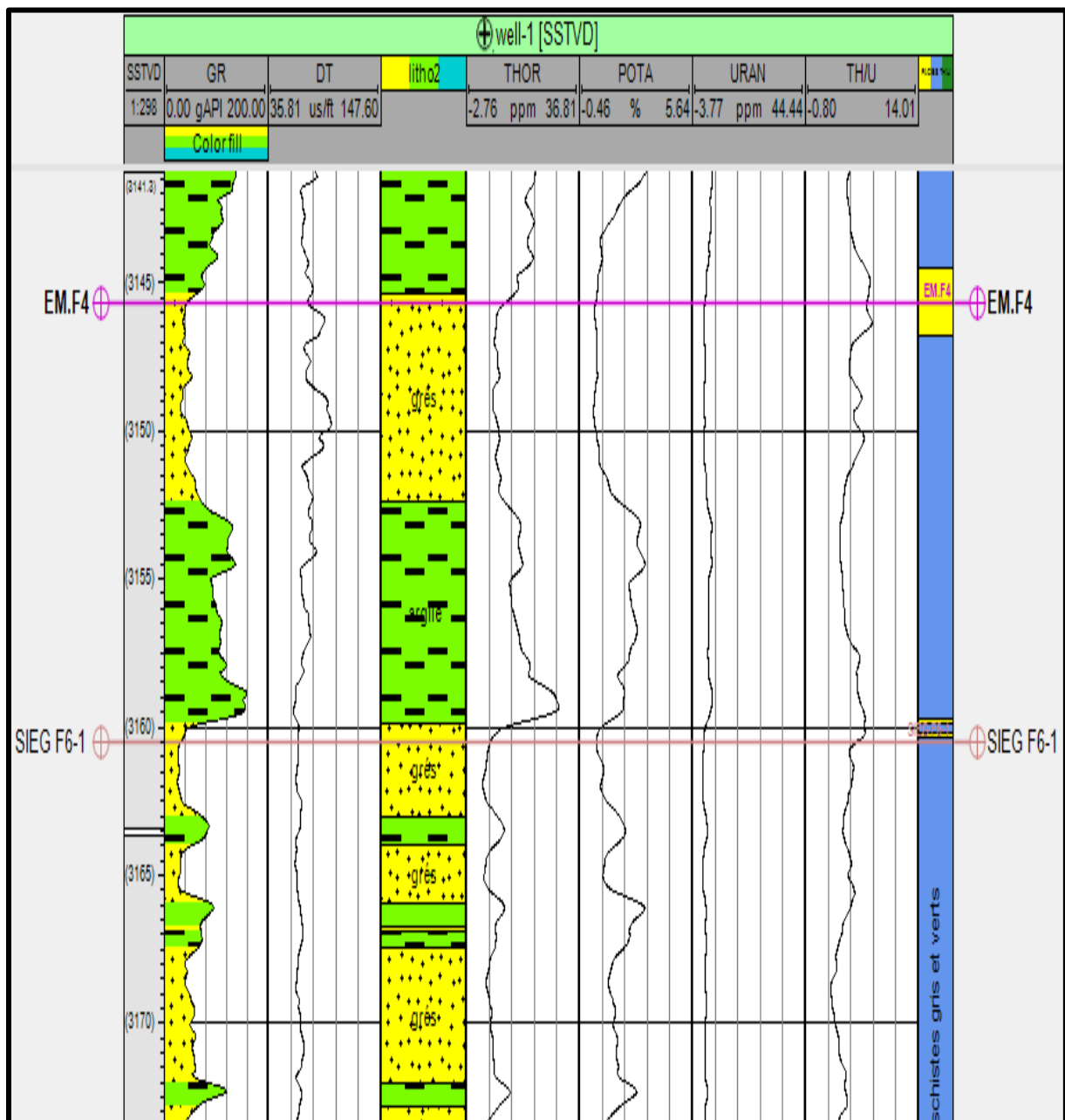


Figure III-37 : Détermination des environnements de dépôts de l'Emsien F4.

**IV.2.4 Les environnements de dépôts du Givétien F3 :**

L'identification des environnements de dépôts pour le Givétien est basée sur la courbe de rapport Th / U selon lequel les dépôts du réservoir F3 sont principalement représentés par des sédiments marins composé par des schistes gris et vert, une faible influence des dépôts continental à la base de la formation caractériser par des conditions oxydantes.

Cette formation est marquée par une phase de transgressive importante qui domine la totalité de l'intervalle avec des dépôts très épais.

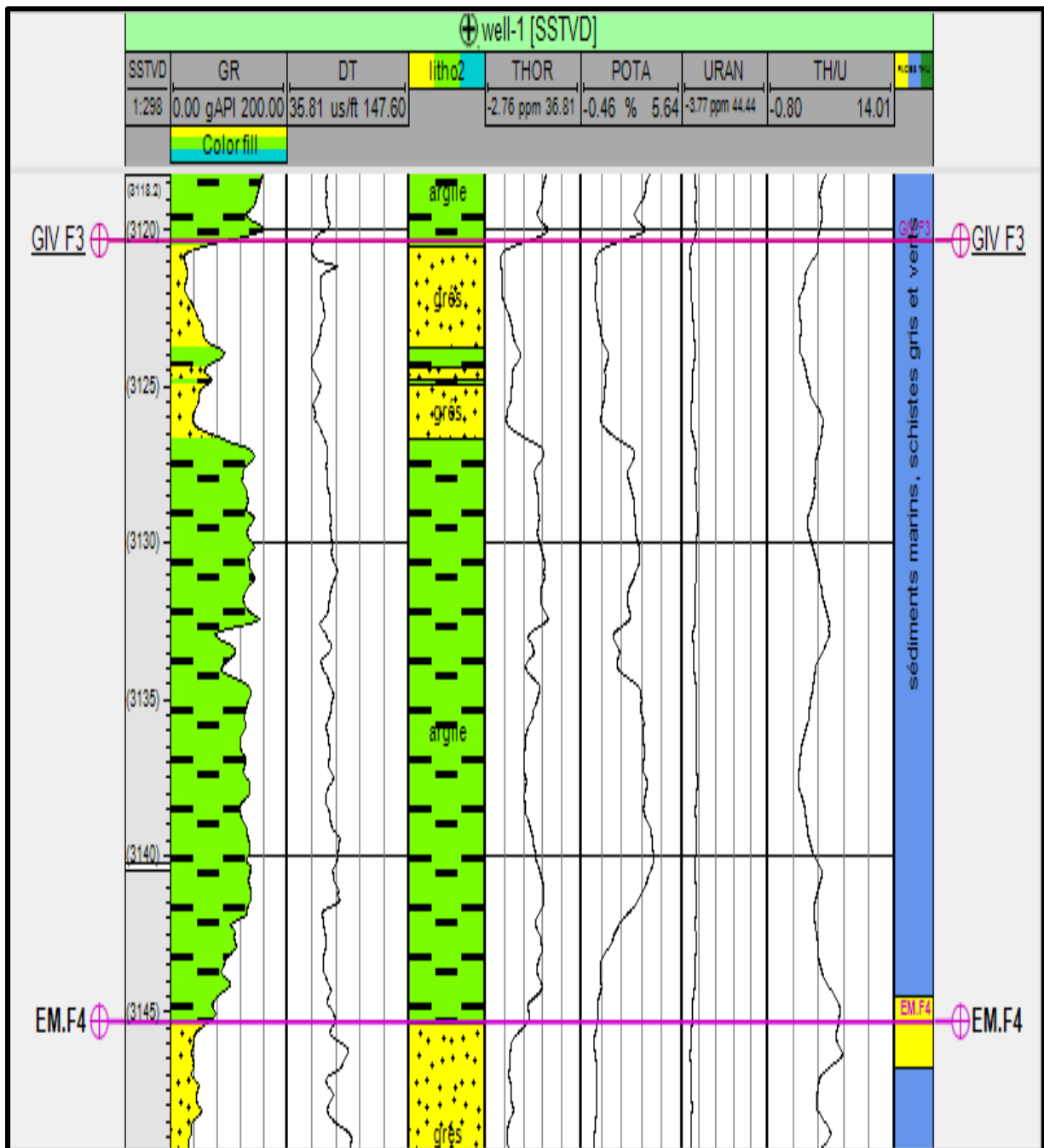


Figure III-38 : Détermination des environnements de dépôts du Givétien F3.

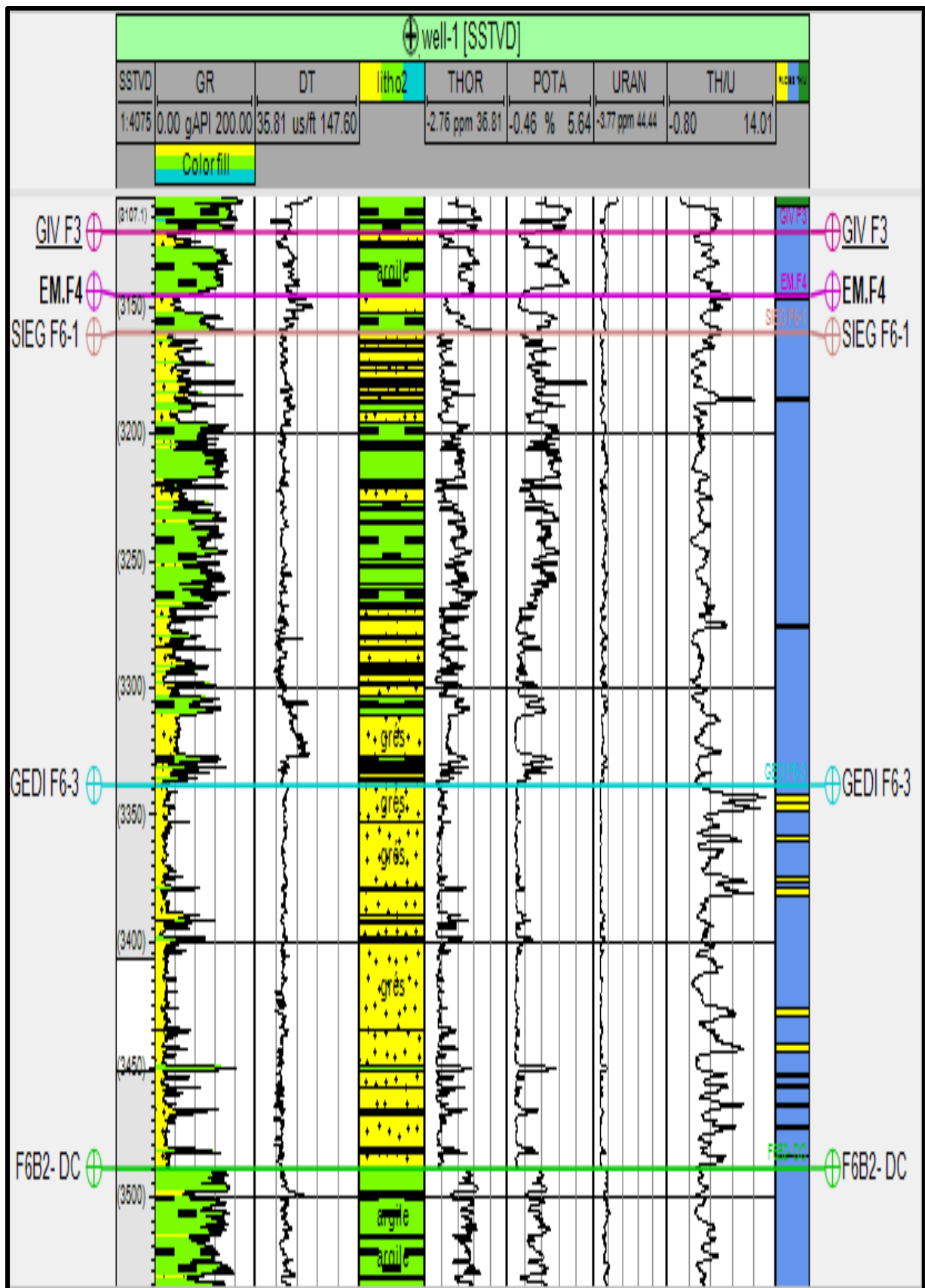


Figure III-39 : Détermination des environnements de dépôts de l'intervalle étudié du puits well-1.

**Note :**

D'après la littérature (Beicip, 2017) et la signature diagraphique nous constatons que notre interprétation est incorrecte. Les valeurs utilisées ne sont donc pas applicables au niveau de notre région d'étude étant donné que le Gédinnien est composé principalement d'une séquence aggradante en dent de scie de grès propre correspondant à un environnement continental (probablement de type chenaux en tresses) contrairement au résultat obtenu par le rapport Th/U qui identifie le Gédinnien comme environnement marin.

### V. Corrélacion et proposition d'un nouveau découpage pour la région :

Un découpage en unité a été réalisé sur tous les sondages étudiés dans le but d'établir des corrélations entre puits à travers la zone d'étude, le découpage en unités de dépôts s'est fait sur la base d'une interprétation des diagraphies, ce découpage concerne les 03 puits cités précédemment.

Dans le but de mettre en évidence les variations latérales des unités en termes d'épaisseurs et leur contenu minéralogique, pour cela deux profils de corrélations sont réalisés dans la zone d'étude (El Ouar), Pour suivre les formations géologiques (les 4 unités étudiées) à travers les données diagraphiques et géologiques (contenu minéralogique) obtenus des puits

**Profil n°1 :** Ce profil est de direction Nord-Est/Sud-Ouest passant par les puits well-3, Well-1.

**Profil n°2 :** Ce profil est de direction Est-Ouest passant par les puits well-3, well-2.

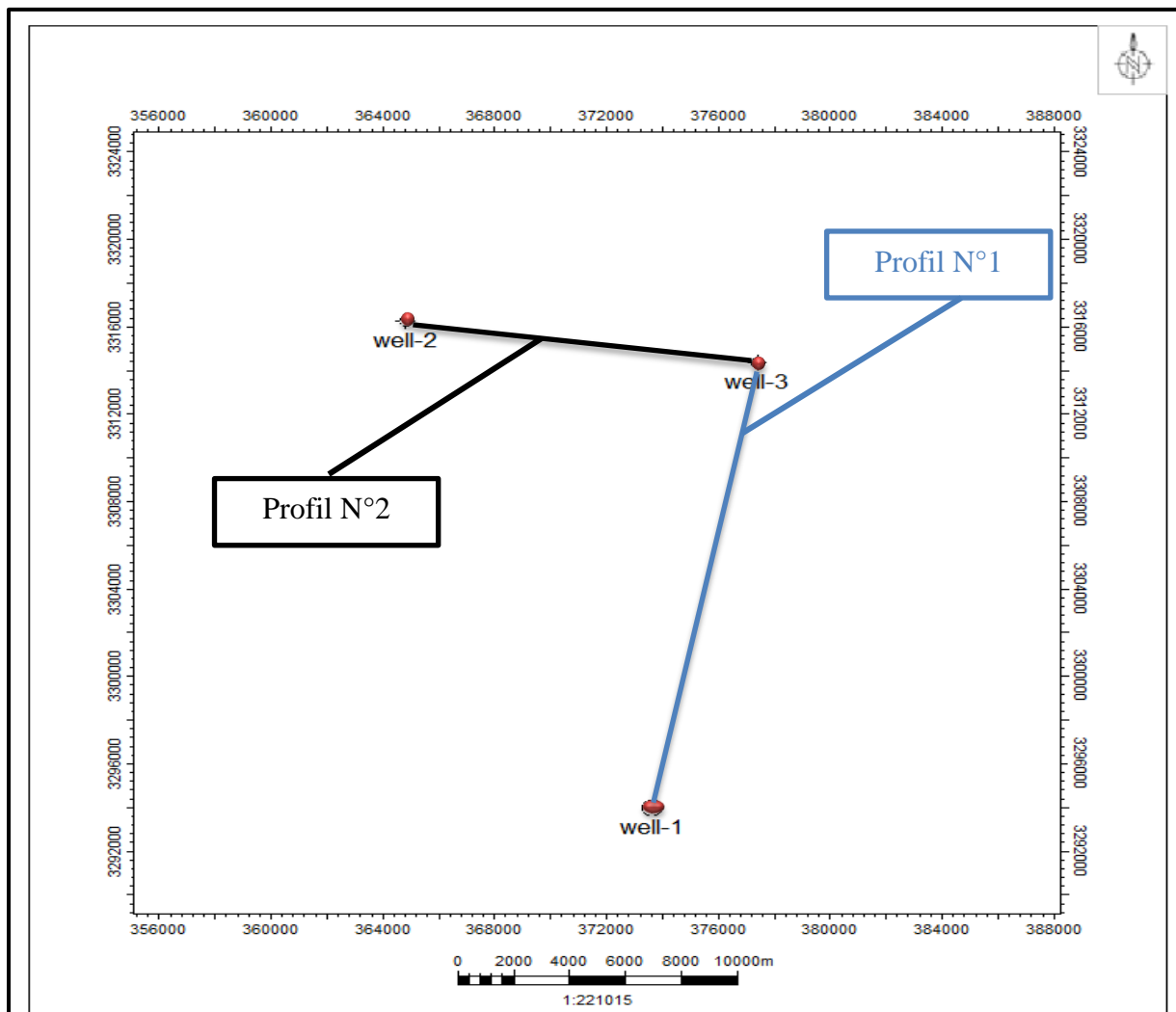


Figure III-40 : Carte de position des puits et des deux profils de corrélation.

## CHAPITRE III APPLICATION DE L'ANALYSE MINÉRALOGIQUE

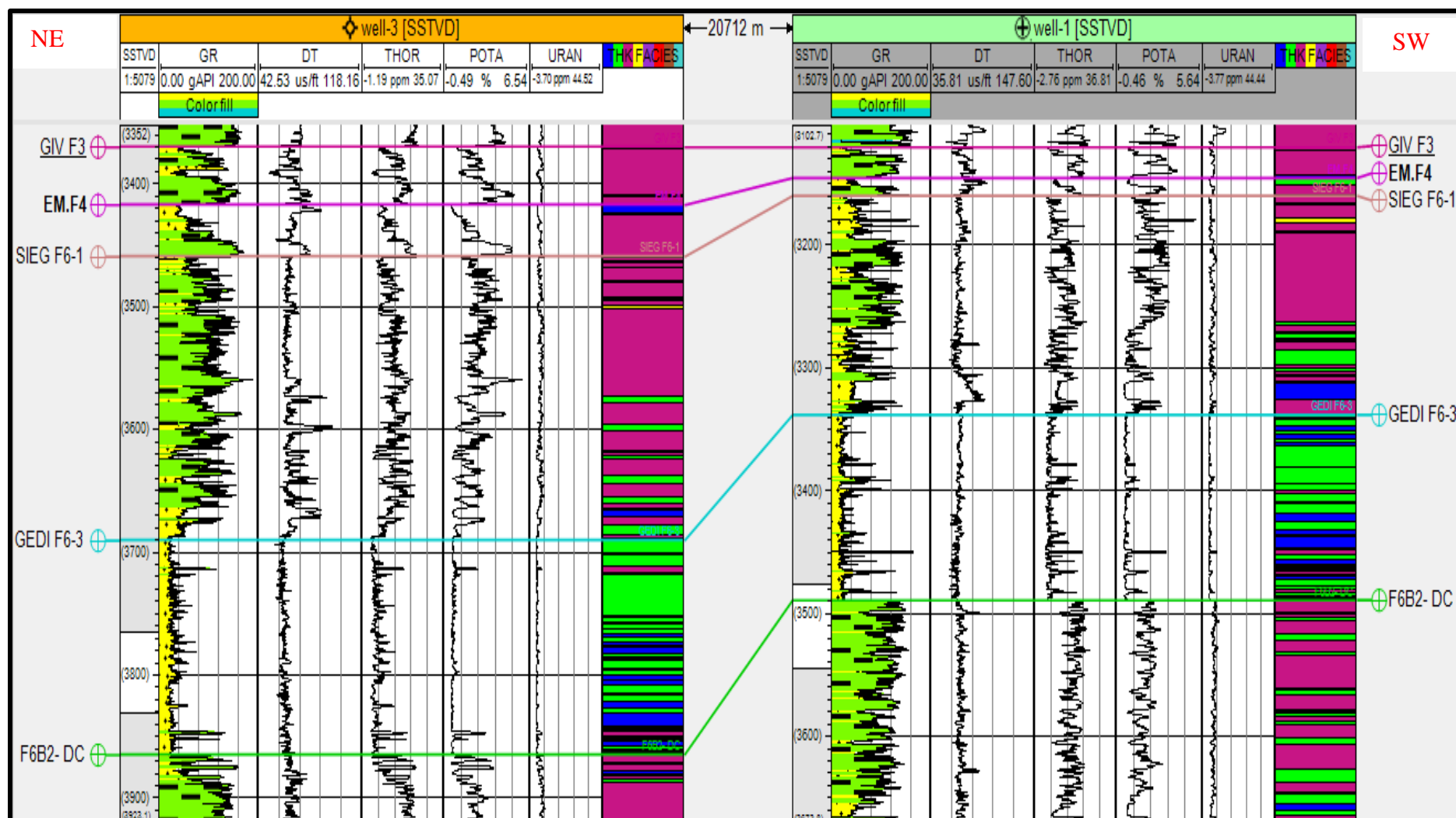


Figure III-41 : profil de corrélation litho-stratigraphique à travers les puits ; well-3, well-1.



### **V.1 Corrélation de l'unité Gédinnienne F6-3 :**

#### **V.1.1 Selon la Direction Nord-Est/Sud-Ouest :**

Au niveau des deux puits well-3 et well-1 cette unité est constituée essentiellement par des grès très fin à fin, avec fines passées d'Argile son épaisseur varie entre 174m et 150m, dans la direction Nord-Est/Sud-Ouest. On remarque un amincissement en allant du puits well-3 vers le puits well-1.

Pour la composition minéralogique Au niveau de puits well-3 cette unité est marquée par la présence des chlorites et des kaolinites avec des quantités importantes dans la partie supérieure, et dans la partie inférieure elle est dominée par des minéraux lourds, on remarque que la quantité de montmorillonites et des argiles interstratifiés est très faible.

Au niveau de puits well-1 (en allant vers le Sud-Ouest) la composition minéralogique est la même sauf dans la partie supérieure de l'unité on remarque la présence des minéraux lourds contrairement au puits well-3.

#### **V.1.2 Selon la Direction Est-Ouest :**

Au niveau de cette unité selon la direction Est-Ouest on ne peut pas effectuer de corrélation dû au manque de la limite inférieure du Gédinnien dans le puits well-2. (Arrêt de forage)

# CHAPITRE III APPLICATION DE L'ANALYSE MINÉRALOGIQUE

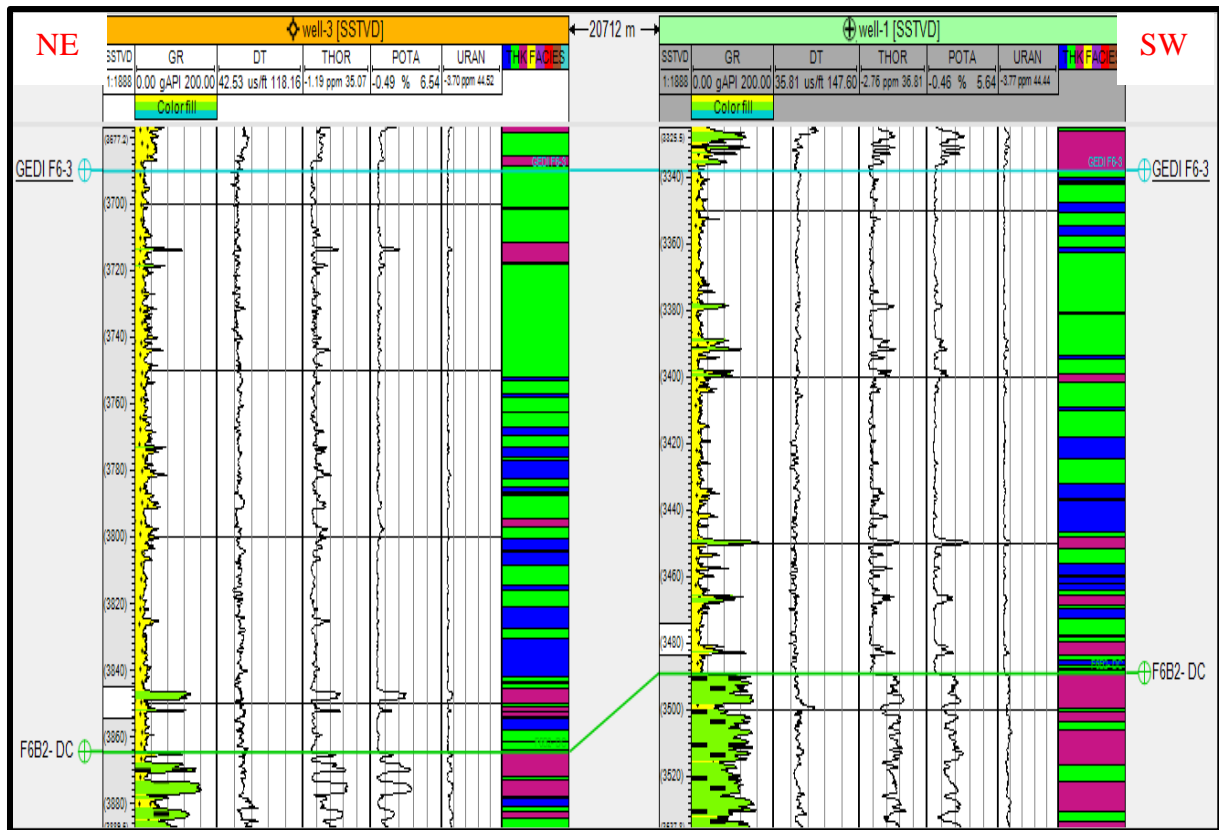


Figure III-43 : corrélation litho-stratigraphique de l'unité F6-3 passant par les puits well3, well-1.

### **V.2 Corrélation de l'unité Siégenienne F6-1 :**

#### **V.2.1 Selon la Direction Nord-Est/Sud-Ouest :**

Au niveau des deux puits well-3 et well-1 cette unité est constituée essentiellement par des grès très fin à fin, avec intercalations d'Argile, son épaisseur varie entre 231m et 177m, dans la direction Nord-Est/Sud-Ouest. On remarque un amincissement et une présence importante de la quantité des grès en allant du puits well-3 vers le puits well-1.

Pour la composition minéralogique au niveau des puits well-3 well-1, cette unité est dominée par des montmorillonites et des argiles interstratifiées avec des quantités très importantes, et on remarque une faible présence de chlorite, de kaolinite et des minéraux lourds à la base. Et une faible présence d'illite au sommet de l'unité.

#### **V.2.2 Selon la Direction Est/Ouest :**

Au niveau des deux puits well-3 et well-2 cette unité est composée d'un Grès très fin à fin, et d'une argile, son épaisseur varie entre 231m et 308m dans la Direction Est /Ouest. On remarque un épaissement en allant du puits well-3 vers le puits well-2.

Selon la Direction Est/Ouest Au niveau des deux puits well-3 et well-2 le contenu minéralogique de cette unité est le même, elle est dominée par des montmorillonites et des argiles interstratifiées.

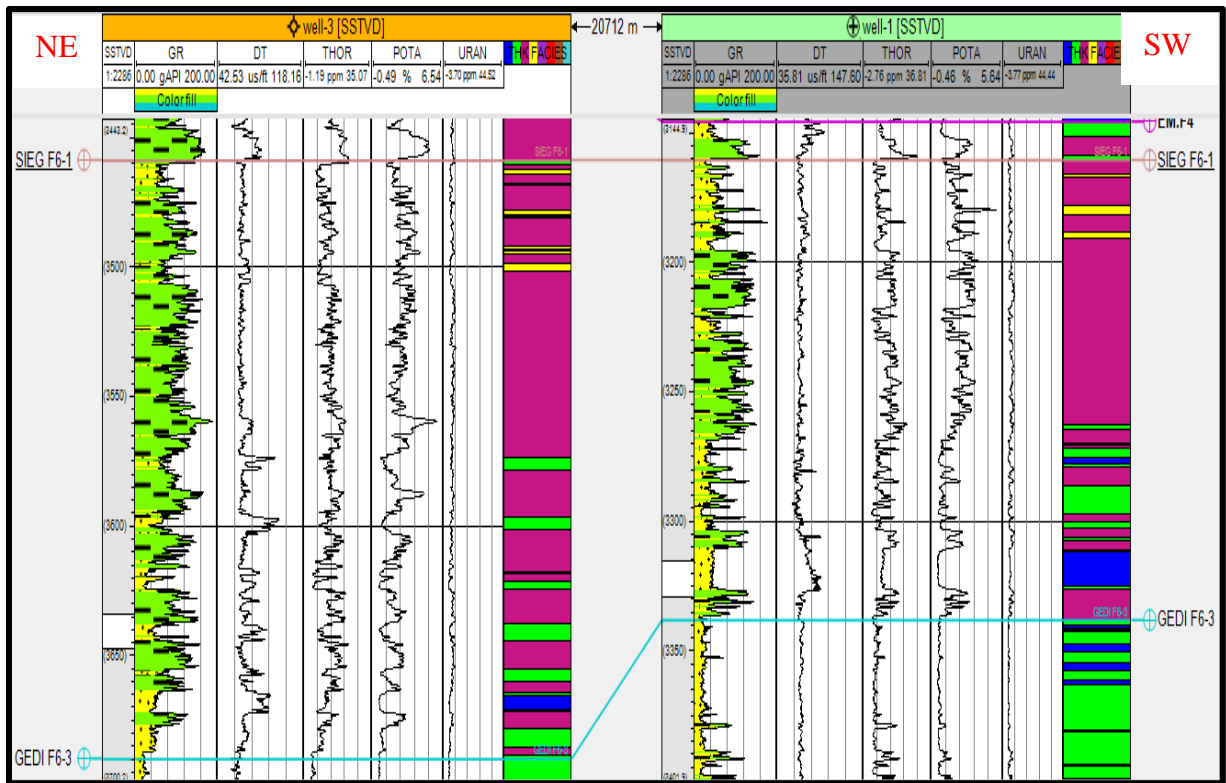


Figure III-44 : corrélation litho-stratigraphique de l'unité F6-1 passant par les puits well3, well-1

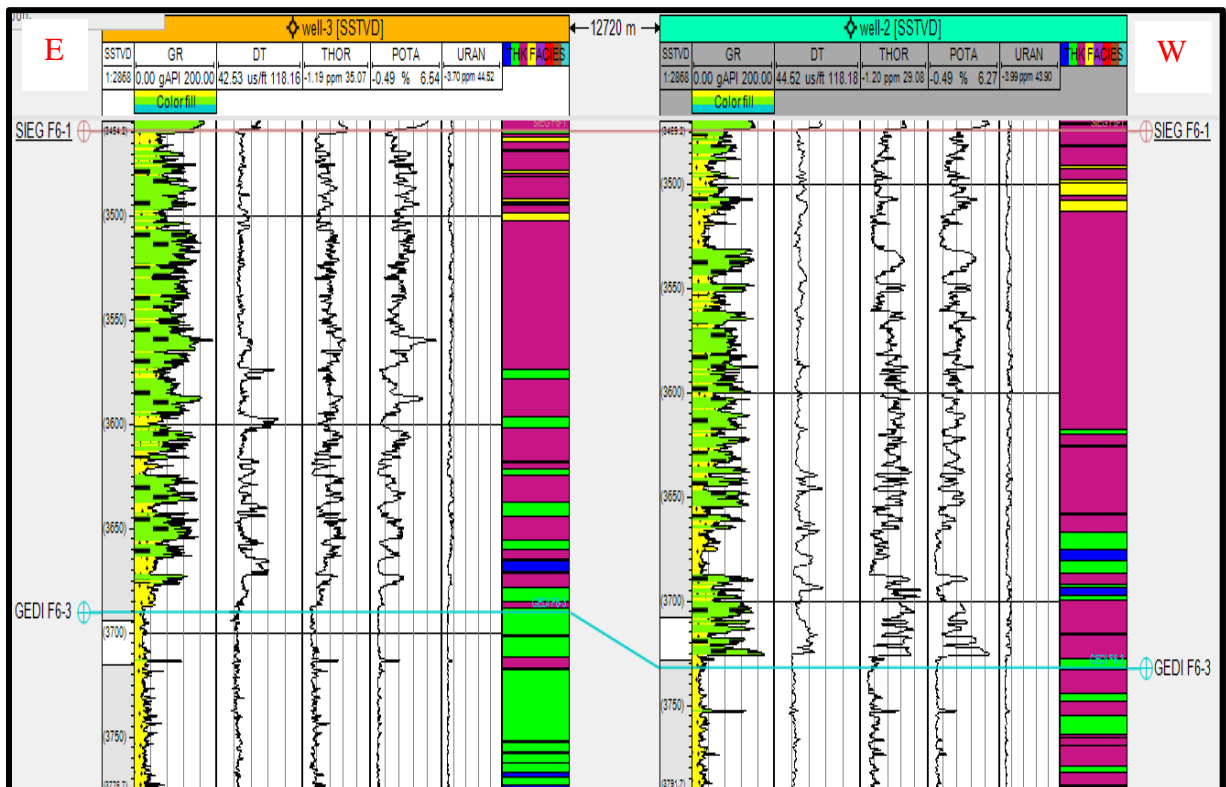


Figure III-45 : corrélation litho-stratigraphique de l'unité F6-1 passant par les puits well3, well-2

### **V.3 Corrélation de l'unité Emsienne F4 :**

#### **V.3.1 Selon la Direction Nord-Est/Sud-Ouest :**

Au niveau des deux puits well-3 et well-1 cette unité est composée d'un Grès fin à moyen, et d'une argile, son épaisseur varie entre 42m et 14m dans la Direction Nord-Est / Sud-Ouest. On remarque un amincissement et une diminution de la quantité des grés et d'argile en allant du puits well-3 vers le puits well-1.

Pour la composition minéralogique Au niveau de puits well-3 cette unité est composée principalement par des montmorillonites et des argiles interstratifiés. On remarque la présence d'une faible quantité des chlorites, des kaolinites et des minéraux lourds au sommet (dans les grés)

Au niveau de puits well-1 (en allant vers le Sud-Ouest) la composition minéralogique est la même que le puits well-3 sauf dans ce puits dans la partie supérieure de l'unité on remarque l'absence des minéraux lourds contrairement au puits well-3

#### **V.3.2 Selon la Direction Est/Ouest :**

Au niveau des deux puits well-3 et well-2 cette unité est composée d'un Grès fin à moyen, et de niveaux argileux, son épaisseur varie entre 42m et 30m dans la Direction Est /Ouest. On remarque un amincissement et une diminution de la quantité des grés et d'argiles en allant du puits well-3 vers le puits well-2.

Pour la composition minéralogique Au niveau de puits well-3 cette unité est composée principalement par des montmorillonites et des argiles interstratifiés. On remarque la présence d'une faible quantité des chlorites, des kaolinites et des minéraux lourds au sommet (dans les grés)

Au niveau de puits well-2 (en allant vers le Ouest) la composition minéralogique est la même que le puits well-3 sauf dans ce puits on remarque une très faible présence d'illite contrairement au puits well-3.

# CHAPITRE III APPLICATION DE L'ANALYSE MINÉRALOGIQUE



Figure III-46 :corrélation litho-stratigraphique de l'unité F4 passant par les puits well3, well-1

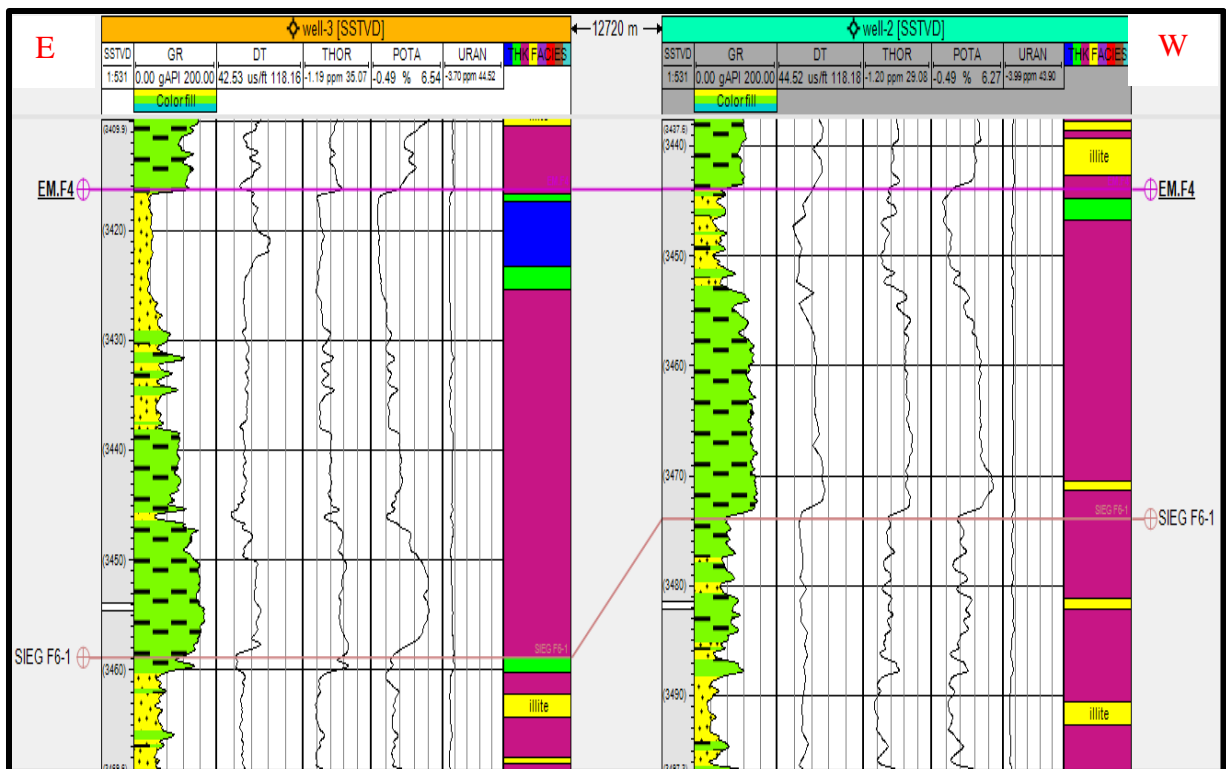


Figure III-47 :corrélation litho-stratigraphique de l'unité F4 passant par les puits well3, well-2

### **V.4 Corrélation de l'unité Givétienne F3 :**

#### **V.4.1 Selon la Direction Nord-Est/Sud-Ouest :**

Au niveau des deux puits well-3 et well-1 cette unité est constituée essentiellement par des argiles à la base surmontée par des grès, son épaisseur varie entre 46m et 25m dans la direction Nord-Est/Sud-Ouest. On remarque un amincissement en allant du puits well-3 vers le puits well-1.

Selon la direction Nord-Est/Sud-Ouest la composition minéralogique de l'unité F3 au niveau des puits well-3 well-1 est dominée par des montmorillonites et des argiles interstratifiés on remarque qu'au niveau du puits well-3 l'unité commence par un niveau d'illite et au niveau de puits well-1 l'unité commence par un niveau des minéraux lourds, avec des quantités très faibles.

#### **V.4.2 Selon la Direction Est/Ouest :**

Au niveau des deux puits well-3 et well-2 cette unité est constituée essentiellement par des argiles à la base surmontée par des grès, son épaisseur varie entre 46m et 57m dans la Direction Est /Ouest. On remarque un épaissement en allant du puits well-3 vers le puits well-2.

Selon la direction Est/Ouest la composition minéralogique de l'unité F3 au niveau des puits well-3 well-1 est dominée par des montmorillonites et des argiles interstratifiés, on remarque que l'unité commence par un niveau d'illite on remarque qu'au niveau du puits well-3 l'unité se coiffe par un niveau de chlorite et de kaolinite au sommet, qui est absent au niveau du puits well-2.

# CHAPITRE III APPLICATION DE L'ANALYSE MINÉRALOGIQUE

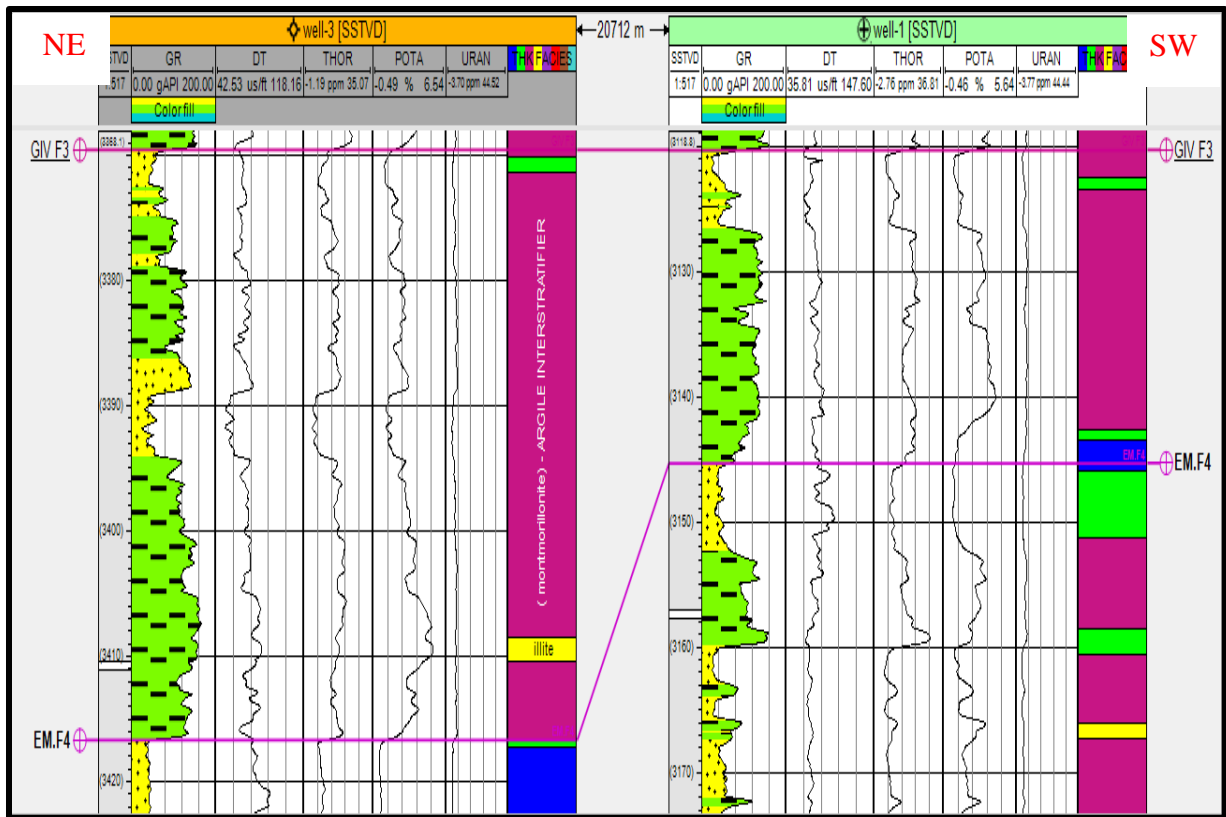


Figure III-48 : corrélation litho-stratigraphique du Givétien passant par les puits well3, well-1

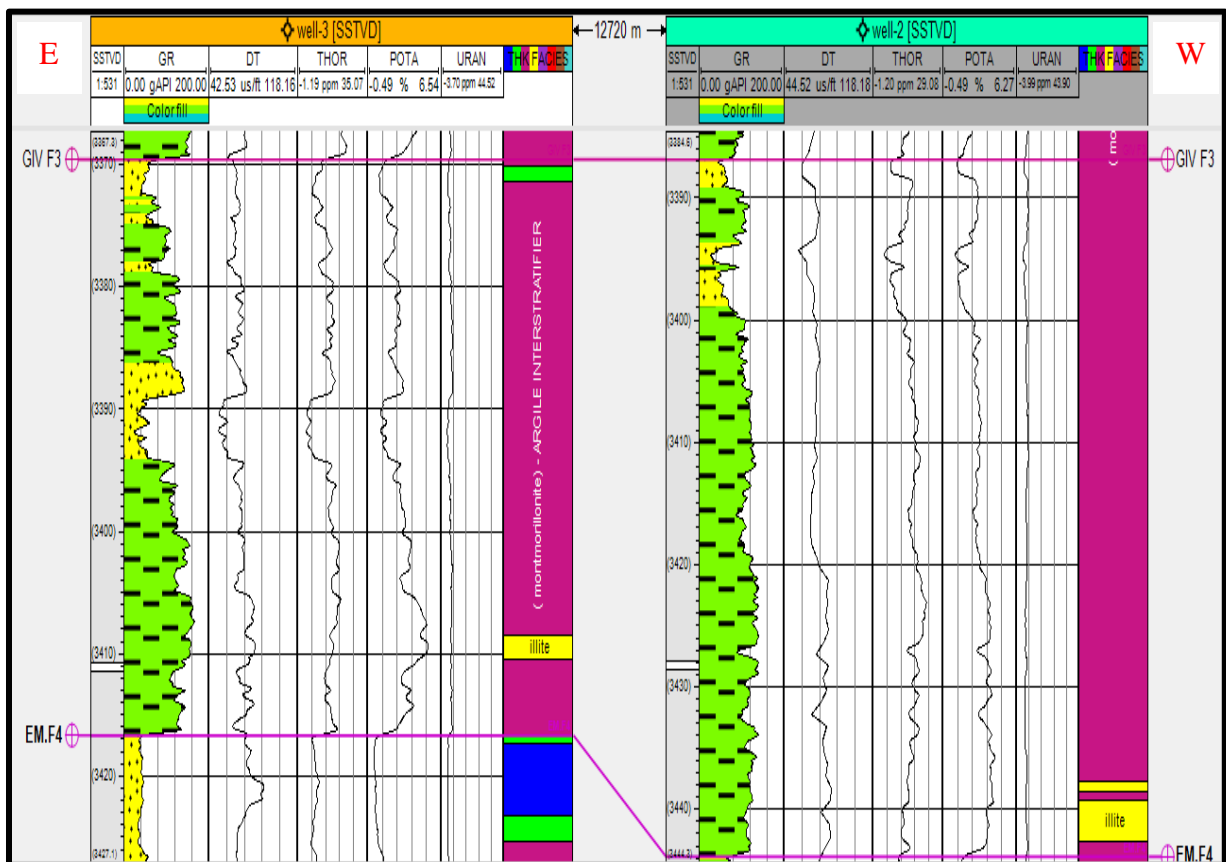


Figure III-49 : corrélation litho-stratigraphique du Givétien passant par les puits well3, well-2.

## CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.

---

### Conclusion générale :

Notre projet de fin d'études est basé sur les données de gamma ray spectral de la région d'El Ouar. L'interprétation de ces mesures, nous a permis de mieux caractériser le contenu minéralogique du Dévonien inférieur-moyen de la région étudiée.

L'objectif de l'analyse minéralogique est de déduire les environnements de dépôts à partir de certains minéraux radioactifs qui les caractérisent. Dans notre région d'étude de El Ouar, nous avons étudié, les minéraux radioactifs présents et qui sont les suivant : chlorites, kaolinites, montmorillonites, argiles interstratifiés et l'illite. Les informations acquises par ces minéraux se sont avérées insuffisantes pour reconstituer les environnements de dépôts de la région étudié, vue que nous avons uniquement deux minéraux radioactifs caractéristiques qui peuvent nous aider à cette reconstitution qui sont l'illite, qui caractérise les dépôts marin ancien, identifiée au sommet du Siégenien uniquement, avec des quantités très faible, et la kaolinite qui caractérise les dépôts continentaux qui est associé avec la chlorite dans la colonne minéralogique. L'établissement de cross plot Thorium/Potassium (Th/K) pour ces niveaux à kaolinite aurait permet de différencié entre ces deux minéraux et permettre une meilleure interprétation.

En ce qui concerne la caractérisation des environnements de dépôts à l'aide du rapport Th/U (Thurium/Uranium) les valeurs de références pour chaque type d'environnement de dépôts (Klaja, J. et Dudek, L. 2016) n'ont pas abouti aux résultats souhaités, ce qui témoigne de la valeur régionale de ces valeurs de référence

Les corrélations entre unités réalisée par la suite, révèlent une similitude lithologique et minéralogique entre les 3 puits étudiés. On remarque un amincissement des unités en allant vers le Nord-Est, dans la direction Ouest on remarque un épaissement de toute les unités sauf l'unité emsienne qui s'amincie. Et un enrichissement en chlorite et kaolinite au niveau du réservoir Gédinnien.

### Perspectives :

Dans le but d'affiner ce travail, nous recommandons une étude sédimentologique plus détaillée, sur des données de subsurface, notamment les carottes et les diagraphies de bases, en outre, il est souhaitable de créer des valeurs de références du rapport Thorium/Uranium propre à la région d'étude et de le généraliser sur l'ensemble du bassin. Ce qui permettra certainement une meilleure corrélation entre les différentes formations du Dévonien.

# **BIBLIOGRAPHIE**

### Références bibliographiques :

**Beicip-Sonatrach (2017) :** Etude sur le rôle de la compartimentalisation sur la distribution des fluides des réservoirs du Trias, du Carbonifère et du Dévonien dans le bassin centre de Berkine (Rapport interne de Sonatrach).

**BENKHEDAA A. (2016) :** Initiation à une étude géotechnique et analyse minéralogique des argiles oxfordiennes de la région Tiaret. Mémoire de fin d'études master, Université Kasdi Merbah – Ouargla

**BOUDJEMA A. (1987) :** Evolution structurale du bassin pétrolier (Triasique) du Sahara nord oriental (Algérie). Thèse de doctorat, Paris : Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay, 251 p.

**BOUMAZA M. SEMAI F. (2014) :** Evaluation quantitative et qualitative d'un réservoir Cas du réservoir TAGI – SIF Fatima Bassin de Berkine (Algerie Oriental). Mémoire de fin d'études master, Université Kasdi Merbah Ouargla.

**BOURQUIN S. (1991) :** Analyse facio-sequentielle par diagraphies du trias du centre-ouest du bassin de paris : apports à la reconstitution de l'environnement de dépôt. Thèse de doctorat, L'universite De Nancy 1.

**Klaja J. et Dudek L. (2016) :** Geological interpretation of spectral gamma ray (SGR) logging in selected boreholes. NAFTA-GAZ, ROK LXXII, Nr 1 / 2016

**MALLA A. et OUYAHIA S. (2016) :** Caractérisation Du Passage Carbonifère-Trias Dans La Région De Sif Fatima - Bassin De Berkine ; SE Algérie, Mémoire de fin d'études master, Université Des Sciences Et De La Technologie Houari Boumediene

**SERRA O. (1979) :** Diagraphie différées (Tome I), Interprétation des données diagraphiques. Edition. SNEAP ELF PAU-France.

**SERRA O. (1985) :** Diagraphie différées (Tome II), acquisition des données diagraphiques. Edition. SNEAP ELF PAU-France.

**Schlumberger. (2009) :** Log interpretation charts.

**SONATRACH. (2018) :** Rapport d'implantation du puits d'exploration Nord Ahara Sud West-1 (NAHSW-1) Bloc 212a, Périmètre de recherche El Ouar Est Bassin d'Illizi. Direction Assets Est.

**WEC (Well évolution conférence) (2007) :** Document Sonatrach/Schlumberger, Alger.

**Site internet :**

<https://www.universalis.fr/encyclopedie>.