



**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 : Géologie des Bassins Sédimentaires**

Analyse séquentielle du réservoir du Silurien Argilo-Gréseux (SAG) de la région de Rhourde El Hamra, (Berkine Ouest, Sahara, Algérie) sur la base de l'exploitation des réponses diagaphiques du Gamma Ray et des données de carottes.



**Proposé par : MEDAOUERI Mourad**

**Réalisé par : AMEUR Yacine**

**MEZINE Taous**

**Devant le jury :**

**Président : KARDACHE Farid MCA, UMMTO**

**Promoteur: AHMED ZAID Idir MCA, UMMTO**

**Co-promoteur : GUELLATI Idris Ingénieur Géologue, SONATRACH**

**Examineur AMROUCHE Farid MCA, UMMTO**

**Promotion 2018-2019**

# *Remerciements*

*Au terme de ce travail, nous tenons à dédier nos sincères remerciements en premier lieu, à notre promoteur Mr. Ahmed Zaid Idir pour nous avoir guidés et aider à concevoir ce mémoire.*

*Nous tenons à remercier chaleureusement Mr. Médaouri Mourad, chef du Département de Berkine ouest de la division Exploration de la Sonatrach, pour avoir proposé le thème de notre mémoire.*

*Nous adressons nos remerciements les plus profondes à Mr. Guellati Idris, Ingénieur géologue à la Sonatrach, pour nous avoir suivi de très près et faciliter notre accueil au niveau de ses services ainsi que pour toute l'aide qu'il a eu à nous fournir.*

*Nous n'omettrons pas de remercier l'ensemble des personnels du Département Berkine ouest de la Sonatrach, Division Exploration.*

*Nous remercions Mr. KARDACHE Farid, de nous avoir accordé l'honneur de présider notre soutenance.*

*Nous remercions aussi à Mr. AMROUCHE Farid, jury d'avoir accepté de juger notre travail en qualité d'examineur.*

*Enfin, nous adressons nos remerciements à l'ensemble des corps pédagogique et administratif du Département des Sciences Géologiques de la Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, université Mouloud Mammeri, de Tizi Ouzou.*

# Dédicaces

J'ai l'incommensurable et l'immense privilège de dédier le présent travail prioritairement à mes chers parents sans qui je ne serai pas devenu l'homme que je suis aujourd'hui, à mon cher et valeureux père qui m'a inculqué que la valeur d'une personne se mesure à ses principes et à ses idéaux. A la raison de mon existence, ma valeureuse et très chère mère pour qui tous les sacrifices ne sauraient combler l'amour qu'elle m'a tant et continue de m'offrir. Je leur serai éternellement reconnaissant.

Je le dédie également à mes chers frères, Djamel, Hakim, Younes, Samir et Sofiane, je ne les remercierais jamais assez pour tout le soutien matériel et moral, le courage et la patience dont ils ont fait preuve à mon égard tout le long de mon cursus.

A mes adorables neveux Syphax et nièce Yasmine, ainsi qu'à mes deux belles sœurs et l'ensemble de toute ma famille.

Je dédie ce travail à ma dulcinée et celle qui m'inspire et m'incite à être meilleur.

A ma camarade et ma très chère amie Taous sans qui ce travail n'aurait pas vu le jour, grâce à l'immense effort et patience dont elle a fait figure.

Ma gratitude et ma reconnaissance vont également à tous mes amis, Azouaou, Khaled, Sofiane, Amazigh, Lounis, Lydia, Naouel, Saadia, ainsi qu'à tous mes proches.

Enfin, je dédie également ce travail à mes camarades de la promotion Géologie des Bassins Sédimentaires de la promotion 2018/2019 et tous les étudiants du Département des Sciences Géologiques de Tamda.

Yacine

## Dédicace

Je dédier ce travail :

*A mes chers parents qui ont donné un sens à ma vie que nulle dédicace ne pourrait exprimer les sincères sentiments que je porte à leur égard pour leur patience illimitée, leurs encouragements continus et leur aide. En témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices.*

*A ma chère grand-mère Aldjia que dieu lui accorde une longue vie.*

*A mes frères : Boussaad, Idir et Amokrane et mes chères sœurs Zouhra et Sonia, pour leur grands amour et soutien.*

*A la mémoire de ma défunte grand-mère « Taous » que son âme repose en paix, cette femme brave au grand cœur qui a su m'inculquer les vraies valeurs de la vie.*

*A mes chers neveux Augustin et Mebarek que Dieu vous garde.*

*Ainsi qu'à mon beau-frère Hocine.*

*A mes cousines et cousins.*

*A toute ma famille.*

*A ma meilleure et très chère amie MELAL Malha.*

*Ma reconnaissance et ma gratitude vont aussi à AMEUR Yacine, mon ami, mon camarade et mon frère, à qui je dois tout le courage et la patience pour partager ce travail et sans qu'il n'aurait jamais pu être accompli.*

*Et enfin à tous mes amis et mes camarades de la promotion Géologie des Bassins Sédimentaires de la promotion 2018/2019.*

Taous

## *Résumé*

Ce travail consiste à étudier le réservoir argilo-gréseux du Silurien supérieur (SAG) et le Siluro-dévonien à partir de l'application des différentes méthodes d'étude sédimentologiques et géophysiques sur deux (2) puits provenant de la région de Rhourd el Hamra à l'ouest du bassin de Berkine dans la plateforme saharienne du Sahara algérien. Ces méthodes utilisées permettent l'identification de la lithologie des formations ainsi que la détermination des milieux de dépôts qui constituent la région d'étude de Rhourd el Hamra en retraçant les variations des épaisseurs le long de cette région à travers l'analyse des enregistrements des logs diagraphiques du Gamma Ray et l'identification des différents environnements de dépôt réalisée à partir de l'interprétation des carottes antérieurement exécutée par la Sonatrach. Cette étude entreprise en usant principalement de la méthode diagraphique du Gamma Ray et par l'application des principes fondamentaux de la stratigraphie séquentielle selon O. Catuneanu, permet l'identification des limites stratigraphiques la détermination des séquences de dépôt et les cortèges sédimentaires qui constituent ces séquences ainsi que les formations contenues dans les puits « well 1 » et « well 2 » soumis à cette étude.

Le travail entrepris dans cette étude a pour objectif également la mise en évidence des différents types de pièges d'hydrocarbures que l'on retrouve dans la zone d'étude de Rhourd el Hamra, qui appuyé par l'utilisation des méthodes sismiques fournies par la Sonatrach qui consiste à interprétation structural des sections sismiques propres à la région d'étude. Cette interprétation structurale des sections sismiques a pour objectif également la mise en relief des discordances érosives notamment la « discordance hercynienne ».

Les résultats acquis de cette étude et de l'application des diverses méthodes d'analyse citées en haut auront pour objectif la caractérisation sédimentologiques du réservoir siluro-dévonien de la région d'étude de Rhourd el Hamra ainsi qu'apporter une probable perspective sur les sondages susceptibles d'être exécutés par la Sonatrach au sein de cette région puis l'extrapolation sur l'ensemble du bassin au niveau du Siluro-dévonien.

## Listes des figures :

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Chapitre I</b>		
Figure I-01	Situation géographique du bassin de Berkine et sa position au sein de la plateforme saharienne (WEC, 2017, modifiée).	<b>03</b>
Figure I-02	Eléments structuraux du bassin de Berkine (Sonatrach, 2003, <i>in</i> MALLA A, et <i>al</i> , 2016).	<b>05</b>
Figure I-03	Profile sismique montrant la discordance hercynienne (SONATRACH).	<b>06</b>
Figure I-04	Les phases tectoniques ayant affectées le bassin de Berkine ainsi que les environnements de dépôt engendrés (Boudjamaa, 1987).	<b>07</b>
Figure I-05	Colonne stratigraphique du bassin de Berkine (Boudjema, 1987).	<b>10</b>
Figure I-06	Position géographique de la région Rhourde el Hamra (Sonatrach).	<b>11</b>
Figure I-07	Représentation de différents types de pièges (FOURNIER. F, 2011)	<b>12</b>
Figure I-08	Pièges structural (FOURNIER. F, 2011).	<b>14</b>
Figure I-09	Piège stratigraphique (FOURNIER. F, 2011).	<b>14</b>
Figure I-10	Piège sédimentaire (FOURNIER. F, 2011)	<b>15</b>
<b>Chapitre II</b>		
Figure II-01	Exemple d'alternance d'argile et de grès (F. Boulvain 2017).	<b>17</b>
Figure II-02	Zonation des milieux littoraux (Jacques Beauchamp 2005).	<b>19</b>
Figure II-03	Les environnements marins de dépôts (d'après. Flügel 2004)	<b>19</b>
Figure II-04	Les facteurs régissant l'espace d'accommodation (Guillocheau 2003).	<b>22</b>
Figure II-05	Modèle de stratigraphie séquentiel (Durringer, 2003, modifié par Catuneanu, 2006)	<b>27</b>
Figure II-06	Relation entre la géométrie des cortèges sédimentaires et la distribution spatiotemporelle (Vail et al, 1984).	<b>30</b>
Figure II-07	Charte eustatique globale du Paléozoïque (Exxon, Hallam et al.1998).	<b>31</b>
Figure II-08	Schéma représentatif du mécanisme de la rétrogradation (Guillocheau 1995).	<b>32</b>

Figure II-09	Schéma représentatif du mécanisme de l'aggradation (Emery, 1999).	<b>33</b>
Figure II-10	Schéma représentatif du mécanisme de progradation (Guillocheau 1995).	<b>33</b>
Figure II-11	Les différentes morphologies des électrofaciès (O. Serra 1979)	<b>34</b>
Figure II-12	La morphologie des électrofaciès en fonction du régime et de la dynamique de dépôt (Kendal, 2004).	<b>35</b>
Figure II-13	Le comportement de l'outil gamma-ray en face des différentes formations d'un réservoir (www-ig.unil.ch).	<b>38</b>
Figure II-14	Type de séquences en fonction de granoclassement (O. Serra 1979).	<b>39</b>
<b>Chapitre III</b>		
Figure III-01	Carte de localisation des quatre (4) puits « well 1 » « well 2 » « well 3 » et « well 4 »	<b>43</b>
Figure III-02	Découpage séquentiel du puits « well 1 ».	<b>46</b>
Figure III-03	Découpage séquentiel du puits « well 2 ».	<b>47</b>
Figure III-04	Cortège sédimentaire de la séquence I du well 1.	<b>50</b>
Figure III-05	Cortège sédimentaire de la séquence II du well 1.	<b>52</b>
Figure III-06	Cortège sédimentaire de la séquence III du well 1.	<b>54</b>
Figure III-07	Cortège sédimentaire de la séquence IV du well 1.	<b>56</b>
Figure III-08	Cortège sédimentaire de la séquence I du well 2.	<b>58</b>
Figure III-09	Cortège sédimentaire de la séquence II du well 2.	<b>59</b>
Figure III-10	Cortège sédimentaire de la séquence III du well 2.	<b>61</b>
Figure III-11	Cortège sédimentaire de la séquence IV du well 2.	<b>63</b>
Figure III-12	Carte du profil de corrélation des puits Well 1, Well 2, Well 3 et Well 4	<b>65</b>
Figure III-13	Corrélation des puits étudiés « well 1 » et « well 2 » avec les puits références « well 3 » et « well 4 ».	<b>68</b>
Figure III-14	Plan de positionnement des profils sismiques et des puits well 1, well 2, well 3 et well 4.	<b>69</b>
Figure III-15	Profile sismique n° (1) de la région d'étude Rhourde el Hamra.	<b>71</b>

Figure III-16	Profile sismique n° (2) de la région d'étude Rhourde el Hamra.	<b>72</b>
---------------	--	-----------

**Liste des Tableaux :**

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Tableau I-01	Tableau comparatif des épaisseurs moyenne des argiles radioactives du bassin de Berkine.	<b>13</b>
Tableau II-01	Tableau comparatif des milieux (côtier et tidal)	<b>18</b>
Tableau II-02	Tableau de radioactivité de certaines roches sédimentaires en API (American Petroleum Institut).	<b>37</b>

# Table de matière

Remerciement

Dédicaces

Listes des figures

Liste des tableaux

## **Chapitre I : Généralités.....01**

1. Introduction.....02
2. Problématique et objectif du travail.....02
3. Présentation le bassin de Berkine .....03
4. Cadre géologique du bassin de Berkine .....04
5. Cadre structural du bassin de Berkine .....04
  - a. Evolution tectonique du bassin de Berkine.....05
6. Cadre lithostratigraphique du bassin de Berkine .....08
7. Zone d'étude .....11
  - a. Situation géographique.....11
  - b. Cadre géologique.....11
8. Le système pétrolier .....11

## **Chapitre II : méthodes d'études.....15**

Introduction .....16

### **I. sédimentologie :.....16**

1. L'ensemble de la plaine côtière.....16
2. La sédimentation littorale.....18
3. Ensemble marin ouvert : .....21
  - a) Le Shoreface .....21
  - b) L'offshore .....21

### **II. La stratigraphie séquentielle.....21**

1. Les concepts de base de la stratigraphie séquentielle.....22
2. Les unités de la stratigraphie séquentielle .....23

### **III. Méthodes diagraphiques :.....35**

1. Rappel sur les méthodes.....35

2.	Le Gamma Ray (Radioactivité Gamma) : « Y-ray ».....	36
3.	Conclusion.....	39
<b>IV.</b>	<b>Méthodes sismiques.....</b>	<b>39</b>
1.	Concepts.....	39
a.	Stratigraphie sismique.....	39
b.	Résolution sismique.....	40
c.	Discordance .....	40
	<b>Chapitre III : Applications et interprétations .....</b>	<b>42</b>
1.	Introduction.....	43
2.	Découpage séquentiel des puits « well 1 » et « well 2 » et description faciologique des paléoenvironnements. ....	44
3.	Identification des cortèges sédimentaires du Silurien argilo-gréseux (Pridoli-Lockovien).....	49
4.	Corrélations et comparaisons des cortèges sédimentaires du Pridoli-Lockovien ...	65
5.	Interprétations structural des sections sismiques.....	69
6.	Conclusion.....	73
	<b>Conclusion général.....</b>	<b>74</b>
	<b>Références bibliographiques.</b>	

# Chapitre I:

# Généralités

## 1. Introduction et problématique :

L'exploitation des hydrocarbures en Algérie et particulièrement le domaine pétrolier a été entreprise minutieusement depuis la découverte du pétrole en Algérie en 1956, en passant de la période coloniale jusqu'à présent.

Le secteur économique de l'énergie en Algérie occupe un rang prédominant dans l'économie du pays, les hydrocarbures à eux seuls constituent 98% de ses exportations.

L'exploration des hydrocarbures en Algérie s'est amplifiée exponentiellement ces dernières années et avec l'épuisement graduel des ressources classiques, la Sonatrach s'intéresse davantage aux bassins de la plateforme saharienne à potentialités pétrolières différentes. Le Silurien du bassin de Berkine y'incluant la zone d'étude de Rhourde el Hamra; entant que source de l'alimentation en hydrocarbures de l'ensemble du bassin, présente un potentiel pétrolier qui s'impose comme étant un réservoir important qui requièrent une étude et une prospection plus approfondie de son contenu en hydrocarbures. De Nombreuses techniques et technologies de prospection pétrolière ont été mises en œuvre les méthodes diagraphiques et les méthodes sismiques qui sont les plus répandues et les plus utilisées à présent.

Les séries siluriennes de la plateforme saharienne sont caractérisées par des formations d'argiles noires à Graptolites, quoique ceci ne comprenne pas le sommet du Silurien ou le Siluro-dévonien. Cette étude consiste à déterminer les particularités de ces séries et la mise en relief des particularités lithologiques qui caractérisent cet intervalle par rapport au reste du bassin de Berkine ainsi que de l'ensemble de la plateforme saharienne. Elle procède également à l'établissement d'une reconstitution des termes siluriens dans un contexte paléoenvironnementale afin de restituer l'histoire sédimentologiques ainsi que la dynamique de dépôt ayant amorcé et défini la structure actuelle des séries siluriennes dans la région étudiée.

Succédant aux travaux antérieurs, cette étude a pour objectif de reconstituer l'évolution des séries siluro-dévoniennes qui composent la région de Rhourde el Hamra et d'affiner les résultats obtenus des travaux précédents en se basant sur les méthodes diagraphiques tel que la Gamma Ray, les méthodes sédimentologiques par l'application de concepts de l'analyse séquentielle classique ainsi que la stratigraphie séquentielle et les méthodes sismiques ceci permettra de mieux contraindre les données et les perspectives relatives à l'exploration au sein de la région d'étude de Rhourde el Hamra du bassin de Berkine ouest.

Le Silurien Argilo-Gréseux (SAG) de la région de Rhourde El Hamra située dans la partie nord-ouest du bassin de Berkine présente une importante complexité de la lithologie de ses formations. Ce qui rend difficile l'identification des faciès ainsi que les environnements de dépôt. Ce qui fait la particularité et l'intérêt des dépôts siluro-dévonien est la présence des corps gréseux en grande partie du volume des corps sédimentaire à ce niveau. Alors que ce n'est aucunement le cas du reste de la plateforme saharienne et du bassin de Berkine où le Silurien est défini globalement par « les argiles noires à graptolites ».

Les études antérieures sur le bassin de Berkine et plus précisément les formations du Silurien argileux-gréseux, ont abouti sur le fait que le réservoir silurien est susceptible de contenir un important potentiel d'hydrocarbures.

L'objectif de cette étude sera de déceler les composantes lithostratigraphique des formations siluro-dévonienne dans la zone étudiée et d'effectuer une reconstitution paléoenvironnementale et paléogéographique de cette zone, en appliquant les méthodes diagaphiques Gamma Ray et les préceptes de la stratigraphie séquentiel qui représentent des outils indispensables dans la prospection pétrolière.

## 2. Présentation du bassin de Berkine :

La plateforme saharienne représente la partie septentrionale du craton ouest africain et du craton est africain, s'étend entre les deux boucliers précambriens « Hoggar » et « Eglab » au sud et les zones plissées de l'Atlas au nord. Cette plateforme cratonique est structurée en nombreux bassins sédimentaires intracratoniques et d'avant-pays dont le bassin de Berkine qui présente un intérêt particulier.

Le bassin de Berkine s'étend sur une superficie globale de 350 000 km<sup>2</sup>, chevauchant sur trois (3) pays de l'Afrique du nord. Il couvre l'Algérie orientale à l'ouest sur environ 50000 km<sup>2</sup>, la Libye occidentale ou tripolitaine à l'est sur 200 000 km<sup>2</sup> et la totalité du sud de la Tunisie.

En surface, il est recouvert par d'immenses dunes de sable, qui lui confèrent son caractère de zone d'accès difficile et constituent le Grand Erg Oriental. Le bassin s'étale entre les latitudes 29° et 30° Nord et les longitudes 03° et 09° Est. Au sud, le plateau Crétacé du Tinrhert sépare le bassin de Berkine du bassin d'Illizi.



- Au nord, la Dorsale de Djefara et le môle de Sidi-Toui, de direction E-W, dont le prolongement au Sahara central constitue le Môle Talemzane-Béressof.
- A l'ouest, avec une direction subméridienne, se positionne le haut fond d'El Biod-Hassi Messaoud.
- Au sud, le Môle d'Ahara et la Dorsale Zegher-Gargaf se poursuit suivant une direction Ouest-Sud-Ouest par le Djebel Fezzan.
- Le bassin de Syrte, avec une série de failles et de fossés en gradins de direction Nord Ouest Sud Est marque sa limite orientale.

## 4. Cadre structural du bassin de Berkine :

Le bassin de Berkine est caractérisé par un grand réseau de fracturations, dues à une succession de plusieurs phases tectoniques depuis le Précambrien. Ces fracturations sont organisées suivant deux principales orientations.

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 distensif 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 500m et plus dans la région de Rhourde Nouss, avec des structures de grandes amplitudes (la structure de Rhourde Nouss 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 (in MALLA A, et *al*, 2016).

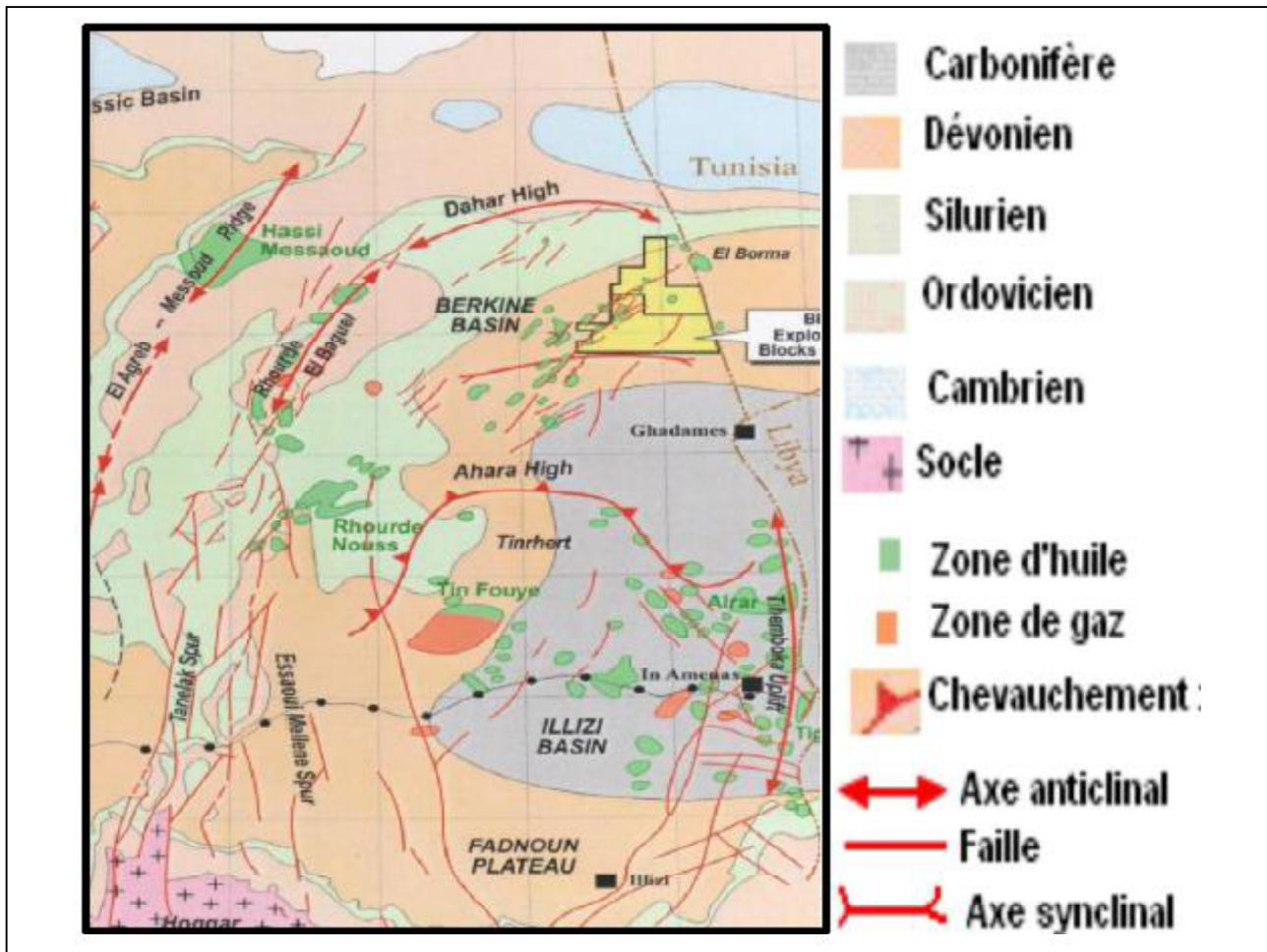


Figure I-02 : éléments structuraux du bassin de Berkine (Sonatrach, 2003, *in* MALLA A, et al, 2016).

#### a) Evolution tectonique du bassin de Berkine :

Le contexte tectonique et structural du bassin de Berkine est analogue à celui de la plateforme saharienne vu qu'il a été affecté par les mêmes processus géodynamiques. Par extrapolation, ce contexte est l'héritage des mouvements antérieurs à sa mise en place ainsi que ceux qui lui sont contemporains. Le bassin de Berkine a été témoin et siège de nombreux événements :

➤ **Le cycle Panafricain :** c'est un événement d'âge précambrien, caractérisé par des accidents subméridiens verticaux dus à une collision entre le Craton Ouest Africain rigide et le Craton Est Africain moins rigide. Ces mouvements sont d'âge cambrien. Cette période est une phase de distension caractérisée par une érosion importante qui a nivelé les structures et les reliefs. Les variations d'épaisseur de ce faciès de part et d'autre de l'accident nord-sud sont visibles au niveau des séries Cambro-ordoviciennes indiquant l'instabilité tectonique accompagnant leurs dépôts.

➤ **Le cycle Calédonien:** c'est un épisode de soulèvement général suivi d'une période d'érosion, de nivellement des structures et de dépôts détritiques. Il a eu lieu à la limite Siluro-dévonienne. Ce cycle comporte également une phase orogénique qui est la phase Taconique. Cette phase est une phase de compression le long des accidents subméridiens nord-sud de la distension précédente, donnant ainsi naissance à l'architecture actuelle du bassin.

Le cycle calédonien comporte également un mouvement distensif représenté par la distension silurienne qui a suivi la fonte des calottes glaciaires ordoviciennes et qui a engendré des dépôts d'argiles noires.

➤ **Le cycle Hercynien** : occupe la totalité du Paléozoïque supérieur (Dévonien moyen-Permien) est caractérisé par une forte érosion globale de ses termes. Il est illustré par de nombreuses phases tectoniques qui ont structuré l'ensemble de la plateforme saharienne ainsi que le bassin de Berkine. Le cycle hercynien comprend la phase dévonienne (Dévonien inférieur) caractérisée par des variations d'épaisseur et de faciès le long des axes structuraux subméridiens qui indiquent une phase extensive. Au Dévonien moyen et supérieur, cette phase se manifeste par une période d'érosion appelée « la discordance frasienne » ou « bretonne ». Cet épisode est également caractérisé par l'arrêt de la sédimentation carbonifère et par des dépôts lagunaires (gypse et argiles rouges). Cette phase tectonique a touché surtout le nord du bassin de Berkine où l'érosion des dépôts du Carbonifère est presque totale. La discordance hercynienne a permis de mettre en contact le Trias et la roche mère silurienne et frasienne (Boudjema, 1987).

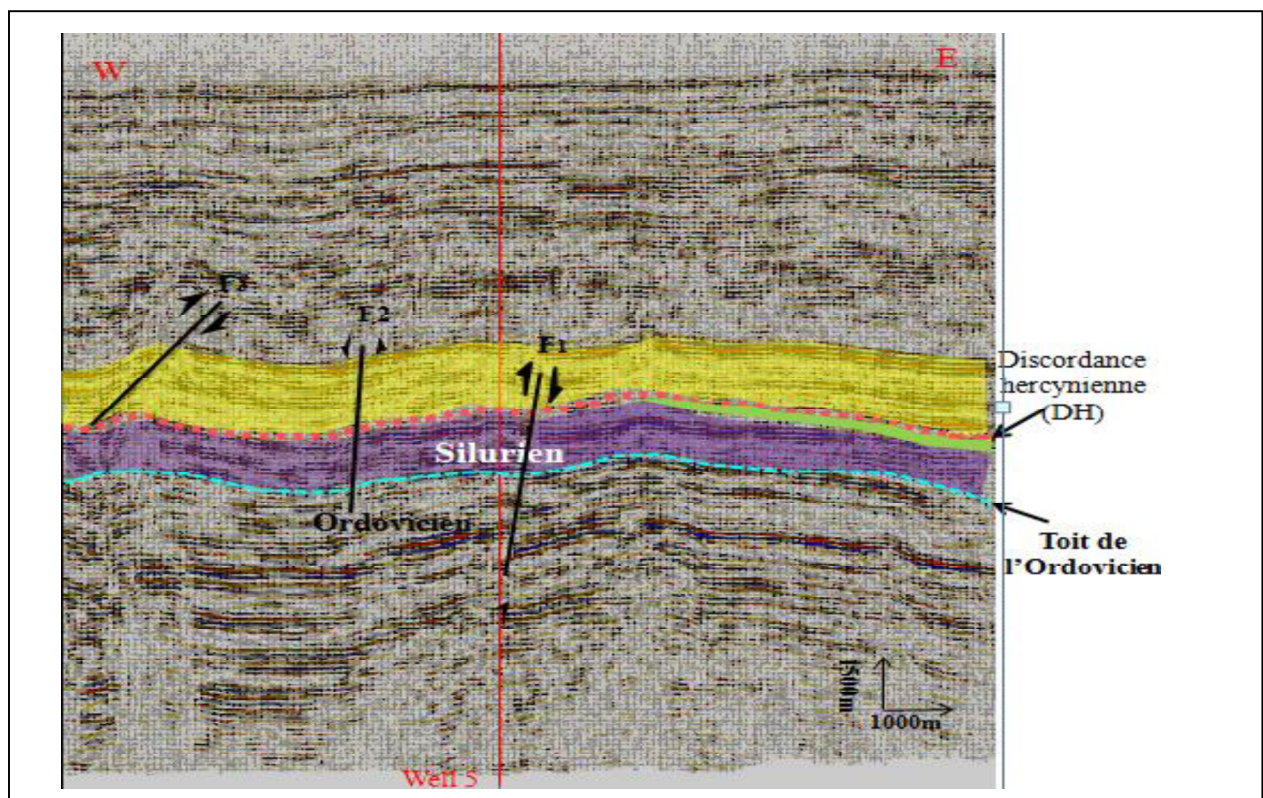


Figure I-03 : profile sismique montrant la discordance hercynienne (SONATRACH).

➤ **Cycle Alpin : Mésozoïque- Cénozoïque**

❖ **Phase Autrichienne (Mésozoïque supérieur « Crétacé »)** : c'est une phase de compression orientée est-ouest qui a causé une inversion structurale des failles normales synsédimentaires créées pendant le Trias et le Lias.

❖ **Phase Pyrénéenne (Cénozoïque inférieur « Paléogène »)** : c'est une phase compressive de direction nord-est/sud-ouest qui a donné naissance à de nombreux anticlinaux visibles sur la morphologie actuelle du bassin.

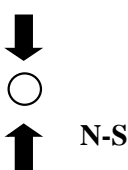
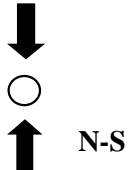
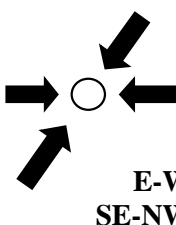

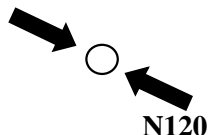
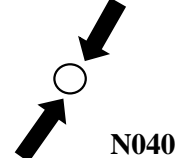

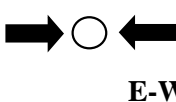
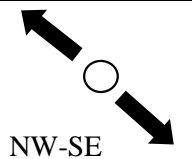
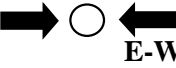
Période max d'activité	Direction de la contrainte	Effet sur le système de failles	Effet sur la sédimentation
Post-villafranchienne (L.ALPIN)	 N-S	Basculement et inversion de blocs. Période final de compression dans le domaine atlasique.	Soulèvement du Hoggar. Basculement du bloc d'El Borma.
MIOCEN	N-S et NW-SE	Episode de compression majeur dans le domaine atlasique.	Sédimentation prédominante de flysh au Nord.
EOCENE (PYRENEENNE)	 N-S	Début de chevauchement au Nord résultant de la convergence de la plaque européenne avec la plaque africaine. Décrochement de la faille Sud Atlasique.	
CRETACE INFERIEUR (AUTRICHIENNE)	 E-W SE-NW	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. (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.
CARBONIFER SUP à PERMIEN (HERCYNIE PRINCIPALE).	 N120	Inversion ou décrochement le long des failles NE-SW (résultant 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.
CALIDONNIENNE Siluro-Dévonienne	 E-W	Mouvement inverse le long des failles N-S	
TACONIC (Caradoc-Achegilien)	 E-W	Mouvement inverse le long des failles N-S résultant. Formation de structures N-S	Soulevement du bouclier Réguibat et Touareg. 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 NE-SW.	Les variations de l'épaisseur sont contrôlées par les failles. Basculement NW de la plateforme saharienne. Volcanisme
PANAFRICAINE	 E-W	Tectonique cassante créant des failles et des fractures conjuguées N-S.	Compartiment du craton du Sahara central.

Figure I-04 : les phases tectoniques ayant affectées le bassin de Berkine ainsi que les environnements de dépôt engendrés (Boudjamaa, 1987).

## 5. Cadre lithostratigraphique du bassin de Berkine :

La colonne stratigraphique du bassin de Berkine est représentée par une série complète de formations lithologiques, on y retrouve de bas en haut :

### ➤ Le socle :

Le substratum du bassin de Berkine est formé de roches précambriennes sur lesquelles s'est déposée la couverture sédimentaire qui comporte les blocs paléozoïque et méso-cénozoïque (Boudjema, 1987).

### ➤ Le bloc Cambro-Ordovicien :

Le Cambrien est composé d'une sédimentation fluvatile mal définie pour absence de marqueurs d'une datation relative à faune caractéristique. L'Ordovicien est incarné par une alternance de grès et d'argiles, subdivisé en sept (7) formations distinctes.

L'intervalle Cambro-Ordovicien est constitué de deux ensembles lithologiques : le premier est l'ensemble gréseux à grès isométriques bien classés, glauconieux riches en tigillites et en Lingulida. Le deuxième ensemble est caractérisé par la présence des palynomorphes tels que les spores ainsi que la microfaune retrouvés indiquent un âge Trémadocien et suggèrent une sédimentation d'abord littorale puis davantage marine en milieu calme et peu profond. Cet ensemble est constitué d'une alternance d'argiles et de grès.

### ➤ Le Silurien :

Au Silurien inférieur, la moitié inférieure du Llandovérien au Wenlockien, est composée d'argiles noires fossilifères connues sous le nom d' « Argiles à Graptolites » définissant les termes du Silurien argileux dont l'extension sur le nord-ouest du craton Nord-africain est considérable. Ce faciès, avec ses faunes pélagiques, traduit une transgression majeure glacio-eustatique généralisée qui atteindra même les régions situées au sud du Hoggar, induite par la fonte de la calotte glaciaire polaire de l'Ordovicien terminal. La moitié supérieure du Silurien est marquée par un retour de la sédimentation détritique provenant du sud-est : c'est le Silurien argilo-gréseux.

En surface cette sédimentation argilo-gréseuse constitue la formation d'Atafaitafa autrefois désignée par les termes « zone de transition » ou « zone de passage ». La fin du Silurien est marquée par des mouvements calédoniens qui conduisent à l'émersion de vastes régions dont l'érosion alimentera les puissantes séries détritiques du Dévonien inférieur. Cette période est caractérisée par une sédimentation terrigène, fine, argileuse en milieu marin d'une épaisseur moyenne de 600 m. cette période est composée essentiellement par des argiles noires fossilifères sur lesquelles reposent des grès argileux.

### ➤ Le Dévonien :

Il représente le deuxième épandage fluvatile du Paléozoïque inférieur de la plate-forme saharienne. Les faciès dévoniens progradèrent du sud vers le nord et sont mis en place par un réseau fluvatile méandrique. A l'affleurement, le Dévonien est représenté par le groupe des grès des Tassili Externes (formation de Tifernine, du Tamelrik et de l'Oued Samène) (Dubois et al. 1967).

## ➤ **Le Carbonifère :**

Il représente le Paléozoïque terminal dans les domaines occidentaux, il est moins développé en comparaison aux domaines orientaux. L'épaisseur des formations du Carbonifère est de 900 m, ces formations sont constituées de grès, d'argiles et de siltstones avec des passées carbonatées.

## ➤ **Le Mésozoïque :**

Les formations mésozoïques sont discordantes et de nature transgressive sur les formations paléozoïques en cause des mouvements hercyniens antérieurs à leurs dépôts. Les dépôts mésozoïques du Sahara oriental, dont l'épaisseur avoisine les 1000 m, sont essentiellement évaporitiques, argilo-sableux au Trias ainsi qu'au Jurassique et au Crétacé et argilo-gréseux anhydritiques pendant le Cénomano-Turonien et le Sénonien.

## ➤ **Le Cénozoïque :**

Le Cénozoïque est marqué par la reprise d'une sédimentation détritique et continentale (terrigène) qui annonce une régression généralisée sur toute la plate-forme saharienne y compris le bassin de Berkine.

## **Conclusion :**

Notre travail s'intéresse à la formation siluro-dévonienne de la région de Rhourde el Hamra dont la particularité lithologique est bien visible. La période du passage siluro-dévonienne est caractérisée par une sédimentation argileuses à passé gréseux (argilo-gréseuses), ce qui rend difficile l'étude de la formation siluro-dévonienne.

	Age	Formation	Lithologie		Environnement de dépôt		
Mésozoïque	Q	Quaternaire		Grès	Alternance		
	TERT	Miocène-Pliocène		Grès, Dolomie/Calcaire	Marin - Lagunaire		
	Crétacé	Santonien	Carbonates		Dolomie, Argile	Alternance Marin - Lagunaire	
			Anhydrite		Anhydrite, Dolomie		
			Scl		Sel		
		Turonien		Calcaire, Argile			
		Cenomanien		Grès, Lignite			
		Albien		Dolomie			
		Aptien		Grès, Argiles, Lignites			
		Barremien		Argiles, Grès, Dolomie			
	Néocomien		Argiles, Grès, Anhydrite, Dolomie				
	Jurassique	Malm			Argiles	Lagunaire Continental	
					Argiles		
		Dogger	Argileux		Argiles, Calcaire		Lagunaire Continental
			Lagunaire		Anhydrite, Argiles		
		Lias	Anhydrite		Sel		Lagunaire Continental
			Scl		Calcaire		
			Horion B		Anhydrite, Argiles		
			S1+S2		Sel		
			S3		Argiles, Anhydrite		
				Scl			
Trias	D2		Argiles, Silt, Anhydrites, Dolomie	Discontinuité Hercynienne			
	S3		Grès, Silt, Argiles rouges				
	ARGCARD TAGS		Argiles, Grès				
	TAG1		Grès, Argiles				
Paléozoïque	Carbonifère	Peneplanation		Grès, Silt, Argiles	Fluvio-lacustre marin-continentale peu profond		
		Viséen	RKF	Grès, Argiles			
	Dévonien	Strunien		Grès, Silt, Argiles	Marin profond		
		Famménien		Argiles			
		Frasnien		Argiles			
		Givétien-Eifelien		Argiles			
		Emsien		Grès, Argiles			
		Siegenien		Grès, Argiles			
		Gédinien		Grès Massif		Marin peu Profond	
		Silurien		Argiles			
	Cambro-Ordovicien	Ordovicien		Grès, Argiles	Deltaïque		
		Cambrien		Grès, Argiles			
				Grès			

Figure I-05 : colonne stratigraphique du bassin de Berkine (Boudjema, 1987).

## 6. Zone d'étude :

### a) Situation géographique :

La région de Rhourde Hamra fait partie de la limite Ouest du bassin de Berkine. Cette zone présente une géologie similaire à celle du bassin de Berkine et analogue à la géologie de la plateforme saharienne; notamment au cours du Silurien ; étant affecté par les mêmes processus sédimentologiques et structuraux. La région de Rhourde Hamra s'inscrit dans un ensemble de compartiments qui constituent la partie ouest du bassin Berkine, situé dans la partie orientale du Grand Sahara algérien.

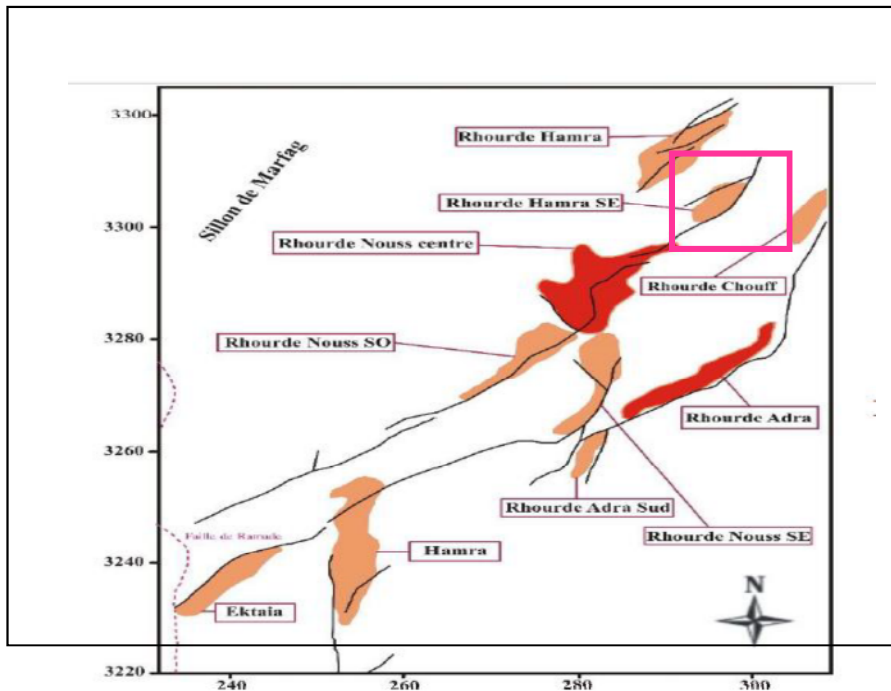


Figure I-06 : position géographique de la région Rhourde el Hamra (Sonatrach, 2003).

### b) Cadre géologique de la zone d'étude :

En analogie avec le reste du bassin de Berkine, la région de Rhourde Hamra se situe dans la partie sud-est de la province triasique. Cette dernière a été le siège d'une activité tectonique polyphasée, qui a généré une évolution structurale similaire à celle qui a affecté et structuré le bassin Berkine, selon les directions Nord-est/Sud-ouest, Est-Ouest et Nord-Sud. La couverture sédimentaire caractérisant cette région est représentée par une série presque complète comportant le Paléozoïque, le Mésozoïque et le Cénozoïque, avec l'absence notable du bloc dévonien dans la série paléozoïque.

## 7. Le système pétrolier :

La formation d'un gisement pétrolier est un enchaînement de processus sédimentaires, géochimiques et tectoniques s'étalant sur plusieurs millions d'années. Bien qu'il existe de nombreux types de gisements, il faut réunir quatre (4) conditions pour qu'un système pétrolier conventionnel se développe dans un bassin sédimentaire (Tissot et Welte, 1984) :

- Disponibilité de la roche mère dont la matière organique s'est transformée en HC sous l'effet d'une augmentation progressive de la pression/température et qui a expulsé ses HC ;
- Disponibilité des conduits (roches, failles, réseaux fracturés) suffisamment perméable pour permettre la migration des HC ;
- Disponibilité d'une roche réservoir, c'est-à-dire une roche poreuse et perméable se trouvant sur le chemin de la migration des HC ;
- Disponibilité d'un piège correspondant à un type d'architecture des couches géologiques (exemple d'un anticlinal) et incluant une roche couverture empêchant la fuite des fluides (figure I-07).

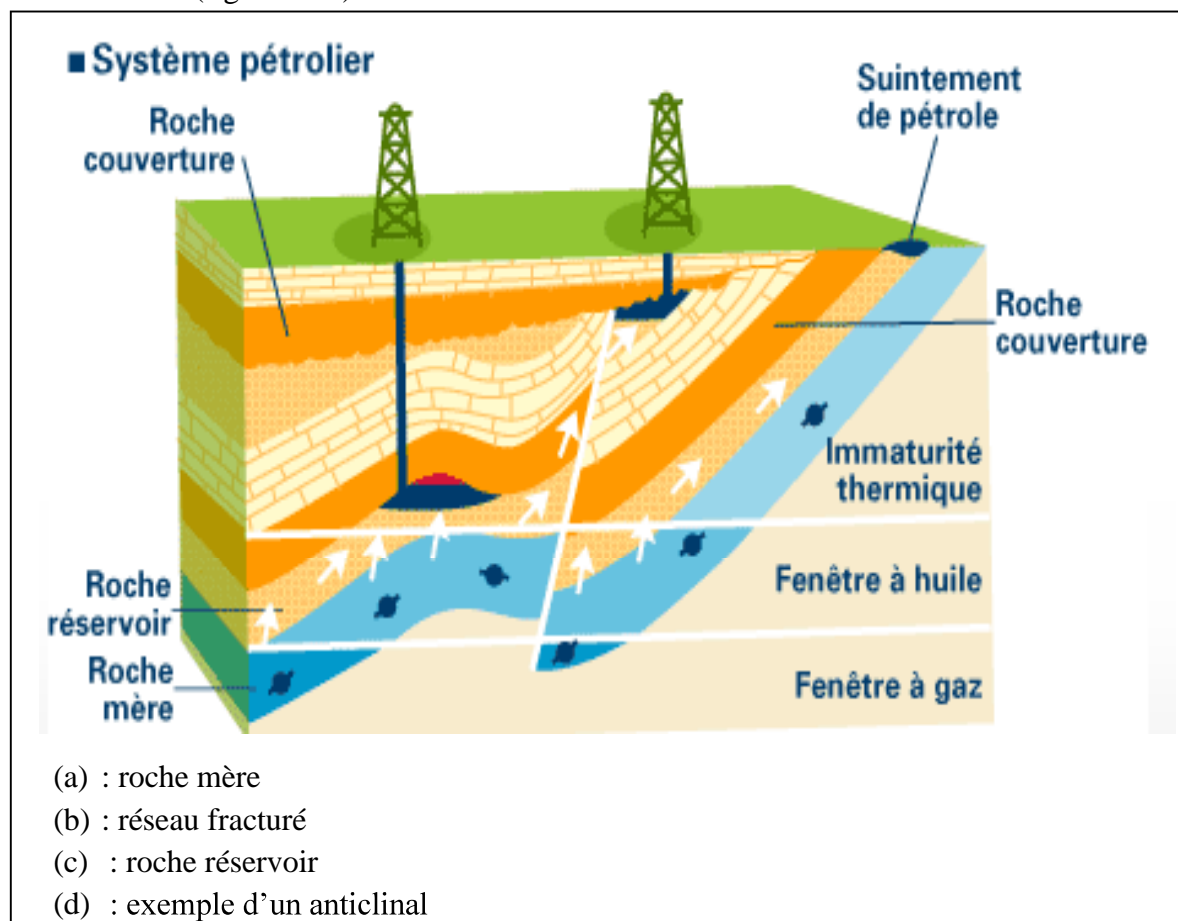


Figure I-07 : représentation de différents types de pièges (FOURNIER. F, 2011)

## a) La roche mère :

La roche-mère désigne la roche où se forment des hydrocarbures. Ceux-là sont issus de la transformation des sédiments riches en matière organique qui se déposent généralement sur les fonds océaniques. A l'échelle des temps géologiques, ces sédiments marins s'enfoncent et se solidifient tandis que la matière organique (sous l'effet de l'enfouissement et de la haute température) se transforme en hydrocarbures liquides et gazeux. Généralement, une roche mère de pétrole se dépose dans un bassin anoxique dépourvue d'oxygène, ce qui explique les conditions favorables à la préservation de la matière organique dans les sédiments.

Les deux roches mères principales reconnues sur l'ensemble du bassin correspondent au développement des séries argileuses noires, riches en matière organique, d'origine marine,

marquant le début de la période de transgression lors du Silurien et du Frasnien. Leur extension dans le bassin de Berkine dépend du degré d'érosion durant la phase hercynienne.

➤ **Roche mère silurienne :**

Les argiles noires à graptolites du Silurien basal sont la principale source d'alimentation en hydrocarbures des réservoirs au niveau du bassin de Berkine.

La richesse en Carbone organique total (COT) du Silurien varie en moyen entre 2% à 10%. Cette roche mère est de type marine avec des influences continentales, qui a subi un enfouissement au Carbonifère (Tournaisien) qu'il l'a porté dans les conditions de fenêtre à huile avant la phase hercynienne précoce et qui s'est clôturé par la génération d'huile. Cette roche a connu une deuxième phase de maturation au Crétacé qui a généré du gaz. Cette roche a expulsé ses hydrocarbures vers les réservoirs de l'Ordovicien et du Trias, (WEC, 2007).

Roche mère du bassin de Berkine	Epaisseur moyenne	COT
Les argiles radioactives du Silurien	30-40 m	3.5-17%
Les argiles radioactives du Frasnien	10-30 m	2.5-6.6%

Tableau I-01 : tableau comparatif des épaisseurs moyenne des argiles radioactives du bassin de Berkine.

**b) La roche-réservoir :**

La roche-réservoir se définit comme étant une roche de stockage où les hydrocarbures s'accumulent. Sous l'effet de la pression, les hydrocarbures de la roche-mère migrent vers la surface à travers les différentes structures de piégeage (failles, plis et diapir). Au cours de cette migration, les hydrocarbures peuvent rencontrer une couche imperméable et se retrouvent piégés en dessous de ce « toit » (appelé roche-couverture), au sein d'une roche poreuse et perméable qui est la roche-réservoir. Celle-ci est susceptible de concentrer de grandes quantités d'hydrocarbures, aboutissant à des gisements de pétrole et/ou de gaz conventionnels.

Le Paléozoïque comprend des réservoirs bien développés et régulièrement distribués dans tous les bassins du Cambrien, de l'Ordovicien, du Silurien, du Dévonien et du Carbonifère.

- **Silurien :** Il est présent dans sa partie supérieure des zones à potentiel réservoir où les épaisseurs souvent importantes (350 m) en font un bon objectif pétrolier. La séquence inférieure, essentiellement argileuse, est connue sous le nom des "Argiles du Gothlandien".

**c) La roche couverture :**

Une roche couverture est une roche imperméable. Son rôle principal est la préservation des hydrocarbures accumulés dans les roches réservoirs. La roche couverture de la plateforme saharienne comprend un certain nombre de niveaux du Paléozoïque au Mésozoïque, soit l'Ordovicien (inférieure, moyen et supérieur), Silurien, Dévonien, le Carbonifère, le Trias et le Lias.

**d) Les pièges pétroliers :**

Les pièges pétroliers correspondent à différentes structures géologiques qui emmagasinent les hydrocarbures, on distingue trois (3) types :

Les pièges structuraux : il s'agit de plis (plis anticlinaux) et de failles formées lors de différentes phase tectonique (figure I-08).

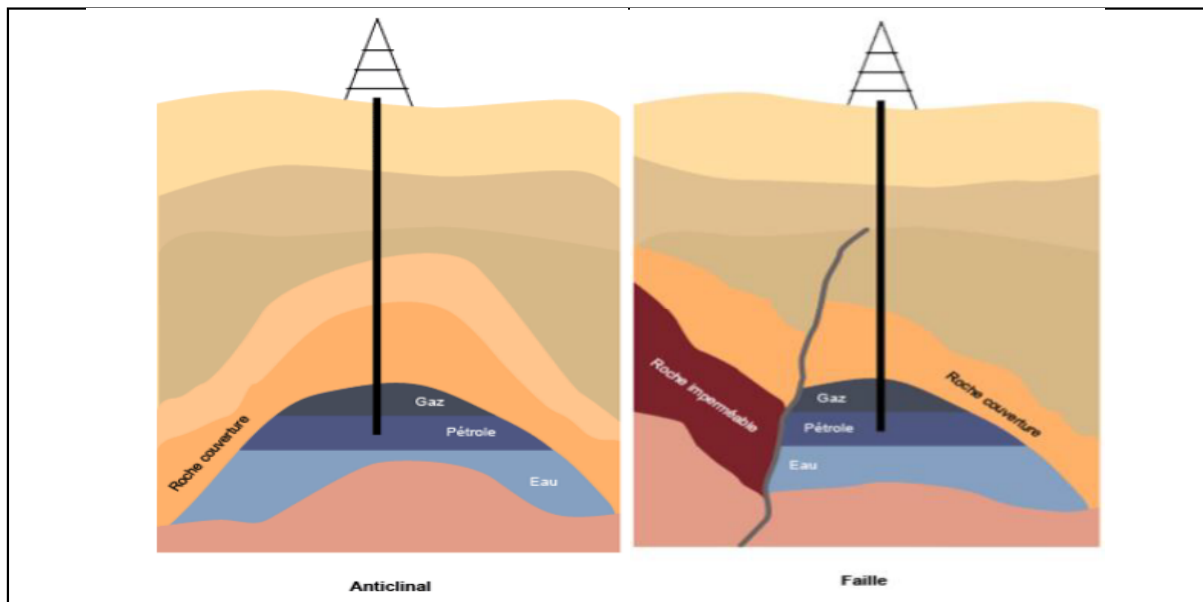


Figure I-08 : Pièges structuraux (FOURNIER. F, 2011).

➤ **Les pièges stratigraphiques** : Se trouvent dans tout les bassins, certain d’eux sont développés beaucoup plus sur les anciennes shoreline, et résultent de changements lithologiques.

Les réservoirs sont recouverts par des couches imperméables.

Le cas de piège sous discordance angulaire : le réservoir est tronqué et non conformément recouvert par des couches couvertures (impermeables) (figure I-09).

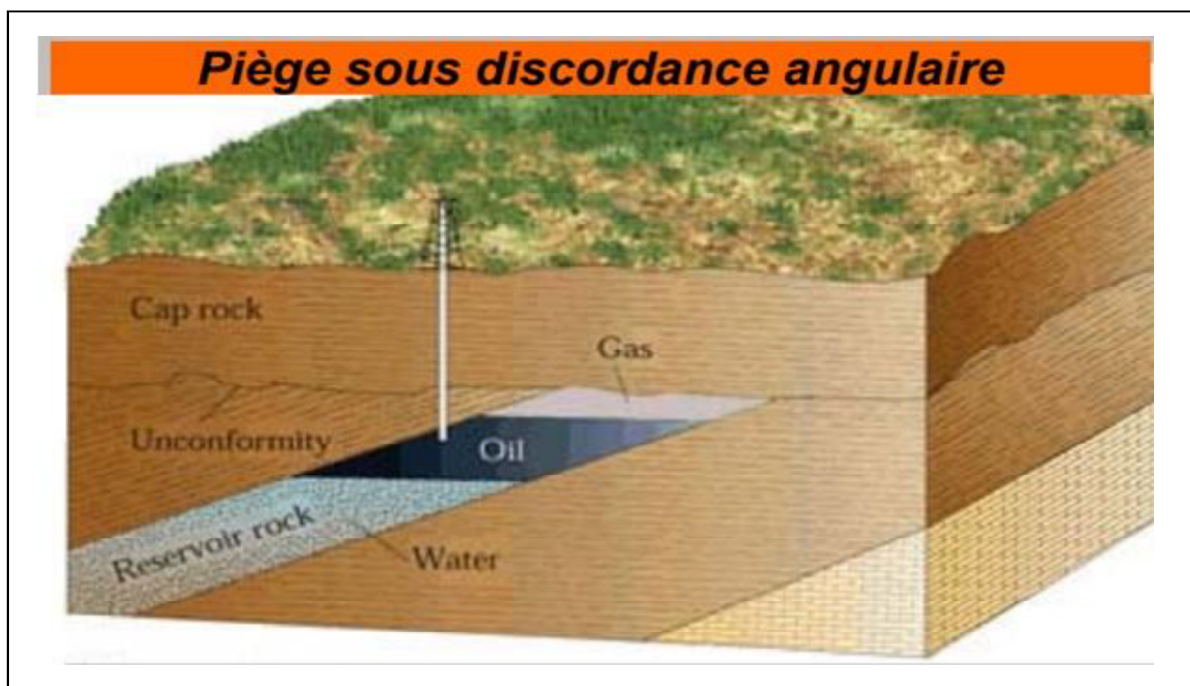


Figure I-09 : piège stratigraphique (FOURNIER. F, 2011).

Les pièges sédimentaires et/ou pièges mixtes : combinant les structures géologiques et lithologiques, comme les diapirs de sel (figure I-10).

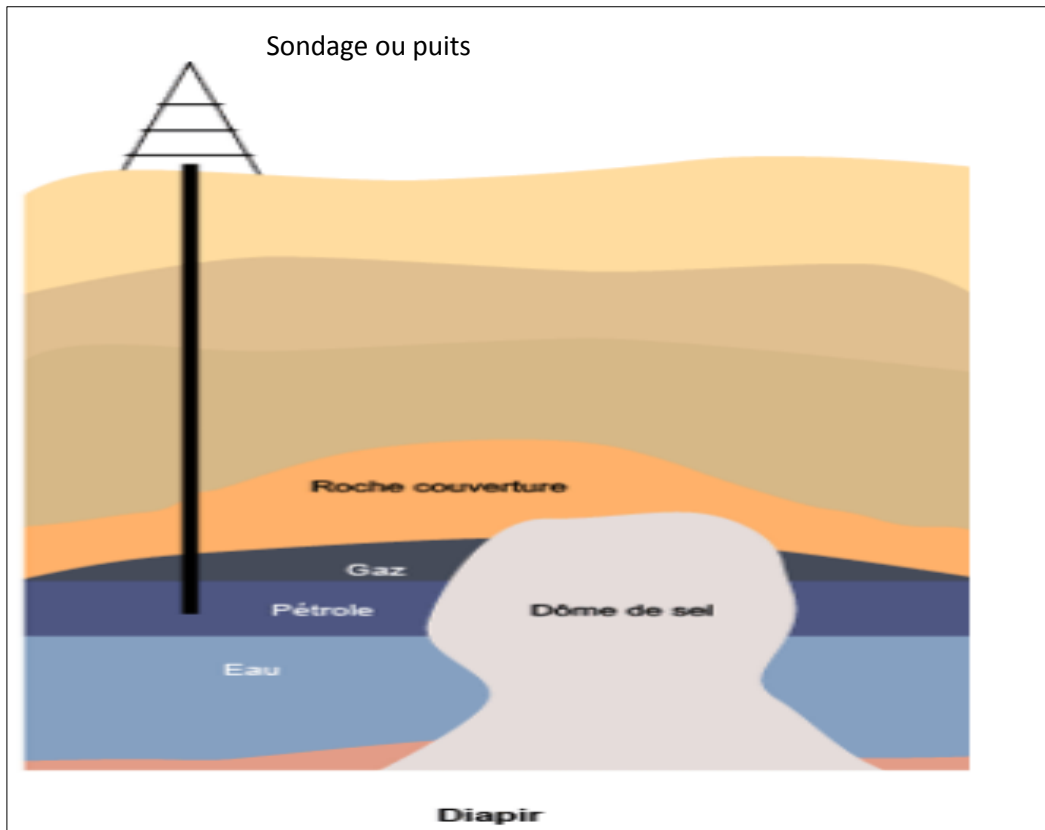


Figure I-10: piège sédimentaire (FOURNIER. F, 2011)

# Chapitre II

# Méthodes d'études

## Introduction :

L'étude entreprise sur les formations de la région de Rhourde el Hamra du bassin de Berkine requiert l'application de nombreuses méthodes d'étude et d'analyse. Ces méthodes sont d'ordre sédimentologique, telles que la description des carottes, l'analyse séquentielle et la stratigraphie séquentielle ; et d'ordre géophysique telles les méthodes diagraphiques (les diagraphies du Gamma Ray) et les méthodes sismiques.

L'utilisation des méthodes sédimentologiques et géophysiques consiste à la combinaison des différentes méthodes citées en haut afin d'analyser les formations qui constituent le réservoir silurien, puis la détermination des différents mécanismes de dépôt ayant contribué à la mise en place de ces formations, et enfin la reconstitution paléogéographique des environnements de dépôt caractérisant la région de Rhourde el Hamra.

Les méthodes sédimentologiques s'intéressent à l'interprétation des carottes et la détermination des différents milieux de dépôt en appliquant les principes de l'analyse séquentielle classique. Les concepts de la stratigraphie séquentielle et les méthodes diagraphiques sont utilisés pour la mise en évidence des différents mécanismes de dépôt, la nature de ces dépôts et retracer l'évolution spatiotemporelle des milieux de dépôt ainsi que les facteurs qui interagissent à cette dynamique. Enfin, les méthodes sismiques se résument selon la tâche considérée, à la confirmation des différents mouvements tectoniques ayant structurés la région d'étude et suivre l'effet érosif et l'évolution de la discordance hercynienne notamment son impacte sur les formations réservoir.

## I. Sédimentologie :

### 1. L'ensemble de la plaine côtière :

Le long des côtes où l'apport sédimentaire des rivières est faible il ne se forme pas de deltas, la sédimentation est dominée par l'influence des marées et/ou des courants côtiers générés par les vagues. Les différents environnements sont étagés en fonction du taux d'exposition du sédiment dû au balancement des marées et selon l'énergie du milieu. Il s'agit d'un ensemble qui prend place entre les dépôts continentaux et les dépôts marins. Il comporte tous les dépôts soumis à l'influence marine. Cet ensemble recouvre les faciès continentaux affectés par une forte influence marine entre la ligne de base des marées basses et la ligne de base des marées hautes.

Ces dépôts sont mis en place par une sédimentation mixte par deux principaux mécanismes :

- **Par traction :** ceci se produit soit, par l'action des courants de chenaux distributaires et/ou tidaux, soit, par les courants des marées.
- **Par décantation :** le dépôt des particules fines en suspension lors de l'absence des courants pendant les marées hautes.

L'influence tidale est bien représentée et se matérialise par des dépôts argileux-gréseux (en gris) sous-forme d'alternances avec des structures sédimentaires telles que les « rides de courants bidirectionnelles ».

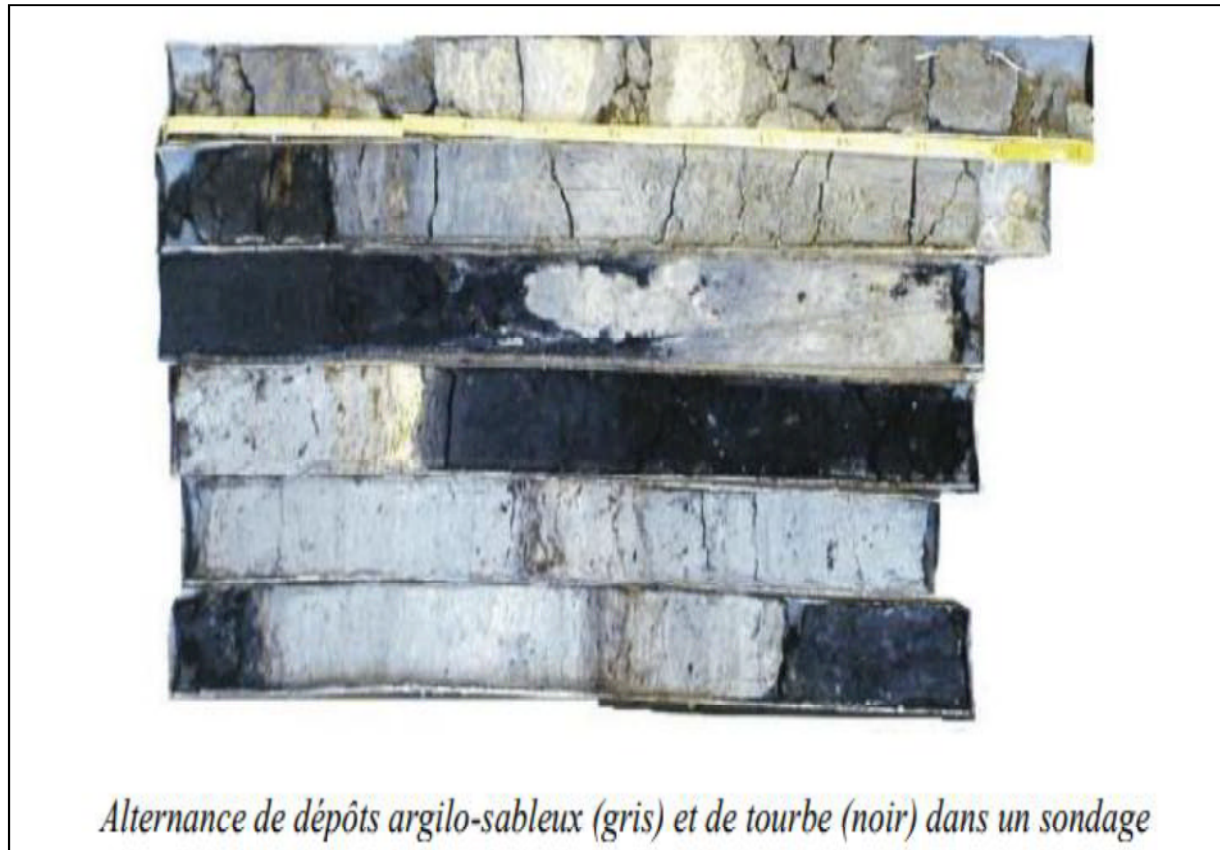


Figure II-01 : exemple d'alternance d'argile et de grès (Boulvain, F., 2017).

Ce contexte est réparti en plusieurs sous-environnements qui sont :

**a) Les replats tidaux ou « Tidal flat » :** ou "slikke", zones à très faible relief. La partie supérieure de cette zone voit le dépôt de boues en environnement relativement calme ("mud flat"); la partie inférieure, soumise à l'action de courants plus forts, est caractérisée par des dépôts sableux ("sand flat"). La différence réside dans le taux grès sur argile (grès/argile). Ce taux est assez élevé pour les « sand flat » et moins élevé en ce qui concerne les « mud flats ».

Ce domaine est caractérisé par des dépôts hétérolithiques ;(composés de plusieurs fragments de roches (hétérogéniques)) ; à « flaser-bedding », des « wavy-bedding » et des « lenticular-bedding » qui sont des structures qui se forment par dépôt de boue dans les espaces entre les rides de courant. Si les courants de flux et de reflux ne sont pas parallèles, des rides d'interférence peuvent se former; si les vitesses des deux courants sont différentes, deux systèmes de rides de longueur d'onde différentes se marquent.

**b) Les dépôts des chenaux distributaires et tidaux :** ces chenaux serpentent entre des zones plates et des replats de marée, formés quand ils débordent et envahissent la plaine. Les chenaux formés par la marée sont souvent très nombreux et plus larges que profonds, contrairement aux distributaires des deltas dominés par les courants ou les vagues.

Dans ces chenaux on retrouve plusieurs structures sédimentaires tidales (rides bidirectionnelles, en arêtes de poissons, etc.) associées à des rides de courant. Il s'agit de dépôts de sable fin à très fin, soulignés par des débris argileux entrecoupés par des passages à rides et des faciès hétérolithiques.

**c) Les dépôts lagunaires et de baies :** liés aux dernières variations glacio-eustatiques (développement des calottes glaciaires, Nichols et Allen 1981).

Caractérisés par des dépôts de faible énergie et une sédimentation lente deux fois plus épaisse que la sédimentation marine. Les sédiments correspondent à des silts argileux intensément bioturbés.

**d) Tableau comparatif du milieu côtier et du milieu tidal :**

La dynamique des courants varie d'un milieu à un autre, ce qui implique la diversification des milieux de dépôt, régis par plusieurs facteurs de dépôt et résultent à la mise en place de différent type de dépôts sédimentaires, selon la proximité vis-à-vis du rivage (profond à moins profond) (tableau II-01).

Environnement	Côtier	Tidal
Sédimentations et granulométries	Sédiments granulaires	Dépôts argilo-gréseux
Morphologie	Barres sableuses	Barre tidal / Dunes
Structures sédimentaires	Rides de plages, rides de courants (ripples marks) Stratification en flaser (flaser-bedding)	Rides de courant bidirectionnelles stratifications obliques
Energie	Influence de marée, houle et tempête.	Marée forte

Tableau II-01 : tableau comparatif des milieux (côtier et tidal).

**2. La sédimentation littorale :** Le littoral comprend la ligne de côte et une bande immergée de largeur variable dont la profondeur est inférieure à 200 mètres et qui correspond à la plate-forme littorale. La ligne de côte comprend les plages, les falaises et la partie du continent soumise plus ou moins directement à l'action de la mer: dunes littorales (figure II-02), marais côtiers, estuaires, etc. La nature de la sédimentation littorale, ou néritique, dépend essentiellement des apports détritiques du continent et de la productivité biologique, ces deux facteurs dépendant eux-mêmes de la latitude et du climat. Dans les régions tempérées et froides, les matériaux détritiques dominant; leur composition est surtout siliceuse: on parle de sédimentation silico-clastique. Dans les régions chaudes, nombreuse sont les organismes qui fixent le carbonate de calcium; à leur mort, les éléments carbonatés s'accablent au point de constituer la matière principale du sédiment: on parle de **sédimentation littorale carbonatée**.

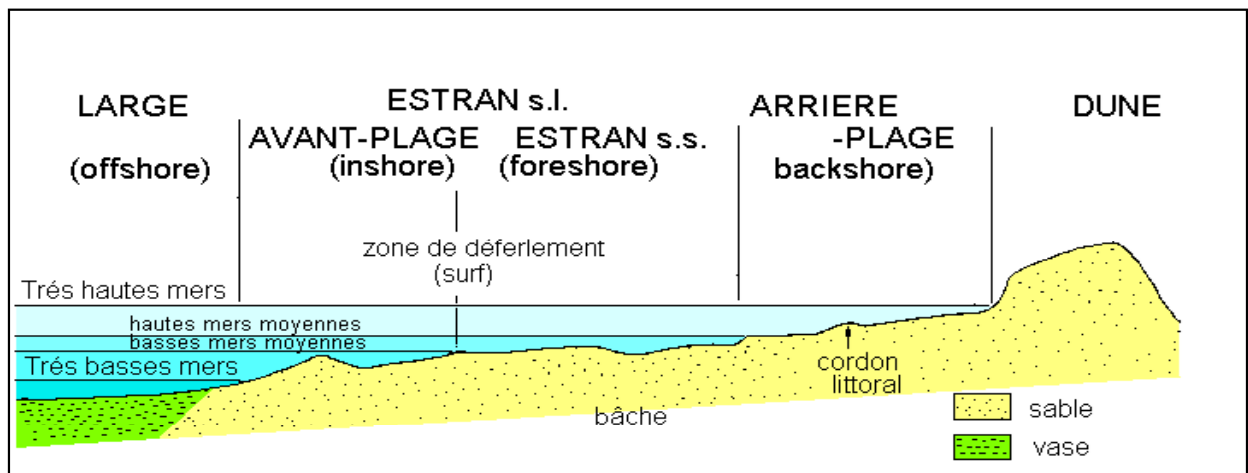


Figure II-02 : zonation des milieux littoraux (Jacques Beauchamp, 2005).

Il existe différentes subdivisions verticales et horizontales des environnements marins basées sur plusieurs critères.

La topographie des fonds marins (fig. II-03) permet de différencier :

- le **domaine marin profond** situé au-delà de la bordure de plate-forme (figure II-03) et englobant le talus continental, le bassin et les rides médio-océaniques ; le domaine pélagique associé est qualifié de zone pélagique océanique ;
- le **domaine marin peu profond** (figure II-03) correspondant au plateau continental (ou plate-forme) ; le domaine pélagique néritique constitue la masse d'eau sus-jacente.

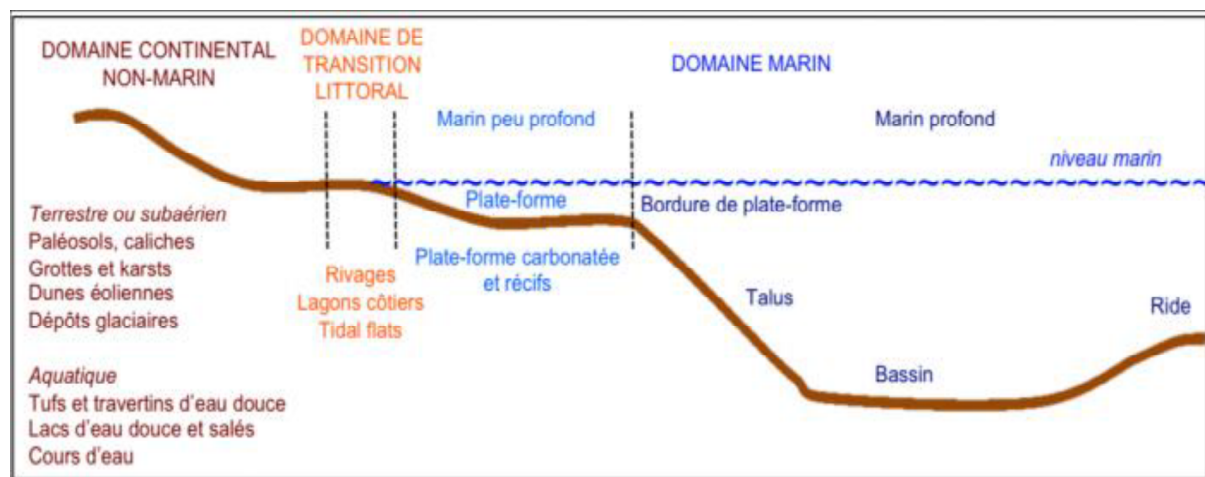


Figure II-03 : Les environnements marins de dépôts (d'après. Flügel 2004)

Cette répartition des interfaces propose une subdivision bathymétrique (en fonction de la profondeur) des environnements marins utilisés en sédimentologie comme :

- a) **La zone supratidale** : est la zone des embruns située au-dessus de la limite supérieure des marées (limite de haute mer). Cette zone n'est envahie par la mer qu'à l'occasion des marées de vives eaux ou des tempêtes. Selon le climat, dans cette zone se

développent des marais côtiers à salinité variable. En climat aride ou semi-aride, des évaporites peuvent se former dans ces marais sursalés appelés *sebkhas*. La rencontre d'eaux douces d'origine continentale et d'eaux salées d'origine marine fait également de la zone supratidale, un milieu favorable à la diagénèse précoce. L'extension horizontale de cette zone dépend du relief et de la déclivité de la côte (paléotopographie) : cet espace correspond à l'**arrière-plage** (backshore).

**b) Le domaine intertidal** : est située dans la zone de balancement des marées. Cette zone correspond à un niveau d'énergie moyen à faible. Sur la plage s'accumule un sable bioclastique formé de débris de squelettes et de coquilles calcaires. Des débris de granulométrie moyenne à grossière, ainsi que des oolithes qui se déposent dans les chenaux de marée. cette zone présente des conditions de milieux très variées : eaux saumâtres ou sursalées entrecoupées de criques subtidales.

L'alternance émergence-immersion impose également, aux organismes vivants spécialement adaptés, des conditions de vie très difficiles : variations de température, de salinité, de pH, d'insolation, etc.

**c) Le domaine subtidal** : ou infratidal, s'étend depuis la limite inférieure de basse mer jusqu'à la limite inférieure de la zone photique (limite de pénétration de la lumière), ce qui correspond généralement à la bordure et la rupture de la pente du plateau continental, soit une profondeur comprise entre quelques dizaines de mètres et une ou deux centaines de mètres (10m à 200m). Cette zone regroupe aussi bien des milieux de haute énergie (environnements peu profonds subissant l'action des vagues et des courants) que des milieux calmes. Des subdivisions plus fines de la zone subtidal reposent à la fois sur la distribution et la composition des communautés d'organismes benthiques et sur la limite d'action des vagues.

Ainsi le milieu situé entre la limite de basse mer et la limite inférieure d'action des vagues de beau temps et soumis à une agitation permanente des eaux, constitue l'**avant-plage** ou **shoreface**.

Plus au large et plus profonde, la zone située en-dessous de la limite inférieure de l'action des vagues de beau temps et au-dessus de la limite inférieure d'action des vagues de tempêtes définit l'**offshore supérieur**.

L'**offshore inférieur** est le domaine situé sous la limite inférieure d'action des vagues de tempêtes et la limite de la zone photique ; il est le siège d'une sédimentation en eaux calmes. Lorsqu'une barrière ou un vaste lagon protège une partie de la plate-forme des vagues du large, les zones supratidales, intertidales et subtidales peu profondes deviennent le siège d'une sédimentation en eaux calmes à l'origine des dépôts particuliers formés sous l'influence des courants de marées (tidal flats). Cette vaste zone est alors appelée **zone péritidale**.

En dessous de la zone subtidal et de la limite de la zone photique débute la zone bathyale jusqu'au pied du talus continental. La zone abyssale correspond aux profondeurs des plaines éponymes. La zone hadale débute aux alentours de 5500 mètres de profondeur et correspond aux fosses océaniques.

### 3. Ensemble marin ouvert :

- a) **Le Shoreface** : la partie supérieure de la cote, désigne la partie du fond océanique qui est assez peu profonde pour être agitée par l'action des vagues. Il correspond à une sédimentation de grès fin à stratifications planaires, de rides de vagues et des structures ondulées avec la présence de passées d'argiles micacées. Cette zone est suivie par un domaine qui réfère à la portion du fond océanique qui est sous le niveau quotidien des vagues. Ces dépôts sont caractérisés par des faciès hétérolithiques accompagnés de structures en « lenticular-bedding ». La nature de ces dépôts est gréseuse de granulométrie fine traversée par des niveaux argileux-silteux, ainsi que des structures de tempestites : les HCS (Hummocky Cross Stratifications) vu la position de ce domaine par rapport au niveau moyen des vagues.
- b) **L'Offshore** : littéralement « en dehors des côtes » ou « vers le large ». L'offshore et particulièrement la marge du plateau continentale se caractérise par l'empilement des sédiments à particules fines, des boues et des sables très fins. Les dépôts qui s'y déposent sont de nature argileuse-silteuse noire, riches en bioclastes de bivalves, laminées et lithifiées avec quelques lentilles gréseuses. L'autre partie de la charge sédimentaire du littoral ; soient les sédiments les plus grossiers ; sables et graviers est transportée vers le talus ou à la base du glacis continental par divers mécanismes : les glissements de masse, les courants de turbidité ou par simple reptation.

## II. Concepts de stratigraphie séquentielle :

La stratigraphie séquentielle est une méthodologie qui procure un cadre aux éléments de tout environnement dépositaire, facilitant ainsi la reconstitution paléogéographique des environnements (les paléoenvironnements) et la prédiction des faciès lithologique.

Les modèles d'empilements stratigraphiques permettent de déterminer l'ordre dans lequel les strates se sont établies (la chronologie) et expliquent les relations géométriques et structurales intrinsèques de ces strates (disposition spatiale). En mettant en relation ces deux facteurs (espace et chronologie), la stratigraphie séquentielle permet de remonter à la disposition spatiotemporelle des empilements sédimentaires. L'aspect stratigraphique séquentiel procure également un contexte d'interprétation l'évolutif spatiotemporel des systèmes dépositionnels. Cette analyse est améliorée par l'intégration de des processus sédimentologiques muni d'une compréhension des géométries ainsi que des échelles des différents corps sédimentaires. La stratigraphie séquentielle s'appuie sur trois (3) Concepts primordiaux qui sont « la séquence, les cortèges sédimentaires (systems tracts) et la paraséquence ». La définition de ces unités est indépendante des échelles spatiotemporelles ainsi que des mécanismes de formation. Le principal outil utilisé dans l'analyse de la stratigraphie séquentielle est le motif d'empilement des strates ainsi que les surfaces clefs reliant les successions définies par différents motifs d'empilement stratigraphiques.

## 1. Les concepts de base de la stratigraphie séquentielle :

### a) Espace d'accommodation:

C'est l'intervalle disponible à la sédimentation, compris entre le fond du bassin et la surface de l'eau (figure II-04). Cet espace varie selon 3 phénomènes régis par le temps.

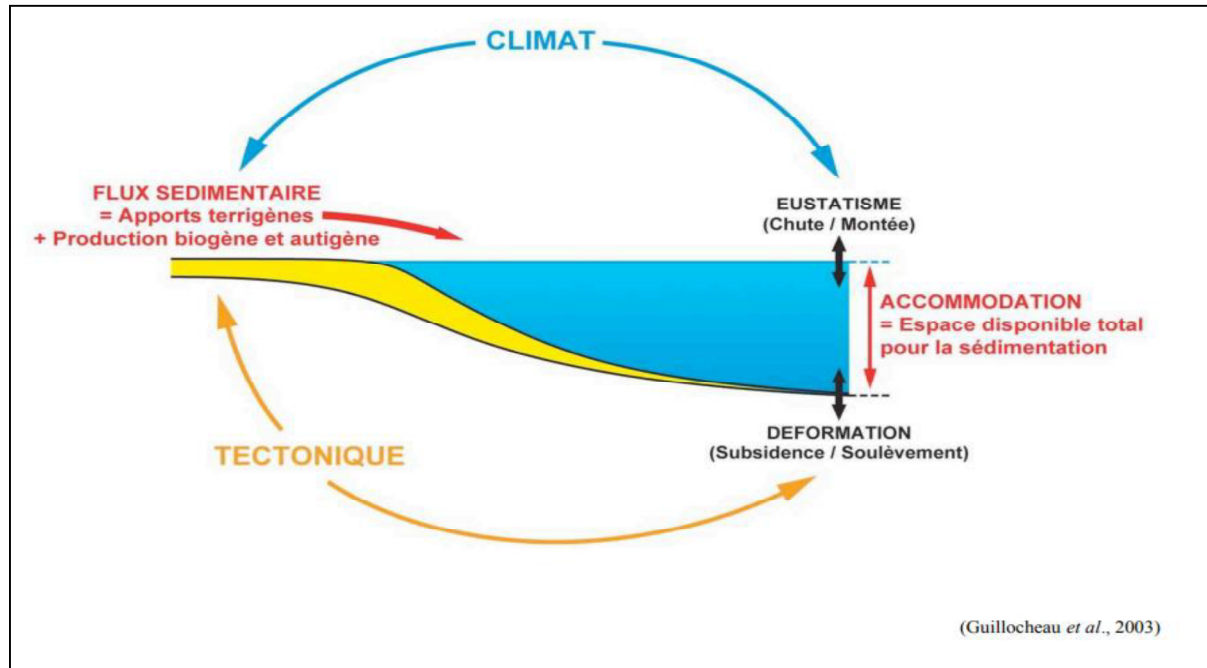


Figure II-04: les facteurs régissant l'espace d'accommodation (Guillocheau et al, 2003).

- **Les mouvements verticaux (enfouissement et soulèvement) :** La subsidence (enfouissement) ou le soulèvement de la surface terrestre à l'échelle régionale sont contrôlés par (ARAB.M 2016):
  - L'augmentation de l'épaisseur de la croûte et/ou de la lithosphère,
  - L'augmentation ou la diminution de la charge sédimentaire ou crustale sur la lithosphère (l'isostasie) ;
  - La perturbation de la structure thermique de la lithosphère.
- **L'eustatisme :** c'est la fluctuation des niveaux marins, directement liée à l'espace d'accommodation. L'augmentation du niveau marin est qualifiée de transgression, et la baisse de celui-ci est qualifiée de régression. Ce facteur contrôle l'épaisseur de la tranche d'eau (niveau relatif) et donc principalement l'extension latérale du bassin. Ainsi, la montée eustatique du niveau marin est égale à la montée du niveau de base et à l'augmentation de l'espace d'accommodation. La chute eustatique du niveau marin est égale à la chute du niveau de base et à la diminution de l'espace d'accommodation (ARAB.M 2016).
- **les apports sédimentaires :** L'augmentation du niveau marin combiné à la subsidence génère un espace d'accommodation dans un bassin. Le degré de remplissage de cet espace dépend du taux d'apport sédimentaire. Les apports sédimentaires dépendent du climat et de la tectonique, ce sont les deux paramètres qui régulent le taux d'érosion et le transport vers les milieux de sédimentation (ARAB.M 2016).

## 2. Les unités de la stratigraphie séquentielle :

### a) Notion de séquence :

La séquence a été définie à l'origine comme étant une unité stratigraphique bordée à la base et au sommet. La notion de séquence a ensuite été revisitée afin d'inclure une succession relativement conforme des strates génétiquement liées par des discontinuités ou leurs conformités corrélatives.

Le développement continu de la conception séquence stratigraphique dans les années 1980 à 1990 a abouti à une diversification des approches et la définition de plusieurs types de séquences:

- dépôt de séquences, délimitées par des discordances subaériennes et leurs conformités corrélatives marines (Vail 1987);
- séquences génétique, limitées par une surface d'inondation maximale (Galloway 1989) et une séquence transgressive-régressive (T-R), également appelées cycles Transgression-Régression, délimité par des surfaces régressives maximales appelées « MRS : maximal regression surface ». La séquence du cycle Transgression-Régression a ensuite été redéfinie en tant qu'unité limitée par une surface composite qui inclue la discordance subaérienne (SB) et la partie marine de la surface régressive maximale (MRS : maximum regression surface).

L'existence de plusieurs types de séquence nécessite une définition suffisamment large pour accueillir tous les choix d'approche. Chaque type de séquence peut inclure des discordances dans la séquence : séquences de dépôt et transgressive-régressive

Les séquences (Transgressive-Régressive) peuvent inclure des surfaces marines de non déposition ou d'érosion qui peuvent se former pendant les périodes de transgression maximale du rivage (surfaces d'inondations maximales); séquences stratigraphiques génétiques peut contenir des surfaces qui enregistrent des étapes d'hiatus subaérien et d'érosion (c'est-à-dire, discordances subaériennes).

La présence potentielle de discordances dans une séquence indique que la succession des strates comprenant une séquence ne peut pas toujours être décrite comme étant relativement conforme ou génétiquement lié. Par conséquent la notion de séquence a été redéfinie comme étant «une succession de strates déposées au cours d'un cycle complet de changement dans les sédiments » (Catuneanu et al. 2009). Cette définition est générique, indépendante du modèle et embrasse tous les types de séquence qui peuvent se développer à n'importe quelle échelle spatiale ou temporelle.

La spécification qu'une séquence correspond à un cycle stratigraphique complet est nécessaire pour séparer une séquence à partir des cortèges sédimentaires. Tous ces schémas stratigraphiques séquentiels existants incorporent un cycle complet de changement de types d'apports sédimentaires et procure une définition à la séquence, car le début et la fin d'un cycle est marquée par le même type d'«événement» : le début de la chute relative du niveau de la mer ; la fin de la chute relative du niveau de la mer; la fin de la régression ou la fin de la transgression. En revanche, les limites de tout système correspondent à différents événements du cycle du niveau relatif de la mer (Catuneanu 2011).

**b) Types de séquence :****➤ Séquences de dépôt**

Une séquence de dépôt se forme pendant un cycle complet de changement de sédiments, ce qui implique à la fois une augmentation croissante (positive) et décroissante (négative) dans l'espace disponible à remplir de sédiments. La formation de la séquence de dépôts nécessite des périodes d'hébergement négatif. La dépendance de la déposition des séquences sur l'accommodation négative (que ce soit en continentaux ou marins), en plus de la nature des surfaces limites, sépare les séquences de dépôt à partir d'autres types de séquences stratigraphiques dont la formation peut ne pas nécessiter d'effet négatif de l'accommodation (c.-à-d., les paraséquences, les séquences génétiques, les séquences Transgressive-Régressive et les systèmes qui se forment pendant le dépôt positif) (Catuneanu 2011).

**➤ Séquence génétique :**

La formation des séquences génétiques dépend du développement de surfaces d'inondation maximales (MFS : maximum flooding surface), qui se forment pendant les périodes de haut niveau marin.

Une séquence génétique peut se former pendant un cycle complet de changement niveau marin, comme dans le cas d'une séquence de dépôt, mais il peut aussi se former pendant les périodes d'accommodation positive (augmentation de l'espace d'accommodation) en réponse aux fluctuations eustatiques et/ou aux apports sédimentaires. Par conséquent une séquence génétique peut inclure une discordance subaérienne, selon la correspondance ou non du cycle qui comprend une phase d'accommodation négative.

Les surfaces d'inondations maximales peuvent inclure des surfaces non conformables de portions de discordance exprimées en "surfaces hiatales préservées comme des incohérences marines "(Galloway 1989).

De telles discordances peuvent se développer sur le plateau et la pente comme conséquence du manque de l'apport sédimentaire, une instabilité du bord du bassin et un épisode érosif pendant la transgression. Le cas échéant est que les surfaces d'inondation maximales (MFS : maximum flooding surface) sont incluses à l'intérieur de ces séquences mais ne peuvent constituer des surfaces-limites définissant des séquences de dépôt ou des séquences Transgression-Régression (Catuneanu, 2011).

**➤ Séquences transgressives-régressives (T-R)**

La séquence originale de T-R dépend du développement de la surface régressive maximale (MRS : maximum regression surface) qui se forme pendant les périodes de chute du niveau marin. Comme dans le cas de la séquence génétique, ce type de séquence peut se former au cours d'un cycle complet de changement eustatique, mais cela peut aussi se former pendant les périodes de haut niveau marin en tant que résultat des fluctuations des taux des apports sédimentaires. En revanche, la séquence Transgressive-Régressive est tributaire de la diminution de l'espace d'accommodation, car cela nécessite une discordance à la limite de la séquence. Vu que la surface de régression maximale (MRS : maximum regression surface) est plus jeune que la discordance, la partie marine de celle-ci peut ou non rencontrer la

discordance subaérienne du bassin. Le décalage spatiotemporel entre les deux parties de la séquence limite est de plus en plus évident à plus grande échelle d'observation (Catuneanu et al. 2009).

### **c) Les cortèges sédimentaires (systems tracts) :**

Un cortège sédimentaire (system tract) est «un lien de dépôt contemporain, formant la subdivision d'une séquence» Le cortège sédimentaire est indépendant de la balance spatiotemporelle et l'architecture interne d'une partie d'un cortège peut varier grandement avec l'échelle d'observation, d'une succession de faciès à une paraséquence. Un cortège sédimentaire se compose d'une succession de strates génétiquement liées délimitées par deux surfaces stratigraphiques. Selon Catuneanu et al. (2009), la définition originale d'une séquence fournie par Mitchum (1977) s'applique davantage au concept des cortèges et ceci est lié au fait que les séquences peuvent inclure des discordances internes, considérant que de telles discordances sont toujours placées à la limite entre les cortèges. Cette discussion considère les séquences, les systèmes et des surfaces englobantes qui se développent au même niveau hiérarchique: discontinuités de fréquence plus élevée (c.-à-d., rang hiérarchique inférieur) peut se produire dans une séquence de cortèges sans nuire à la définition ci-dessus.

Les cortèges sédimentaires sont interprétés sur la base des motifs d'empilement, position dans la séquence et le type de surface de délimitation qu'ils comportent (Posamentier et Allen 1999). Ces cortèges peuvent être soit liés au rivage, où leur origine peut être liée à des types particuliers de trajectoire de rivage (ligne de côte), soit indépendants de la ligne de côte ou liés génétiquement au rivage (Catuneanu, 2011).

#### ➤ **Cortèges liés génétiquement au rivage (la ligne de côte) :**

Les systèmes relatifs aux rivages sont généralement interprétés comme des phases spécifiques en rapport au cycle du niveau marin et aux apports sédimentaires (Catuneanu 2006; 2009).

Cinq cortèges sont définis en fonction de ce rapport dotés d'une nomenclature qui intègre le concept des fluctuations eustatiques et leurs variations spatiotemporelles (figure II-05). Ces cortèges sont présentés ci-dessous :

#### ❖ **Cortège sédimentaire formé durant la régression forcée (FSST : Falling stage Systems tract) :**

Ce cortège regroupe tous les dépôts régressifs accumulés après le début d'une chute relative du niveau marin et avant le début de la prochaine hausse relative. Le FSST est le produit d'une régression forcée, il se localise directement sur la limite de séquence (Posamentier et Allen 1999) et est plafonné par les sédiments sous-jacents du cortège de bas niveau (LST : lowstand system tract) (figure II-05). Une variété d'empilement de paraséquence et de motifs peut se produire, liés ou détachés de l'architecture du corps en fonction du gradient de dépôt, le taux d'apport en sédiments ainsi que le taux de chute du niveau marin relative. La terminologie appliquée à ces cortèges variait de celle «régressive forcée» à la «chute du niveau marin» et la «phase de chute». Le plus simple, la «phase de chute» a été généralement adoptée par les plus récents travaux (Catuneanu

2006). Ce cortège a également été appelé au début « Lowstand Systems Tract » (Posamentier et Allen 1999).

La baisse du niveau marin relatif est mise en évidence par l'érosion de la surface sédimentaire exposée par la remontée du littoral à la fin de la régression forcée et la formation d'une discordance subaérienne diachronique qui coiffe le cortège de haut niveau marin (HST : Highstand Systems Tract) (figure II-05). La discordance subaérienne peut être recouverte de manière fluviale par des dépôts qui appartiennent au cortège de bas niveau marin (LST : lowstand system tract) ou au cortège transgressif (TST : transgressive system tract) (Catuneanu, 2011).

#### ❖ **Cortège de bas niveau marin (LST : lowstand system tract) :**

Le cortège du bas niveau marin comprend les dépôts accumulés après le début de l'élévation relative du niveau marin, pendant la régression normale, au-dessus du cortège formé durant la régression forcée (FSST) et à la phase d'inclinaison de la discordance subaérienne. Les sédiments de bas niveau marin (LST) remplissent complètement ou partiellement les vallées incisées qui ont été réduites dans le cortège du haut niveau marin (HST : highstand system tract) et d'autres dépôts antérieurs pendant la régression forcée. Dans des travaux antérieurs, ce cortège a été reconnu comme étant le plus bas cortège associé à une limite de séquence de « type 2 » (Posamentier et al. 1988). Avec l'abandon de la distinction entre les limites de séquence de types « 1 » et « 2 », ce terme est maintenant redondant (Catuneanu 2006). Ces dépôts sont maintenant considérés comme étant une partie du cortège de bas niveau marin (figure II-05) (Catuneanu, 2011).

#### ❖ **Cortège transgressif (TST : Transgressive System Tract) :**

Le cortège transgressif comprend les dépôts qui se sont accumulés depuis le début de la transgression jusqu'au moment de la transgression maximale sur la côte, juste avant le renouvellement de la régression du haut niveau marin (HST : highstand system tract). Ce cortège se dépose directement sur la surface de régression maximale (MRS : maximum regression surface) formée à la fin de la régression (également appelée «surface transgressive») et peut-être recouverte par la «surface d'inondation maximale» (MFS : maximum flooding surface) (figure II-05) se formant lorsque les sédiments marins atteignent leur limite terrestre (Catuneanu, 2011).

#### ❖ **Cortège de haut niveau marin (HST : highstand system tract) :**

Le cortège du haut niveau marin comprend les dépôts progradants qui se mettent en place lorsque les taux d'accumulation des sédiments dépassent les taux d'augmentation de l'espace d'accommodation à la fin des périodes de l'élévation relative du niveau marin. Le cortège de haut niveau marin est lié directement à la surface d'inondation maximale (MFS : maximum flooding surface) et est déposé lorsque les sédiments marins atteignent leur position la plus proximale (continentale) (figure II-05). Ce cortège est limité par la discordance subaérienne et sa conformité corrélatrice. Les modèles d'empilement de ce cortège présentent des signatures de progradation ainsi que d'aggradation coiffés par une partie supérieure de plaine et / ou deltaïque ou fluviale et côtière (Catuneanu, 2011).

➤ **Cortèges indépendants du rivage (ligne de côte) :**

Les cortèges sédimentaires indépendants du rivage (ligne de cote) sont des unités stratigraphiques qui forment les subdivisions de séquences dans les zones où les processus de sédimentation ne sont pas liés au rivage et à ses changements. Ces systèmes sont définis par des règles spécifiques avec des modèles d'empilement dépositionnels qui peuvent être reconnus et corrélés à l'échelle régionale sans référence au rivage et ses variations de trajectoires. Les dépôts fluviaux contrôlés en amont par les aménagements fluviaux peuvent changer indépendamment des changements d'espace d'accommodation au plus proche rivage et créer des séquences à la base et au sommet. Des cortèges littoraux indépendants peuvent également être cartographiés dans des eaux profondes contrôlés par la tectonique du bassin, mais aucune nomenclature n'a été proposée pour ces situations (in Catuneanu, 2011).

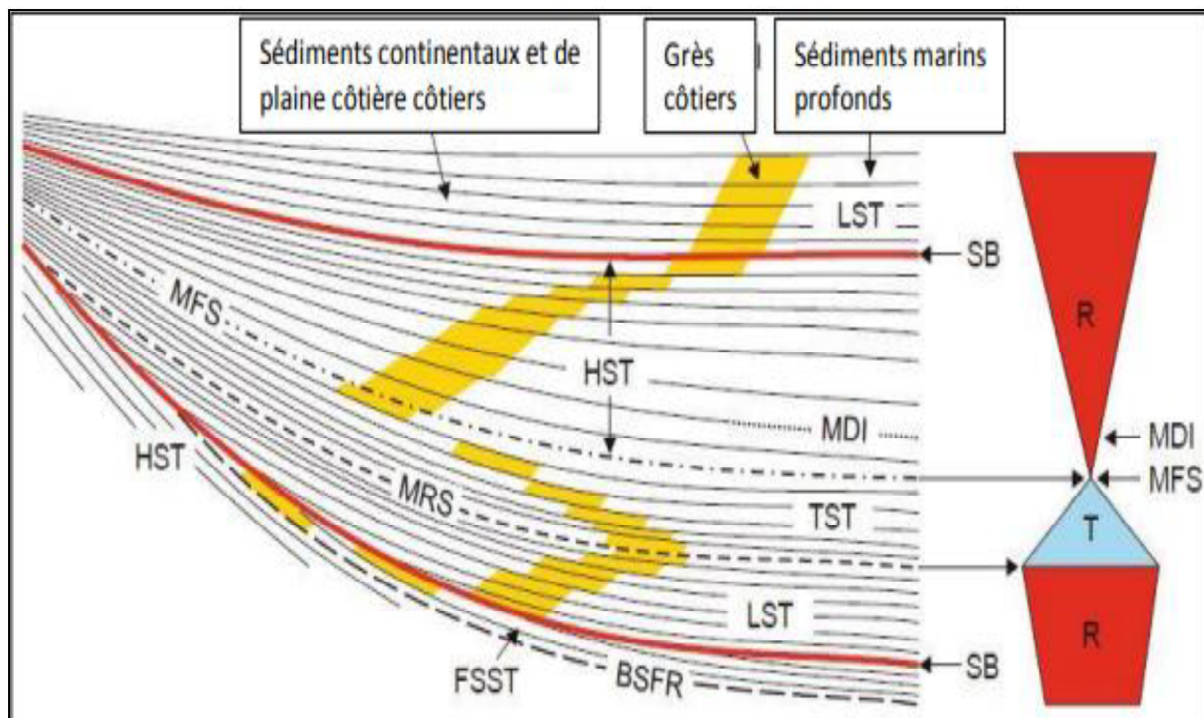


Figure II-05: modèle de stratigraphie séquentiel (Catuneanu, 2006).

**d) Notion de « paraséquence » :**

Une paraséquence dans sa définition originale (Van Waggoner et al. 1988, 1990) est une succession peu profonde ascendante de faciès délimités par des surfaces d'inondation marines. Une surface d'inondation marine est une discontinuité lithologique à travers laquelle il y a un changement brusque de faciès qui communément indique une augmentation abrupte de la bathymétrie.

Le concept a été défini à l'origine et est communément appliquée, dans le contexte du domaine siliciclastique côtier à peu profond, où les paraséquences correspondent à des dépôts sédimentaires progradants individuels. Dans les paramètres des carbonates, une paraséquence correspond à une succession de faciès contenant généralement un retard de dépôt ou un mince intervalle d'approfondissement, suivi par une partie moins épaisse vers le haut, comme par exemple dans cycles péritidaux.

Contrairement aux séquences et cortèges sédimentaires (systems tracts), qui peuvent potentiellement être cartographiés à travers l'ensemble du bassin, du fluvial au milieu des eaux profondes, les paraséquences sont géographiquement limitées aux zones côtières à peu profondes où les inondations marines des surfaces peuvent se former). Dans le cas des réglages de carbonates, les cycles péritidaux peuvent dans certains cas être corrélés avec les faciès de pente. Pour cette raison, il a été proposé d'étendre le concept de la paraséquence pour inclure tous les cycles de compteurs régionaux, qu'ils soient ou non délimités par des surfaces inondables. Cependant, en suivant le principe qu'une séquence stratigraphique est définie par des surfaces limites spécifiques, la plupart des praticiens préfèrent restreindre le concept de paraséquence à une unité délimitée par des surfaces inondables marines, en accord avec la définition originale de Van Waggoner et al. (Catuneanu, 2011).

### **e) Notion de «surfaces limites de cortèges ou de séquence » :**

Les surfaces stratigraphiques marquent les changements de motif d'empilement. Ce sont des surfaces qui peuvent servir en tant que frontières de cortèges (figure II-06). Les surfaces limites de la séquence peuvent correspondre à des « horizons conceptuels », c'est-à-dire sans contraste lithologique, en fonction de leurs expressions sur les affleurements (Catuneanu (2006).

#### **➤ discordance subaérienne :**

La discordance subaérienne ou sous-aérienne (SB : Sequence Boundary) est une discontinuité qui se forme sous des conditions subaériennes à la suite d'une érosion fluviale ou d'un contournement, d'une pédogenèse, d'une dégradation par le vent, d'une dissolution et d'une karstification. Selon différents auteurs, les termes alternatifs comprennent: «discordance», «surface d'érosion fluviale» et «surface de retranchement / incision fluviale». Des incohérences sous-jacentes peuvent se former et ceci selon le type de système sédimentaire qui se met en place (fluvial, transgression, régression, régression forcée, dépôts de carbonates, structures karstiques, etc.) (Catuneanu, 2011).

#### **➤ surface de conformité corrélatrice (CC : correlative conformity) :**

La surface de conformité corrélatrice est une surface stratigraphique marine qui marque le changement des modèles d'empilement stratigraphiques d'une régression normale de haut niveau marin à une régression forcée. C'est la paléotopographie du fond marin au début de la régression forcée. On utilise aussi le terme de «surface de base de la régression forcée». La conformité corrélatrice dans le sens de Hunt et Tucker (1992) est une surface stratigraphique marine qui marque le changement des modèles d'empilement stratigraphique d'une régression forcée à une régression normale de bas niveau. Il enregistre donc la paléotopographie du fond marin à la fin de la régression forcée (Catuneanu, 2011).

#### **➤ Surface d'inondation maximale (MFS : maximum flooding surface) :**

La surface d'inondation maximale est une surface stratigraphique qui marque un changement des modèles d'empilement stratigraphique de transgression à une régression normale de haut niveau marin. C'est le paléo-fonds marin à la fin de la transgression et sa surface corrélatrice dans le cadre non-marin. Les termes alternatifs proposés par différents auteurs incluent: les "surface transgressive finale", "surface de la transgression maximale" et "surface transgressive

maximale". Parfois, le passage de la rétrogradation à la progradation dans les dépôts est marqué par une zone de faciès en eau profonde (généralement condensée) plutôt que par une surface unique, ce qui peut donner lieu à une ambiguïté quant au positionnement de cette surface dans la succession rocheuse. La surface d'inondation maximale est souvent exprimée sous la forme d'une surface de descente en termes stratigraphiques sismiques, du fait qu'elle est généralement rétrogradée par les clinofformes (réflecteurs) de haut niveau sous-jacentes qui enregistrent la progradation (Catuneanu, 2011).

➤ **Surface de régression maximale (MRS : maximum regression surface) :**

La surface régressive maximale est définie comme une surface stratigraphique qui marque un changement dans les schémas d'empilement d'une régression normale à la transgression. Il s'agit de la paléotopographie du fond marin à la fin de la régression normale et de sa surface corrélative dans le contexte non-marin. Des expressions alternatives sont proposées par divers auteurs telle que: "surface transgressive", "surface transgressive initiale", "surface de régression maximale", «surface transgressive conformable» et «surface de progradation maximale». L'expression «surface de régression maximale» est recommandée lorsque l'accent est mis sur la fin de régression et l'expression «surface transgressive» est recommandée lorsque l'accent est mis sur le début de la transgression (Catuneanu, 2011).

➤ **Surface de ravinement transgressif :**

Les surfaces de ravinement transgressives sont des surfaces érosives qui se forment par balancement (récurage) des vagues (surfaces de ravinement de vagues) ou par balancement (récurage) des marées (surfaces de ravinement de marée) au cours de la transgression en environnements côtiers à peu profonds. Les deux types de surfaces de ravinement transgressives sont diachroniques et juvéniles vers la marge du bassin. Leur terminaison vers le bassin se confond avec la surface régressive maximale; leur terminaison terrestre rejoint la surface d'inondation maximale. Une expression alternative pour l'un ou l'autre type de surface de ravinement transgressif est la «surface transgressive de l'érosion» (Catuneanu, 2011).

➤ **Surface d'érosion marine régressive :**

La surface régressive de l'érosion marine est une surface érosive (schéma sur figure II-06) qui se forme généralement par balancement des vagues lors de la régression forcée dans les milieux peu profonds ondulés en raison de l'abaissement de la base des vagues par rapport au fond de la mer. Cependant, ce balancement peut également se former dans des conditions de régression normale à haute énergie, lorsque la trajectoire du rivage (ligne de côte) est horizontale (c'est-à-dire sa progression par rapport au niveau relatif de la mer) ou à faible angle (c'est-à-dire sa progression par faible taux d'élévation relative du niveau marin. La surface régressive de l'érosion marine est diachronique et juvénile vers le bassin avec le taux de régression du littoral. Des expressions alternatives sont proposées telle que : "surface de ravinement régressive" et "ravinement de vagues régressif" (in Catuneanu 2011).

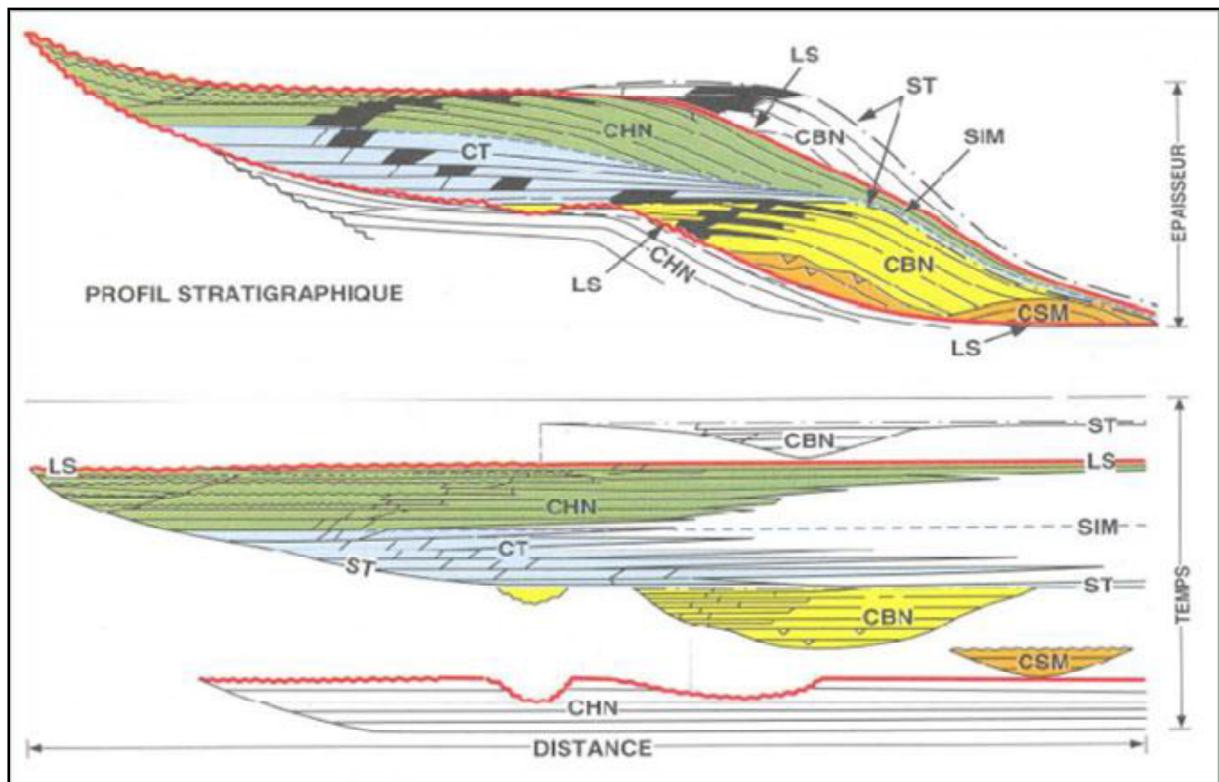


Figure II-06 : relation entre la géométrie des cortèges sédimentaires et la distribution spatiotemporelle (Vail et al, 1984).

#### f) Les variations du niveau marin au cours des temps géologiques :

##### ➤ Les causes des fluctuations du niveau marin :

Deux processus principaux peuvent être l'origine des fluctuations eustatiques. Le premier intervient sur le volume d'eau de l'océan, c'est le *glacio-eustatisme* qui correspond à un stockage plus ou moins important d'eau par les calottes glaciaires en fonction des fluctuations climatiques.

Le second intervient sur la forme du bassin océanique ; le *tectono-eustatisme*. Durant les périodes d'expansion océaniques intenses, la dorsale est très turgescente et l'augmentation de volume se traduit par une élévation du niveau moyen des mers par une transgression. Lors d'un ralentissement de l'expansion, le volume de la dorsale diminue et le niveau marin baisse.

##### ➤ Etablissement de la courbe eustatique :

A partir des données sismiques, Vail et son équipe ont publié diverses versions (Vail et al.1977, Haq et al.1988) d'une charte des variations du niveau marin connue sous le nom de courbe de Vail ou courbe d'Exxon. Cette charte à la fois des variations relatives du recouvrement côtier et la courbe de variation qui en résulte.

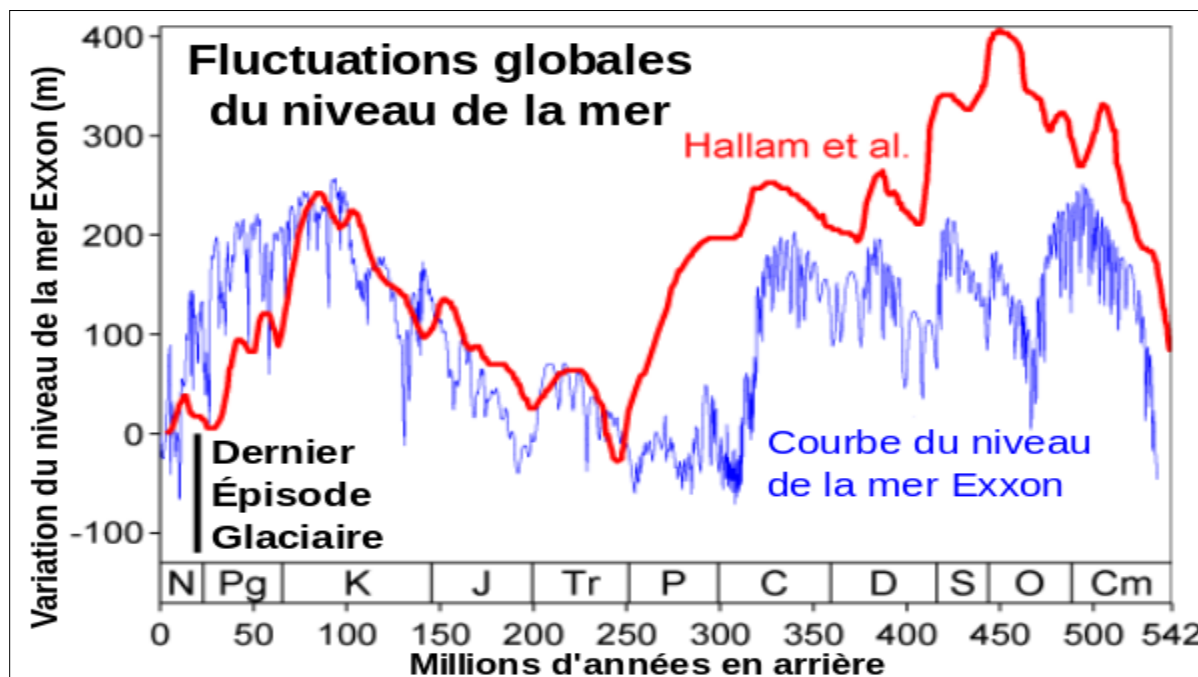


Figure II-07 : Charte eustatique globale du Paléozoïque (Exxon, Hallam et al.1998).

➤ **Les cinq ordres des variations eustatiques emboîtés :**

La courbe de variations eustatiques est complexe et correspond à la superposition de 5 ordres des variations dont les périodicités, plus ou moins bien définies (les trois premiers ordres ne présentent pas de périodicités régulières), varient de la centaine à la dizaine de milliers d'années.

❖ **Les cycles de premier ordre :**

Au cours des temps géologiques, il existe deux cycles de 200 et de 400 Ma environ. Des hauts niveaux marins surviennent au cours du Cambro-Silurien et au cours du Crétacé moyen (200 à 250 m au-dessus du niveau marin actuel). L'origine de ces cycles (souvent dénommés *cycles pangéens* d'amplitude continentale) est tectonique (tectono-eustatisme : variation du niveau marin par modification du volume des bassins océaniques). Ils sont liés aux fluctuations des taux d'accrétion océaniques et à la formation/fragmentation des supercontinents (cycles de Wilson).

❖ **Les cycles de second ordre :**

La courbe de fluctuations peut-être déconvoluée en cycles de 10 à 100 Ma, ce sont les cycles du second ordre ou cycles majeurs de facies transgressifs-régressifs. Ces cycles ont pu être corrélés avec des séquences d'autres continents, ce qui laisse supposer un contrôle global par le niveau marin. Il est largement admis que ces cycles correspondent à des modifications dans le volume des dorsales océaniques en relation avec les changements des taux d'expansion océaniques auxquels sont associés des changements dans les taux de la subsidence.

❖ **Les cycles de troisième ordre :**

C'est l'ordre de variation correspondant aux séquences génétiques précédemment décrites. D'une durée inférieure à 3 Ma, ces séquences sont connues dans tout le Paléozoïque et seraient corrélables à l'échelle globale. On doit noter que de nombreux travaux dans différentes parties du monde mettent en évidence de façon objective le bon accord entre la position chronostratigraphique de nombreuses limites de séquences ou de surfaces d'inondation maximale et les prédictions de la charte des cycles de 3<sup>e</sup> ordre de Haq et al. (1988) réactualisée à partir des données de l'Europe de l'Ouest par Graciaznsky et al. (1998).

### ❖ *Les cycles de quatrième et cinquième ordre :*

Des cycles de durée inférieure, de 4<sup>e</sup> (500 000 à 200 000 ans) et 5<sup>e</sup> ordre (200 000 à 10 000 ans) ont été décrits par de nombreux auteurs tant dans les séries néritiques que pélagiques où ils correspondent aux paraséquences. Leurs périodicités sont compatibles avec celles des perturbations climatiques de types Milankovich qui pourraient provoquer des variations eustatiques du fait des fluctuations du volume des calottes glaciaires ou de la variation du volume océanique (liaison insolation-dilatation de l'eau de mer). Malgré les nombreuses ambiguïtés qui persistent, un consensus s'est mis en place pour considérer les fluctuations eustatiques de basses fréquences (1<sup>er</sup> et 2<sup>nd</sup> ordre) comme étant typiquement sous contrôle tectono-eustatique tandis que les fluctuations hautes fréquences (4<sup>e</sup> ordre et plus) sont considérées sous contrôle glacio-eustatique au sens strict, sous contrôle climatique. Le problème principal restant concerne l'incertitude quant aux fluctuations du 3<sup>e</sup> ordre qui se situent à la convergence des deux types de fréquences et de processus.

### ➤ **La dynamique de la mise en place des dépôts :**

Les apports sédimentaires sont contrôlés par les fluctuations (hausse et baisse) du niveau marin relatif (eustatisme) qui est contrôlé par plusieurs facteurs qui participent à la structuration morphodynamique et séquentielle de la séquence. Ces dépôts se mettent en place suivant la dynamique du niveau marin relatif et de ses fluctuations. Ils définissent une architecture des corps sédimentaires qui peuvent se présenter selon trois (3) mécanismes :

- **La rétrogradation :** se produit lorsque le flux de sédiment est nettement inférieur au taux d'accommodation. La migration des sédiments se fait vers le continent. Cela est le résultat d'une hausse eustatique causant ainsi une transgression (figure II.09).

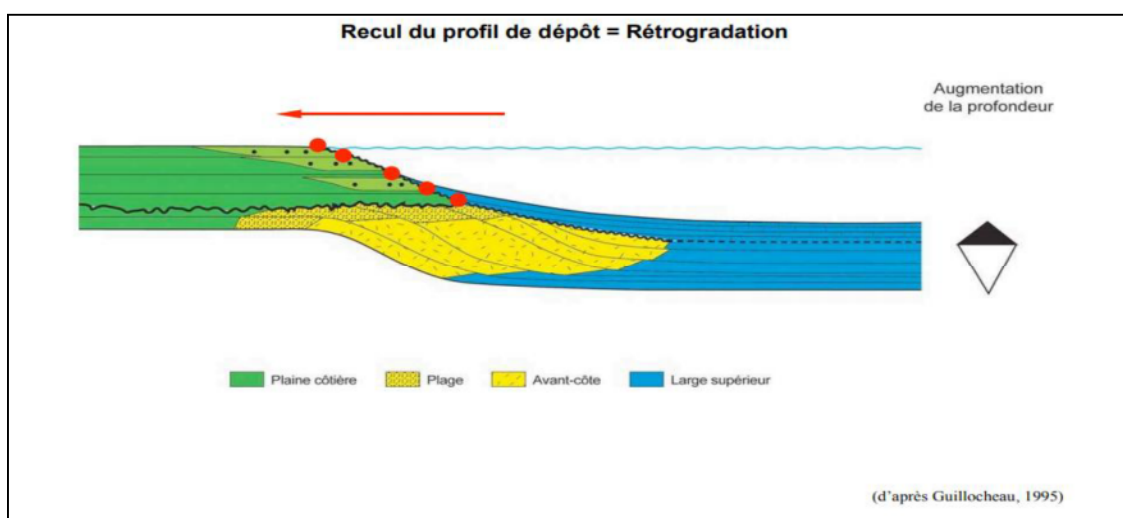


Figure II-08: schéma représentatif du mécanisme de la rétrogradation (Guillocheau, 1995).

• **L'aggradation** : se produit lorsque le flux des apports sédimentaires est approximativement égal au taux d'accommodation. La position des sédiments est en équilibre à chaque instant dans le bassin et les corps sédimentaires se construisent verticalement (figure II.09). Ceci se met en place lorsque le niveau de la mer reste stable pendant une longue période (un cycle), les fluctuations eustatiques sont presque nulles.

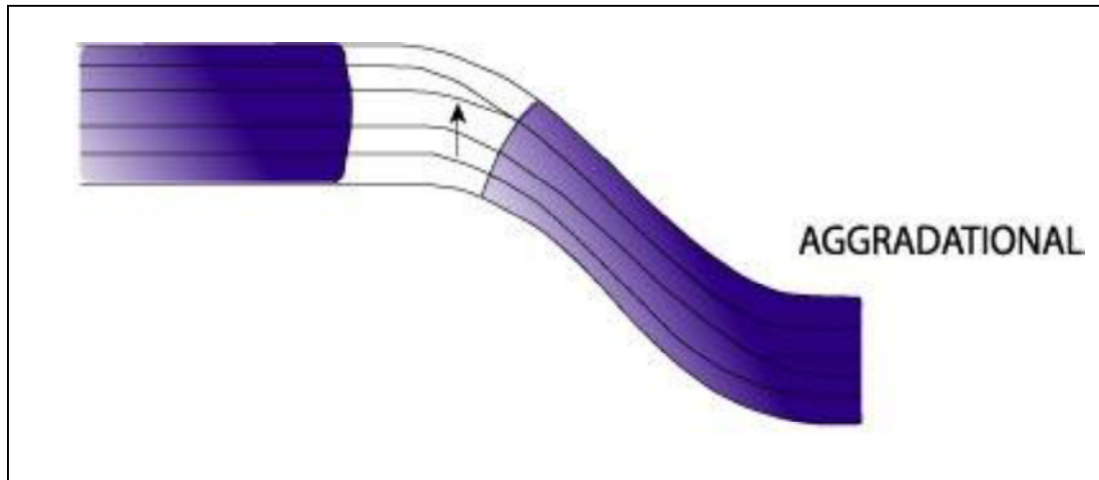


Figure II-09 : Schéma représentatif du mécanisme de l'aggradation (Emery, 1999).

• **La progradation** : se produit lorsque le flux des apports sédimentaires est nettement supérieur au taux d'accommodation. La migration des sédiments se fait vers le centre du bassin. Ceci se produit lorsque le niveau de la mer subit une baisse considérable causant ainsi une régression (schéma de la figure II-10).

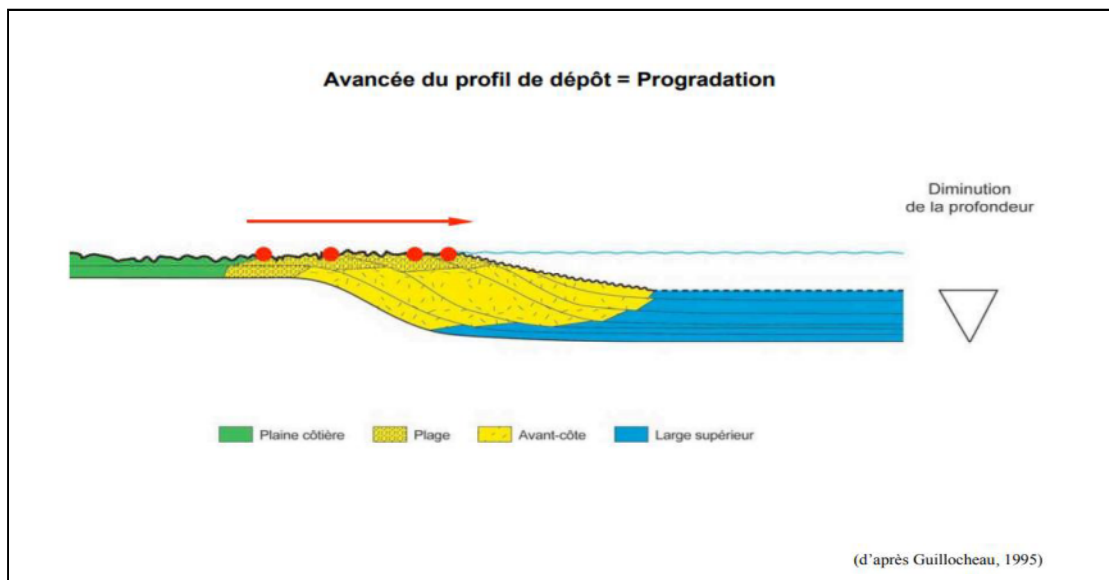


Figure II-10 : schéma représentatif du mécanisme de progradation (Guillocheau 1995).

#### a) Classification morpho-séquentielle des électroséquences :

La courbe des enregistrements diagraphiques du Gamma Ray comportent des signatures fiables qui s'expriment par des morphologies qui caractérisent différentes formations sous forme de signaux diagraphiques dont la nomenclature est définie d'électroséquences ou

électrofaciès (cortège). Ils s'ordonnent verticalement pour constituer des séquences (rythmes ou cycles) qui vont refléter selon la loi de Walther les relations latérales intrinsèques des faciès contiguës. Le raisonnement séquentiel apporte une certaine souplesse car il permet de mettre en évidence à l'échelle de la mésoséquence (séquence à moyenne ou basse échelle) une dynamique sédimentaire et de situer relativement dans le temps un épisode sédimentaire par rapport à un autre. Il tient compte des variations latérales lithologiques environnementales.

Plusieurs électroséquences sont établies selon leurs morphologies :

- **En forme d'entonnoir** : cette forme caractérise un milieu de barres avec un passage au niveau basal progressif et graduel.
- **En forme de cylindre** : distingue un milieu de lit de chenaux fluviate en tresses ou un domaine de plage. Le contact est raide et abrupt.
- **En forme de cloche** : relative aux dépôts de chenaux fluviaux ou aux dépôts transgressifs avec un contact abrupt.
- **En forme d'œuf (ovale)** : cette forme caractérise un environnement de dépôts tidaux doté d'un contact graduel et progressif.
- **En dents de scie** : signature de l'aggradation.

Une composition des signaux des différents cycles dans la courbe globale de la charte eustatique vont avoir leurs signatures sur les différents signaux physique (réponse diagraphiques sur les logs) et signaux sismiques sur les sections sismiques.

L'interprétation de ces dernier signaux ou le décryptage de ces signatures nous permettront de remonter aux faciès, à leurs structure et texture pour débouché sur une lecture des environnements de dépôts, si aussi fondamental d'avoir une typologie ou une nomenclature des morphologies des électrofaciès qui nous servira de base à l'interprétation des signaux diagraphiques.

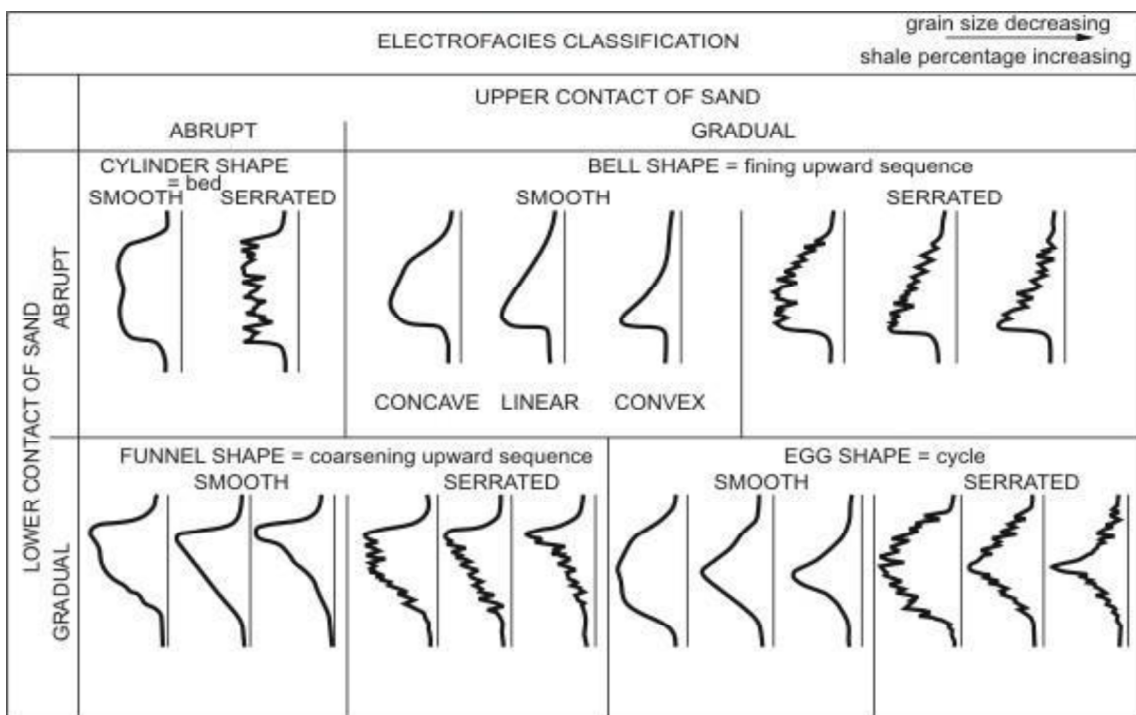


Figure II-11: les différentes morphologies des électrofaciès (O. Serra 1979).

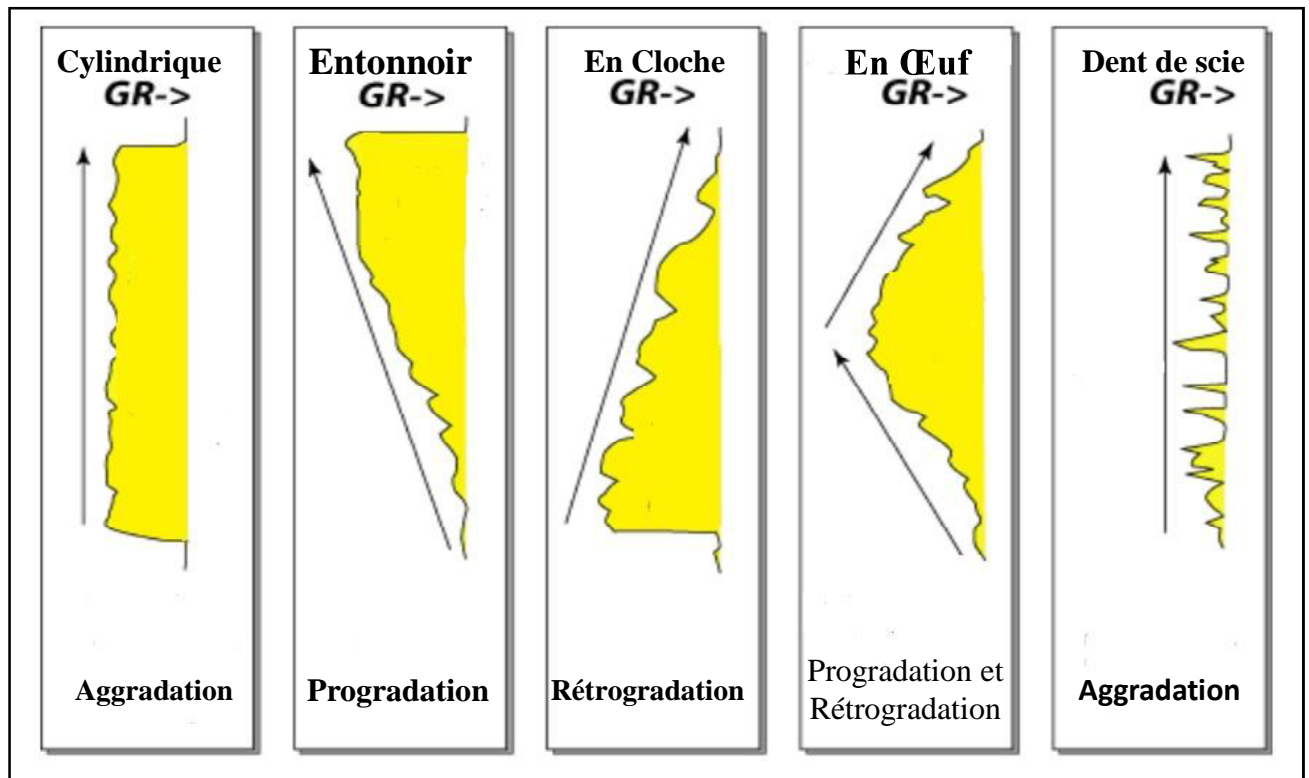


Figure II-12 : la morphologie des électrofaciès en fonction du régime et de la dynamique de dépôt (Kendal, 2004).

### III. Méthodes diagraphiques :

#### 1. Rappel sur les méthodes :

**a) Définition :** Désigne tout enregistrement continu d'une caractéristique physique donnée des formations géologiques traversées par un sondage, en fonction de la profondeur. L'évaluation lithologique des formations se réalise généralement sur la base de quatre diagraphies ci – après : **Sonique – neutron – densité** en plus du **Gamma-Ray**, sans oublier les méthodes accessoires (caliper, imageries, etc.)

Les méthodes de diagraphie sont des techniques géophysiques mises en œuvre à l'intérieur d'un forage. Elles permettent l'enregistrement continu des variations des paramètres pétrophysiques des formations en fonction de la profondeur.

L'enregistrement des paramètres est effectué pendant la remontée de la sonde le long du puits (ouvert ou tubé) et on distingue deux types de diagraphie :

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

Les diagraphies rendent aussi possible les corrélations de puits à puits, donc le suivi des horizons lithologiques entre les sondages (l'évolution latérale) et fournissent une image en trois dimensions des structures géologiques, c'est la raison pour laquelle elles revêtent une importance primordiale qu'on ne peut plus négliger de nos jours pour effectuer une synthèse géologique.

### b) Les Paramètres influençant les mesures :

- **Influence du trou du sondage :** Le diamètre du sondage varie tout au long du forage, ceci est dû à la nature des formations traversées.
- **Fluide du forage :** Son influence sur la réponse des outils dépend du diamètre du trou car, plus ce diamètre est grand, plus le volume de fluide entourant l'outil est important et plus la mesure sera affectée. Elle dépend aussi de la nature et la densité du fluide qui nous informe sur la possibilité d'enregistrer certains paramètres.
- **Tubage et Ciment :** Dans certains cas le trou de sondage est tubé et cimenté, ceci va interdire l'enregistrement de certaines diagraphies. Dans ce cas-là, seuls les mesures nucléaires sont possibles.
- **La Mobilité :** Elle exprime la possibilité du déplacement de l'hydrocarbure, donc, elle est essentiellement fonction de la perméabilité, Si cette dernière est nulle, la mobilité sera nulle. Si elle est élevée, la mobilité sera très grande et on peut même dans ce cas, observer un retour très rapide de l'hydrocarbure vers le trou dès l'arrêt de circulation ce qui va influencer les mesures.
- **Température et Pression :** Elles augmentent avec la profondeur en fonction du gradient géothermique et de la densité de la boue. C'est pour cette raison que chaque outil a ses propres limites d'utilisation.
- **La Vitesse d'Enregistrement :** Elle dépend principalement du paramètre enregistré, elle va donc varier avec le type d'outil.

## 2. Le Gamma Ray (Radioactivité Gamma) : « $\gamma$ -ray »

Correspond à l'émission naturelle de la radioactivité des roches qui se traduit par l'émission du rayonnement « Gamma ». Par conséquent, les roches les plus riches en éléments radioactifs (telle que les argiles) montrent les valeurs de Gamma-Ray les plus élevées.

On utilise des compteurs à radioactivité mesurant le nombre d'impulsion radioactive par unité de temps (CPS : coup/sec ou API : American petroleum institut). Cette mesure est proportionnelle à l'énergie de la radiation gamma incidente. Dans les roches sédimentaires la radioactivité gamma varie généralement de 0 à 200 API.

Le rayonnement Gamma contribue également à :

- Le Gamma-Ray peut-être enregistré en trous ouverts ou tubés, vides ou remplis et en tout type de boue ;
- Le log Gamma-Ray apporte des informations qui aident à l'interprétation lithologiques ;

- Le Gamma-Ray permet de préciser les limites ainsi que les épaisseurs des couches ;
- Le Gamma-Ray sert à identifier les réservoirs et calculer les épaisseurs (Total, Efficace) ;
- Le log Gamma-Ray permet d'estimer le pourcentage (%) d'argiles dans les couches réservoirs ;
- Le Gamma-Ray sert à établir des corrélations entre les enregistrements des autres diagraphies ;
- Le Gamma-Ray est utilisé dans la corrélation entre les différents sondages ;
- Le GR peut servir à l'analyse séquentielle, à la reconstitution de l'évolution des milieux de dépôts (reconstitution des paléoenvironnements) et à la modélisation des bassins.

### a) Les types de Gamma-Ray (Y-ray) :

- **Le Gamma-Ray total** ou **standard** dont l'outil est constitué d'un compteur de radioactivité naturelle des roches.
- **Le Gamma-Ray spectrale** qui nécessite l'utilisation d'un spectromètre et permet de distinguer entre de la radioactivité à travers le niveau d'énergie des radiations Y :
  - a) Gamma-Ray du « K »: Potassium.
  - b) Gamma-Ray du « Th »: Thorium.
  - c) Gamma-Ray de l' « Ur »: Uranium.

Types de roche	Activité radioactive en API
Argiles et marnes organiques d'origine marine.	1000 à 1500
Argiles et marnes.	100 à 200
Sable et grès.	30 à 80
Carbonates	10 à 50
Evaporites et charbon (houille).	10

Tableau II-02 : tableau de radioactivité de certaines roches sédimentaires en API (American Petroleum Institut).

### b) Mesure de radioactivité Y :

On mesure le rayonnement Y par des détecteurs appropriés : compteur de Geiger, chambre à ionisation ou un compteur à scintillation. Ce dernier étant préférable par : son rendement

(50% à 60% comparé aux 1% et au 5% des deux premiers) ainsi qu'une meilleure définition verticale des couches qu'il permet.

La réponse de l'outil est fonction de la concentration du minéral en éléments radioactifs dans la formation mais de la densité de cette formation. L'équation suivante traduit cette relation :

$$GR = \frac{\rho \cdot v}{\rho_b} A$$

**GR** : radioactivité globale mesurée ;

**ρ** : densité ;

**v** : pourcentage volumique du minéral ;

**ρ<sub>b</sub>** : densité globale de la formation ;

**A** : facteur de proportionnalité correspondant à l'activité γ du minéral ou de l'élément radioactif.

**c) Outil du Gamma-Ray :**

Le principe de cette méthode consiste à mesurer l'intensité de l'émission du rayonnement gamma naturel le long d'un forage. Ainsi, la mesure repose sur un dispositif comportant un compteur à scintillation qui émet des photons lumineux. La photo-émission est transformée par un photomultiplicateur en une impulsion électrique (figure II.13).

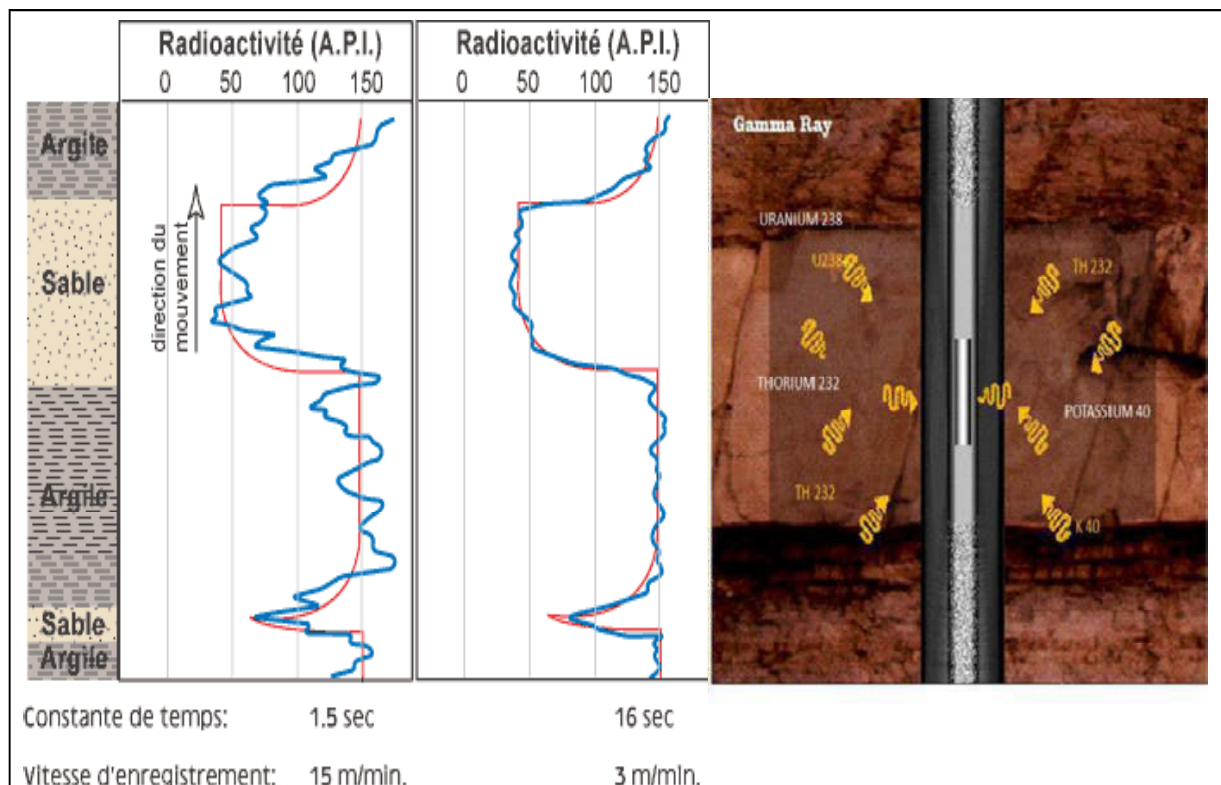


Figure II-13 : le comportement de l'outil gamma-ray en face des différentes formations d'un réservoir (www-ig.unil.ch).

### 3. Conclusion :

Cette approche nous permettra dans le présent travail de réaliser un découpage du signal diagraphique en électoséquences et électrofacès (cortèges) que nous devons confronter ou corréler avec l'information résultant de l'étude des carottes.

C'est l'utilisation d'un flux de données pour avoir une approche partiel de stratigraphie séquentielle et d'analyse séquentielle qui devrait être finaliser par un modèle globale de dépôts qui restitue ainsi l'histoire séquentielle des environnements de dépôts de la région étudiée.

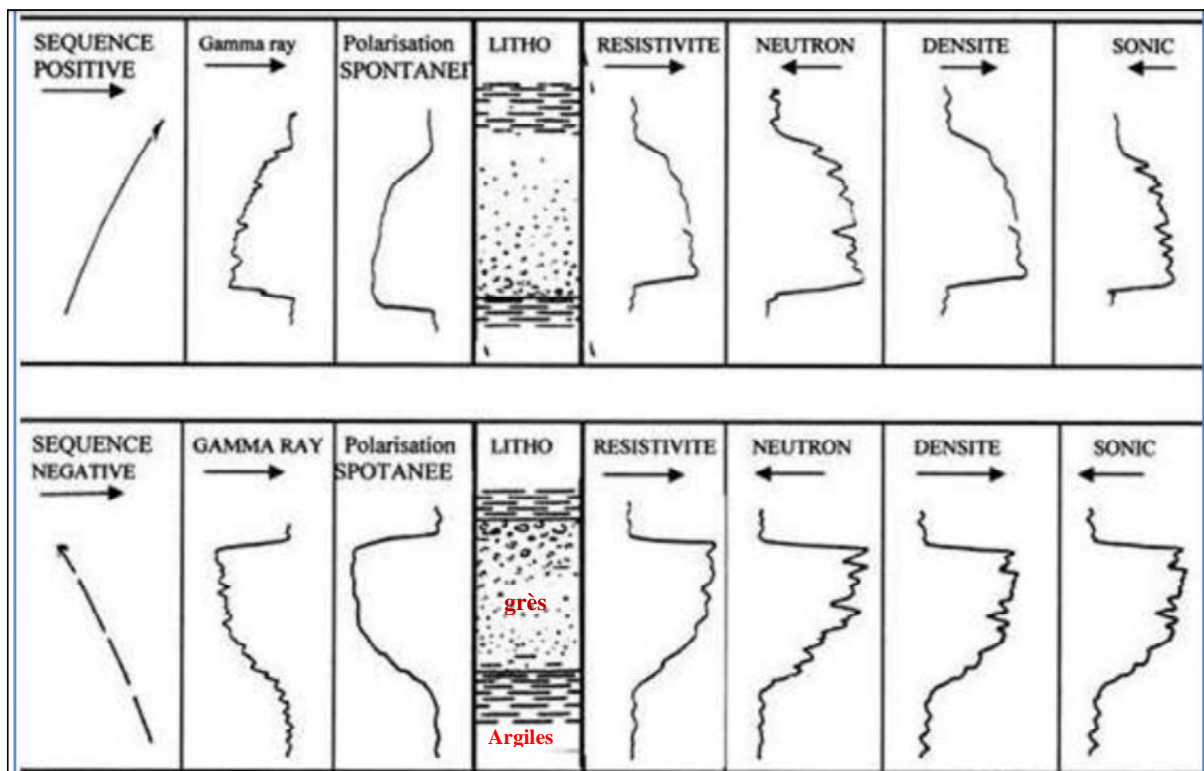


Figure II-14: type de séquences en fonction de granoclassement (O. Serra 1979).

## IV. Les méthodes sismiques :

### 1. Concepts :

#### a) Stratigraphie sismique :

La première phase dans une étude de stratigraphie sismique d'un bassin est de délimiter des unités génétiquement liées, appelées séquences de dépôt. Les séquences sismiques, séparées par des lignes-temps après avoir été identifiées sur sections sismiques, on peut observer les événements sédimentaires et d'érosion dans l'espace. Cette architecture stratigraphique peut être représentée en termes d'évolution spatiotemporelle sur une charte chronostratigraphique. Ces séquences sont d'une importance régionale et sont par la suite subdivisées en « system tracts » ou cortèges sédimentaires. Ces derniers sont identifiés en se basant sur l'existence de

discordances ou de discontinuités et leurs limites conformes latérales équivalentes. Une séquence de dépôt est composée d'une succession de cortèges sédimentaires.

En termes d'observation sismique, il existe quatre groupes majeurs de réflecteurs sur les sections sismiques, en l'occurrence les réflecteurs sédimentaires représentant des surfaces de bancs, les discontinuités ou discordances, les artéfacts comme les diffractions, multiples, etc. et les réflecteurs non-sédimentaires, comme les failles et les contacts de fluides.

### b) La résolution sismique

Les limitations géophysiques des données sismiques doivent être considérées avant toute interprétation. Les coupes sismiques représentent la réponse de la Terre aux ondes sismiques. Comme la plupart des réflexions ont une composante d'interférence entre structures physiques, il n'y a pas de correspondance directe entre les événements sismiques et les interfaces dans la Terre. La signification stratigraphique des données sismiques n'est évidente que lorsqu'elles sont calées aux données de puits.

La résolution sismique est le facteur qui limite la précision des informations de type stratigraphique et structural qui peuvent être extraites des coupes sismiques. La limite de résolution verticale dans les données sismiques est équivalente à un quart de la longueur d'onde dominante. De ce fait la résolution sismique diminue avec la profondeur en raison de l'atténuation des hautes fréquences. De plus, la distinction entre réflecteurs dans les séquences condensées nécessite une haute résolution afin de permettre une interprétation en termes de stratigraphie.

On distingue en général plusieurs types de résolution :

- Sismique conventionnelle (type pétrolière) (à l'échelle de la marge)
- Sismique Haute Résolution (type pétrolière récente) (à l'échelle de l'affleurement)
- Sismique Très Haute Résolution (à l'échelle d'un corps sédimentaire).

### a) Discordances

Les discordances sont les surfaces d'érosion et/ou de non-dépôt qui constituent des hiatus de temps dans le processus géologique. Les discordances ou discontinuités génèrent des réflexions car elles séparent des couches à propriétés pétrophysiques et lithologiques différentes, ayant donc différentes caractéristiques en termes de contraste d'impédance. Par conséquent, la strate limitée par deux discordances forme l'unité chronostratigraphique. Les réflexions générées par des discordances représentent les hiatus dans la géologie sédimentaire et sont normalement diachroniques. Souvent, la réflectivité d'une discontinuité ou d'une discordance varie latéralement à cause des changements de faciès. Cependant, certaines discordances ne sont pas réflectives.

Une discordance sismique se traduit par la présence de réflexions qui se terminent sur ou sous la discordance. Il existe plusieurs types de terminaison entre les réflexions internes visibles dans la séquence, et les limites de séquence :

- **Le Baselap** est une terminaison des réflexions sur la limite de séquence basale. Il en existe deux types :
  - **L'Onlap** qui est une réflexion (horizontale ou inclinée) qui se termine sur une réflexion représentant une surface originellement plus inclinée.
  - **Le Downlap** qui est une réflexion initialement inclinée se terminant vers le bas sur une réflexion représentant une strate initialement horizontale ou inclinée.

- **Le Toplap** est une terminaison vers le haut d'une réflexion sur la limite supérieure d'une séquence de dépôt.
- **La Troncature d'érosion** est une terminaison latérale d'une strate par érosion.

Une limite de séquence sera donc caractérisée par des terminaisons en onlaps et downlaps des réflexions sus-jacentes et par des terminaisons en toplaps ou des troncatures d'érosion des réflexions sous-jacentes.

# Chapitre III

## Applications et interprétations

## 1. Introduction

Cette partie consiste en l'application des concepts et méthodes mis en œuvre dans cette étude afin d'identifier les principaux constituants en place et retracer la dynamique de dépôt des formations traversées par les puits « well 1, well 2, well 3 et well 4 ». En elle-même, l'approche se décline dans les axes suivants :

- L'analyse séquentielle pour effectuer un « découpage séquentiel » des puits « well 1 » et « well 2 » afin de reconstituer l'évolution verticale des formations traversées par ces puits, effectuée sur la base des enregistrements diagraphiques du Gamma Ray.
- L'identification des séquences et cortèges sédimentaires des puits « well 1 » et « well 2 » via l'application des concepts de la stratigraphie séquentielle pour en établir une corrélation entre puits en incorporant les puits « well 3 » et « well 4 » afin de retracer et reconstituer l'évolution spatiotemporelle des faciès.
- L'interprétation structurale des sections sismiques afin de confirmer les effets de la tectonique régionale ayant marqué l'histoire géologique de la région de « Rhourde el Hamra », objet d'étude de ce travail et, en même temps, mettre en relation les résultats déduits des enregistrements diagraphique du Gamma Ray avec les impacts érosifs de la discordance hercynienne.

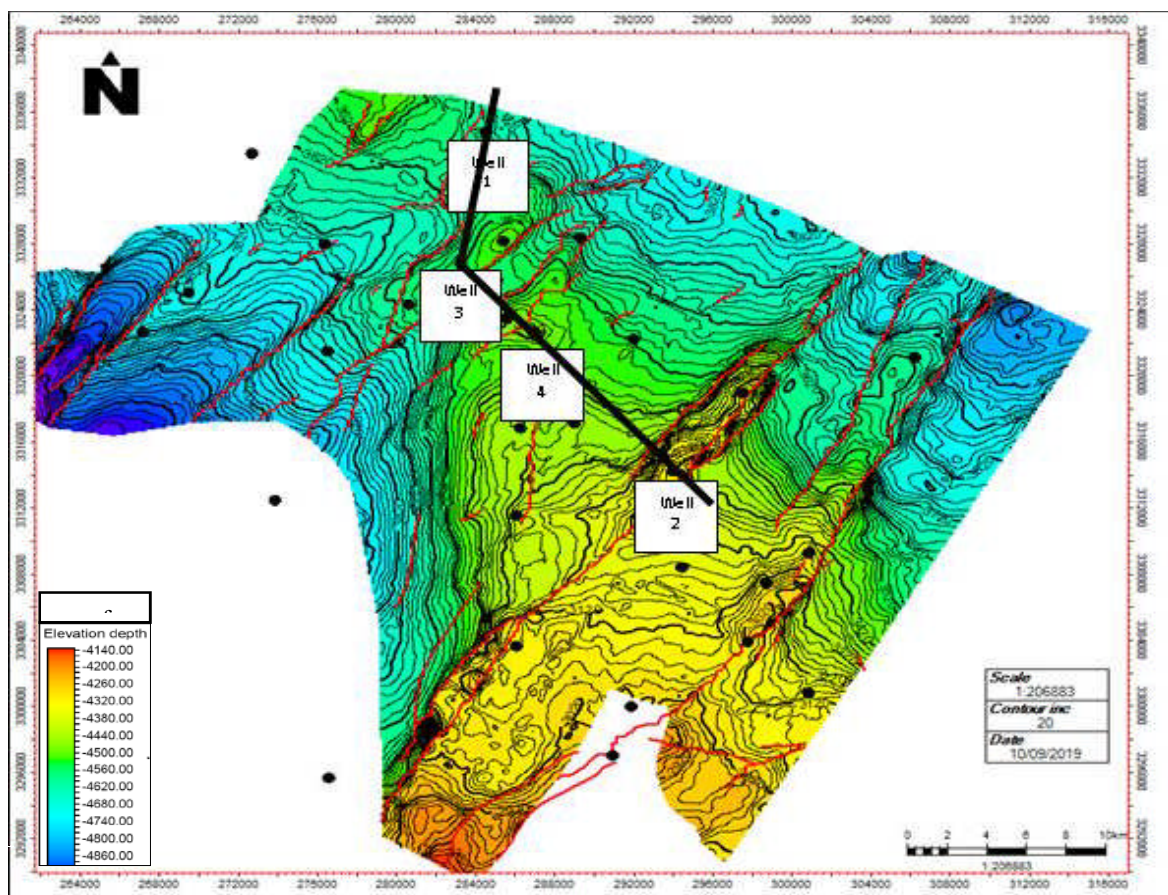


Figure III-01 : Carte de localisation des quatre (4) puits « well 1 » « well 2 » « well 3 » et « well 4 ».

## 2. Découpage séquentiel des puits « well 1 » et « well 2 ».

Cette procédure est exécutée sur la base des enregistrements diagraphiques du Gamma Ray en nous appuyant sur l'identification des différents environnements déduits de l'interprétation des données de carottes disponibles. Cette détermination vise la reconstitution des paléo-environnements et la mise en évidence des différentes surfaces-limites principales qui expriment des changements notables dans le système sédimentaire et son régime.

L'interprétation des réponses diagraphiques se focalise sur l'évolution verticale de la courbe de l'enregistrement du Gamma Ray. L'interprétation consiste à identifier les variations pertinentes sur les réponses diagraphiques dans les puits qui seront perçues comme les signatures des surfaces-limites qui traduisent à leur tour des événements stratigraphiques majeurs délimitant des unités sédimentaires de même genèse qui constituent soit des séquences soit des cortèges. Les surfaces-limites de discontinuité ou « unconformities » sont mises en évidence par des inflexions notables et des variations dans la morphologie de la réponse diagraphique du Gamma Ray. Ces changements dans l'intensité du signal et le gradient des variations de ses valeurs reflètent un régime diagraphique en lien avec la composition des formations traversées par les diagraphies du Gamma Ray ou des particularités dans leurs configurations intrinsèques ou faciès.

La détermination des surfaces-limites sur la courbe de l'enregistrement diagraphique du Gamma Ray se fonde ainsi sur la reconnaissance et la mise en évidence des différentes morphologies des réponses diagraphiques et la reconnaissance de la typicité de séquences ou tranches de signal que l'on qualifie d'électro-séquences et d'électro-faciès. L'interprétation des morphologies particulières des électro-séquences et des électro-faciès permet de passer à l'identification et la mise en relief des différents cortèges et séquences de dépôt. Après avoir déterminé les cortèges et les séquences de dépôt, le décryptage détaillé des attributs du signal diagraphique permet de distinguer une électro-séquence négative (électro-faciès) d'une électro-séquence positive (électro-faciès) que l'on traduira en une caractérisation du contenu faciologique (type de dépôts), le grano-classement au sein de ces corps (grano-classement croissant et grano-classement décroissant), pour remonter en fin de compte à l'architecture des dépôts (progradation, aggradation et rétrogradation) ainsi que retrouver l'alternance des dépôts et des faciès caractéristiques des formations traversées. Cette analyse permet de remonter enfin aux faciès et éventuellement aux environnements de dépôts.

Les informations extraites de l'analyse des courbes des diagraphies du Gamma Ray seront confrontées aux données de carottes pour leur donner plus de caractères lithostratigraphiques en vue d'en établir un modèle qui permettra de concevoir un profil de corrélation entre les puits « well 1 », « well 2 », « well 3 » et « well 4 ». Cette corrélation est suivie d'une discussion sur l'évolution verticale et horizontale des unités constitutives du réservoir. De la même façon, le profil de corrélation sera confronté aux données sismiques pour le replacer dans un contexte d'évolution spatiale des discontinuités érosives majeures et leurs impacts sur la consistance des unités du réservoir.

Ce découpage séquentiel exécuté sur les deux puits « well 1 » et « well 2 » par l'application des concepts phares de la stratigraphie séquentielle, est illustré sur la figure (III-02) pour le puits « well 1 » et sur la figure III-03 pour le puits « well 2 ». Cela consiste à la mise en évidence des différentes surface-limites discontinuités qui signent une variation importante dans la dynamique de dépôt et la lithologie des environnements de dépôts qui caractérisent les formations qui constituent les deux puits « well 1 » et « well 2 ».

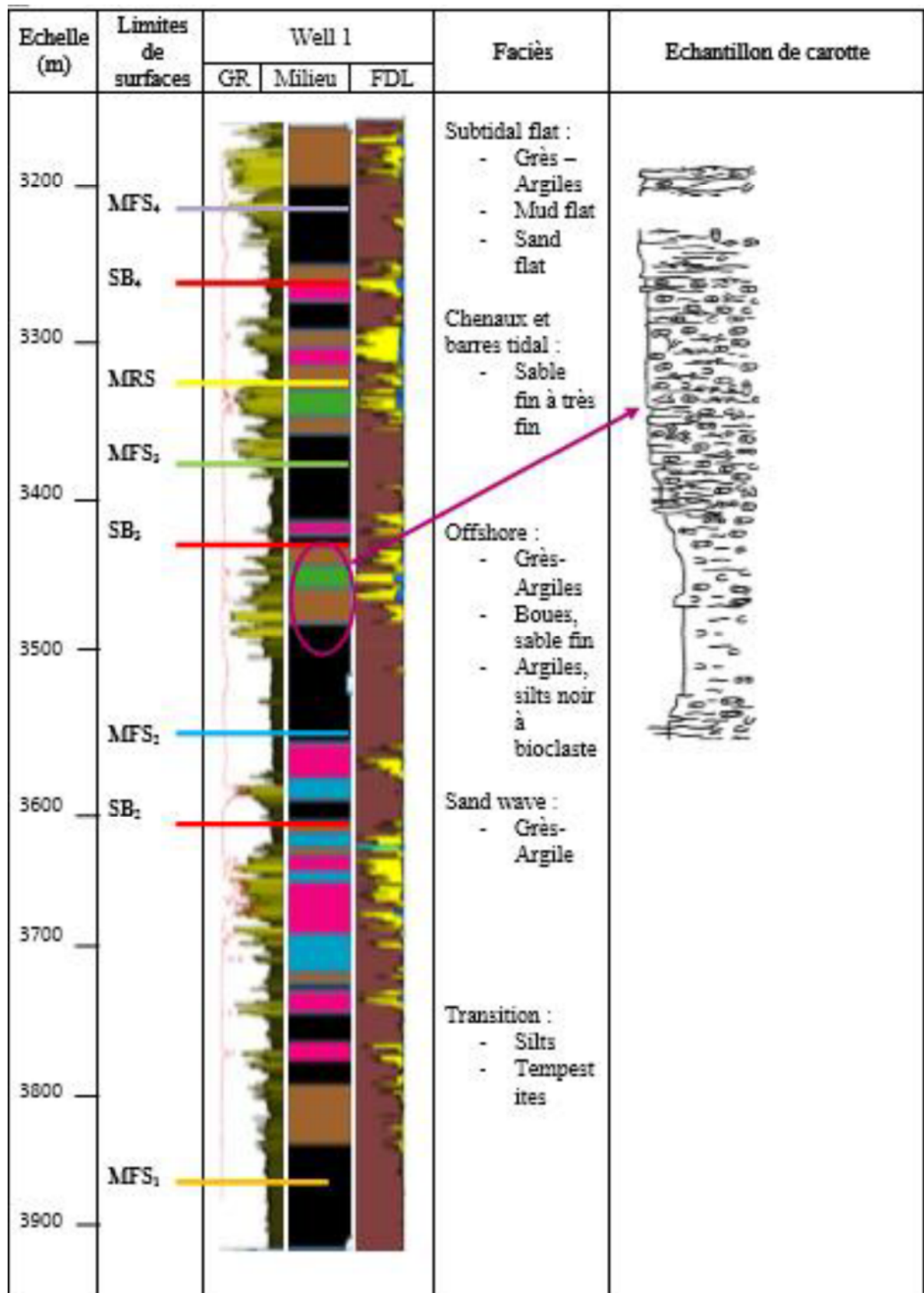


Figure III-02 : découpage séquentiel du puits « well 1 ».

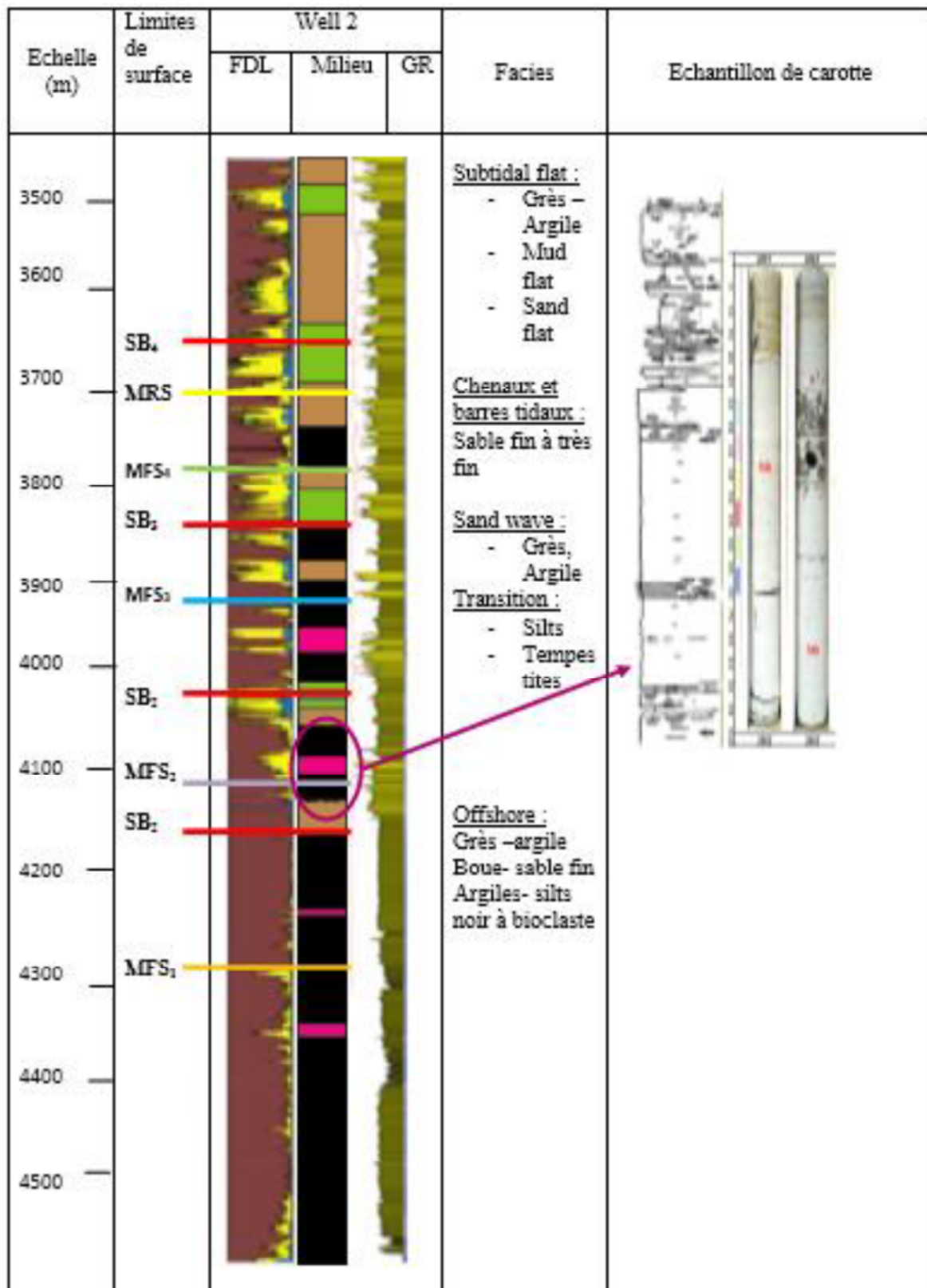
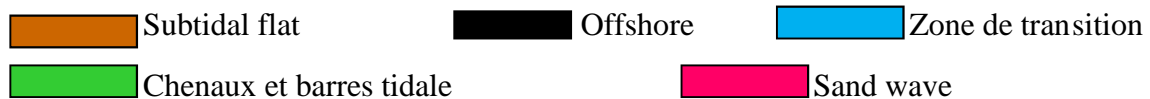


Figure III-03 : découpage séquentiel du puits « well 2 ».



Les séquences de dépôt rencontrées dans le puits « well 1 » (figure III-02) ont été établies grâce à l'interprétation de la courbe de l'enregistrement diagraphique du Gamma Ray. Cette courbe évolue suivant les types de formations rencontrées. Le passage d'une formation ou d'une lithologie à une autre s'exprime par des variations et des inflexions de la courbe représentative du signal diagraphique, qui peuvent être graduelles (progressives) ou abrupts (brusques). Ces inflexions définissent des valeurs de la radioactivité naturelle contenue dans les formations rencontrées ainsi que leur évolution. Ces limites sont mise en évidence par des inflexions de la courbe diagraphiques du Gamma Ray sur les profondeurs de 4000 m, 3600 m, 3420 m, 3270 m et 3192 m. En conséquence, la majorité des derniers termes du puits « well 1 » sont fortement érodés, y compris la limite supérieure de ses cortèges, ce qui empêche d'établir un contexte stratigraphique (temporel) pour définir les derniers cortèges de cette formation comme étant une séquence au sens stratigraphique.

Les quatre (4) séquences définissent une évolution d'environnements qui suit les différentes phases des fluctuations marines et, représentent le passage d'environnements peu profonds à des environnements profonds, avec un changement des faciès observable par l'évolution verticale des milieux de dépôt, qui sont soit profonds avec de l'offshore et du shoreface traversés par des épisodes de dépôt de transition ou soit des milieux moins profonds subtidaux en « sandflat » et en « mudflat ».

En contrepartie, l'analyse faciologique effectuée dans le puits « well 2 » (figure III-03), en combinant l'interprétation des carottes représentée sur le log des environnements de dépôt et la lecture descriptive de l'enregistrement diagraphique du Gamma Ray, met en évidence l'existence de plusieurs inflexions importantes qui indiquent d'importants changements lithologiques. Ces inflexions représentent des surfaces-limites définissant ainsi des intervalles de dépôt, des séquences et des cortèges. Sur le puits « well 1 », ces limites sont distinguées sur la courbe de l'enregistrement diagraphique du Gamma Ray par les profondeurs de 4370 m, 4040 m, 3860 m et 3680 m. Ces inflexions constituent des surfaces-limites aux séquences contenues dans le puits « well 2 » qui s'expriment par des changements importants de la radioactivité naturelle dont ces formations sont caractérisées.

Le puits « well 2 » exhibe quatre (4) séquences de dépôt qui se superposent suivant la dynamique de dépôt imposée par les fluctuations eustatiques et sont délimitées par des limites de séquence qui sont caractérisées par la même évolution globale du puits « well 2 ». Cette évolution est constatée verticalement par le changement de faciès et d'environnements de dépôt suivant les fluctuations eustatiques et ce qu'ils impliquent. Les séquences présentent un passage de milieux de dépôt profonds d'offshore et de shoreface avec un taux d'argilosité important à des milieux subtidaux caractérisés par un enrichissement graduel en grés et une diminution du taux de l'argilosité.

Comme pour le puits « well 1 », la dernière séquence présente dans le puits « well 2 » a subi une érosion causée par la « discordance hercynienne » qui a affecté l'ensemble de la plateforme saharienne. Mais contrairement au puits « well 1 », l'érosion de la « discordance hercynienne » est moindre et la portion érodée de la dernière séquence du puits « well 2 » est beaucoup moins importante que celle du puits « well 1 ». L'érosion a également affecté la limite supérieure de cette formation, ce qui empêche de concevoir les derniers cortèges sédimentaires comme étant une séquence dans un contexte stratigraphique.

En comparant les puits « well 1 » et « well 2 » en se basant sur les données acquises de l'interprétation des carottes et de la lecture descriptive exécutée sur les enregistrements diagraphiques du Gamma Ray, on retient le fait que l'évolution verticale des paléoenvironnements sur les deux puits est semblable en ce qui concerne les deux (2) premières séquences, dotées d'une dynamique régressive et interrompue par des passages transgressifs qui correspondent aux surfaces d'inondation maximale (MFS : Maximum Flooding Surface).

Les deux puits « well 1 » et « well 2 » présentent des évolutions distinctes qui nous procurent un modèle spatiotemporel selon lequel le niveau de la mer a évolué, avec des variations de la radioactivité naturelle exposées sur l'enregistrement diagraphique du Gamma Ray, qui montre ces variations sont l'expression de l'évolution du taux de l'argilosité dans ces formations, ce qui renvoie à l'évolution de la bathymétrie dans la région d'étude de Rhourde el Hamra du bassin de Berkine. Cette évolution renseigne également sur la proximité par rapport au rivage. C'est-à-dire l'évolution des fluctuations eustatiques qui correspondent à la dynamique de dépôt régie par les transgressions et les régressions.

L'analyse séquentielle des deux puits « well 1 » et « well 2 » révèle l'existence de deux (2) principaux milieux de dépôt qui sont régis essentiellement par la bathymétrie (la profondeur) ainsi que les par fluctuations eustatiques. Dans le puits « well 1 », l'analyse faciologique effectuée par l'interprétation des carottes combinée aux résultats des enregistrements diagraphiques du Gamma Ray montre la mise en place de deux cycles eustatiques globaux. Une phase régressive qui est caractérisée par de faibles valeurs du Gamma Ray et des environnements peu profonds subtidaux et une deuxième phase eustatique, caractérisée par plusieurs variations eustatiques, ce qui implique la mise en place de différents milieux de dépôt. Cette analyse montre également une diversification de ces milieux, qui est contrôlée par les fluctuations eustatiques et l'apport sédimentaire qui, est lui contrôlé par le climat et l'espace d'accommodation. Deux phases régressives illustrées par la détermination de milieux subtidaux caractérisés par une importante influence continentale avec un enrichissement graduel des séquences en grés propre. Ces deux phases se retrouvent interrompues par plusieurs hausses eustatiques qui permettent l'installation de dépôts intercalés profonds et argileux avec des environnements d'offshore et de shoreface.

### **3. Identification des cortèges sédimentaires du Siluro-Dévonien (Pridoli-Lochkovien) argilo-gréseux :**

L'identification des séquences et des cortèges sédimentaires s'effectue principalement par l'application des principes de la stratigraphie séquentielle sur les enregistrements diagraphiques notamment ceux du Gamma Ray. Cette identification se base littéralement sur la mise en évidence des différents points d'inflexion de la courbe du Gamma Ray et des variations graduelles ou brusques de cette courbe qui correspondent aux passages d'une séquence à l'autre (détermination du toit et du mur de la séquence) et d'un cortège à un autre.

**Well 1 :** localisé sur la partie nord-ouest de la région d'étude Rhourde el Hamra, situé entre les profondeurs de 4000 m à la base et 3200 m au sommet et comprenant une épaisseur cumulée de 800 m. Le puits « well 1 » est réparti sur la succession de (4) séquences (électroséquences) superposées qui sont régies par les fluctuations eustatiques.

a) **Séquence I** : l'analyse de la courbe de l'enregistrement diagraphique du Gamma Ray révèle l'existence de deux (2) importantes inflexions qui correspondent aux profondeurs de 4000 m et 3600 m de profondeur correspondant aux valeurs de l'enregistrement du Gamma Ray de 60 API pour la limite inférieure (le mur) et de 30 API pour la limite supérieure (le toit). Ces ruptures de la courbe diagraphique correspondent à des changements importants lithologiques, qui encadrent une électroséquence illustrée sur la figure III-04. La lecture descriptive de la réponse diagraphique à la hauteur de la séquence nous montre la succession de deux (2) cortèges sédimentaires (figure III-04).

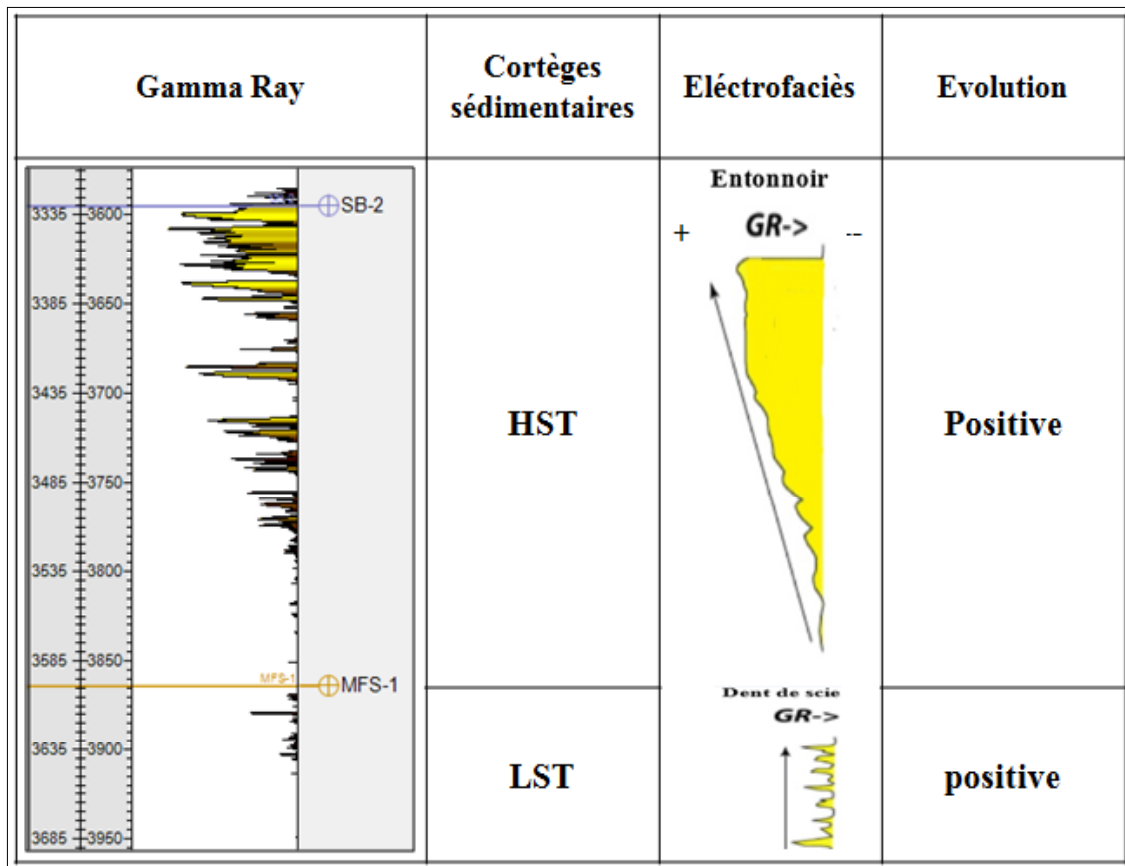


Figure III-04 : cortège sédimentaire de la séquence I du well 1

- L'inflexion à la profondeur de 4000 m de l'électroséquence constitue la limite inférieure (le mur) de ce cortège et mise en évidence par l'inflexion de la courbe diagraphique du Gamma Ray avec une baisse de la valeur de ce dernier et distingue une valeur de 60 API. Cette limite constitue la surface-limite basale de ce cortège et elle est de type SB. Le signal diagraphique du Gamma Ray identifie une inflexion importante synonyme d'une augmentation des valeurs du Gamma Ray à la profondeur de 3870 m avec une valeur de 145 API et constitue la limite supérieure (le toit) de ce cortège (le toit). Cette limite est une surface d'inondation maximale caractérisée par la valeur la plus élevée du Gamma Ray synonyme d'un haut taux en argile à ce niveau. Ces limites déterminent le premier cortège caractérisé par une allure (morphologie) de l'électrofaciès qui garde le même aspect de la base au sommet, avec des alternances de basses et de hautes valeurs du Gamma Ray qui traduisent l'alternance des dépôts au long de ce cortège et cette morphologie coïncide avec un type d'électrofaciès en forme de « dents de scie » (figure

III-04). La forme de l'électrofaciès traduit un **cortège de bas niveau marin** ou **Lowstand System Tract (LST)**. Ce cortège présente également une évolution qu'on peut supposer positive (électroséquence  $> 0$ ) et un granoclassement granocroissant, avec une architecture aggradante. Ceci est le résultat de la stabilité du niveau eustatique pendant une longue période. Cette lecture descriptive de l'enregistrement diagraphique du Gamma Ray est confirmée par les données extraites des carottes, qui distinguent une alternance de dépôts argileux-gréseux et une granulométrie avec une taille des grains qui augmente et diminue suivant l'alternance des dépôts argileux-argileux (figure III-04).

- La limite supérieure du cortège précédent constitue la limite inférieure (le mur) du cortège suivant à la profondeur de 3860 m et souligné sur l'enregistrement diagraphique par la valeur 145 API, qui une surface d'inondation maximale. Au sommet de cet intervalle, une inflexion de la courbe diagraphique avec une chute importante de la valeur du Gamma Ray à la profondeur de 3600 m avec une valeur de 30 API du Gamma Ray et définissant ainsi une limite de séquence de type SB qui représente la limite supérieure (le toit) de ce cortège. Le signal diagraphique montre un électrofaciès en forme d'« entonnoir » (figure III-04), caractérisé par une évolution positive granocroissante (électroséquence  $> 0$ ) de bas en haut avec des valeurs du Gamma Ray qui diminuent de 145 API jusqu'à atteindre 30 API. Cet intervalle est un **cortège de haut niveau marin** ou **Highstand System Tract (HST)**, qui présente une évolution positive synonyme d'une régression (baisse du niveau marin relatif) avec une architecture des corps sédimentaires progradante. Ce cortège de haut niveau marin illustré sur la figure (III-04), est caractérisé par un faible taux d'argilosité ce qui explique les valeurs faibles de la radioactivité naturelle représentées sur l'enregistrement diagraphique du Gamma Ray, avec des milieux de dépôt moins profonds et un enrichissement graduel en grés-argileux et en grés propres et grossier. Ces milieux sont également identifiés grâce à l'interprétation des carottes effectuée par la Sonatrach, sur lesquelles des milieux de dépôt subtidaux ont été identifiés (figure III-04).

- b) **Séquence II** : limitée à la base (le mur) et au sommet (le toit) par une limite de séquence (SB : Sequence Boundary) déterminée sur l'enregistrement diagraphique Gamma Ray par une importante inflexion (baisse) de la courbe diagraphique qui montre une valeur de 30API pour la discontinuité basale et 50API pour la discontinuité sommitale. Cette séquence est dotée d'une évolution de faciès et d'environnements subtidaux à des environnements marins plus profonds, déduite suite à l'analyse des carottes représentées sur le log des milieux de dépôts et les variations de la courbe du Gamma Ray, qui traduit l'évolution de l'argilosité dans ces dépôts. La deuxième séquence du puits « well 1 » est comprise entre les profondeurs de 3600m et 3420m sur une épaisseur de 180m, elle est constituée de la succession de deux (2) cortèges sédimentaires distincts, séparés par une surface d'inondation maximale (MFS : Maximum Flooding Surface) (figure III-05).

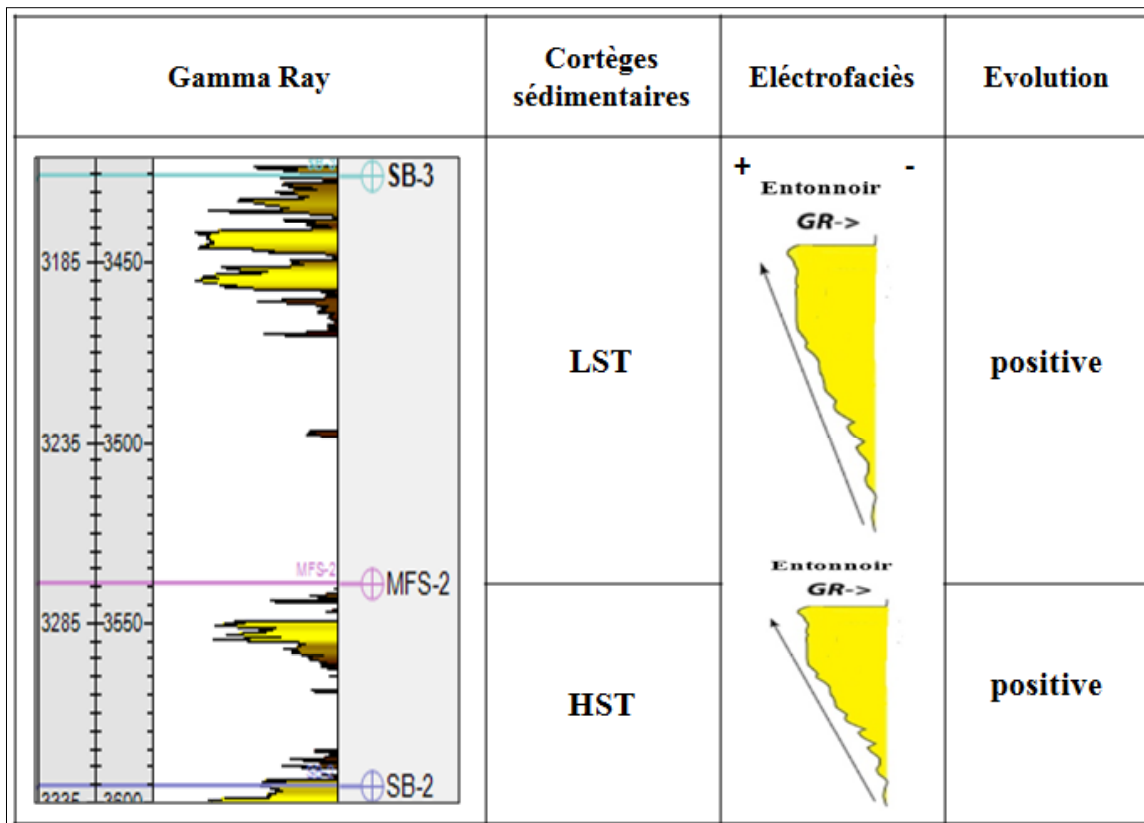


Figure III-05: cortège sédimentaire de la séquence II du well 1.

- Le signal diagraphique mis en évidence une inflexion de sa courbe avec une valeur de 30 API à la profondeur de 3600 m et constitue la limite inférieure (le mur) de ce cortège. A la profondeur 3540, une inflexion de la courbe diagraphique du Gamma Ray qui indique une valeur de 135 API définissant ainsi une surface d'inondation maximale (MFS) qui constitue la limite supérieure (le toit) de ce cortège. Ces deux limites encadrent un **cortège de haut niveau marin** ou **Highstand System Tract (HST)**. Ce cortège se présente sous une allure positive (électroséquence > 0), avec un granoclassement croissant et une architecture progradante. L'allure de l'enregistrement diagraphique de ce cortège définit une forme « d'entonnoir » (figure III-05), caractérisé par un enrichissement progressif en grès propres et des passées argileuses. Cette architecture rétrogradante est le résultat d'une régression (baisse du niveau marin relatif), ce qui induit la mise en place de milieux de dépôt moins profonds subtidaux. Ces environnements de dépôt sont également identifiés par l'interprétation de carottes, ce qui permet de corréliser avec les résultats de la lecture descriptive de la courbe de l'enregistrement du Gamma Ray
- La surface d'inondation maximale (MFS) située à la profondeur 3540 m et une valeur du Gamma Ray de 135 API constitue la limite inférieure (le mur) de ce cortège, marque le point d'inflexion de la courbe diagraphique la plus élevée. En suivant l'évolution de la courbe diagraphique à partir de la surface d'inondation maximale, les valeurs de l'enregistrement diagraphique diminuent jusqu'à indiquer la valeur la plus basse à la profondeur 3450 m avec une valeur de 50 API, définissant ainsi une surface-limite de type SB et qui représente la limite supérieure (le toit) de ce cortège. Ces limites définissent un **cortège de bas niveau marin** ou **Lowstand System Tract (LST)**. Sur l'enregistrement diagraphique du Gamma Ray, ce cortège se présente l'allure d'un électrofaciès dont la

forme est difficilement reconnaissable, ce qui veut dire que la morphologie de cet électrofaciès peut-être en forme d'« entonnoir » ou en en forme d'« œuf ». Cela implique l'existence de deux (2) évolutions distinctes, car dans le cas où l'électrofaciès de ce cortège de bas niveau marin prend la morphologie d'un entonnoir (figure III-05), le cortège aurait une évolution positive granocroissante (électrofaciès  $> 0$ ), avec une architecture progradante due à la baisse du niveau marin relatif (regression), alors que si l'électrofaciès de ce cortège est en forme d'œuf, cela implique l'existence d'une évolution positive granocroissante (électrofaciès  $> 0$ ) avec une architecture progradante due à la baisse du niveau marin (regression), suivie d'une autre évolution négative granodécroissante (électrofaciès  $< 0$ ) et une architecture rétrogradante causée par une hausse du niveau marin relatif (transgression). Sur ce cortège de bas niveau marin (LST) le taux de l'argilosité diminue de 135 API jusqu'à 50 API, avec l'enrichissement progressif en grès propres suivant la mise en place de milieux de dépôt profonds à des milieux de dépôt moins profonds subtidaux (figure III-05).

- c) **Séquence III** : caractérisée par une épaisseur de 190m comprise entre les épaisseurs de 3420m et 3270m, limitée à la base (le mur) et au sommet (le toit) par une limite de séquence SB. Ces limites sont définies à partir de l'enregistrement du Gamma Ray, qui indique des valeurs faibles d'argilosité avoisinant les 50API, traduisant des appauvrissements importants en argile. Ces surfaces sont caractérisées également en étant des surfaces érosives, cette particularité est confirmée également par l'analyse faciologique des données de carottes. Cette séquence est constituée de deux (2) cortèges sédimentaires, séparés par une surface d'inondation maximale (MFS), présentant un changement de dépôts et d'environnements munis d'une évolution positive granocroissante, déduite de l'allure de l'enregistrement du Gamma Ray (figure III-06).

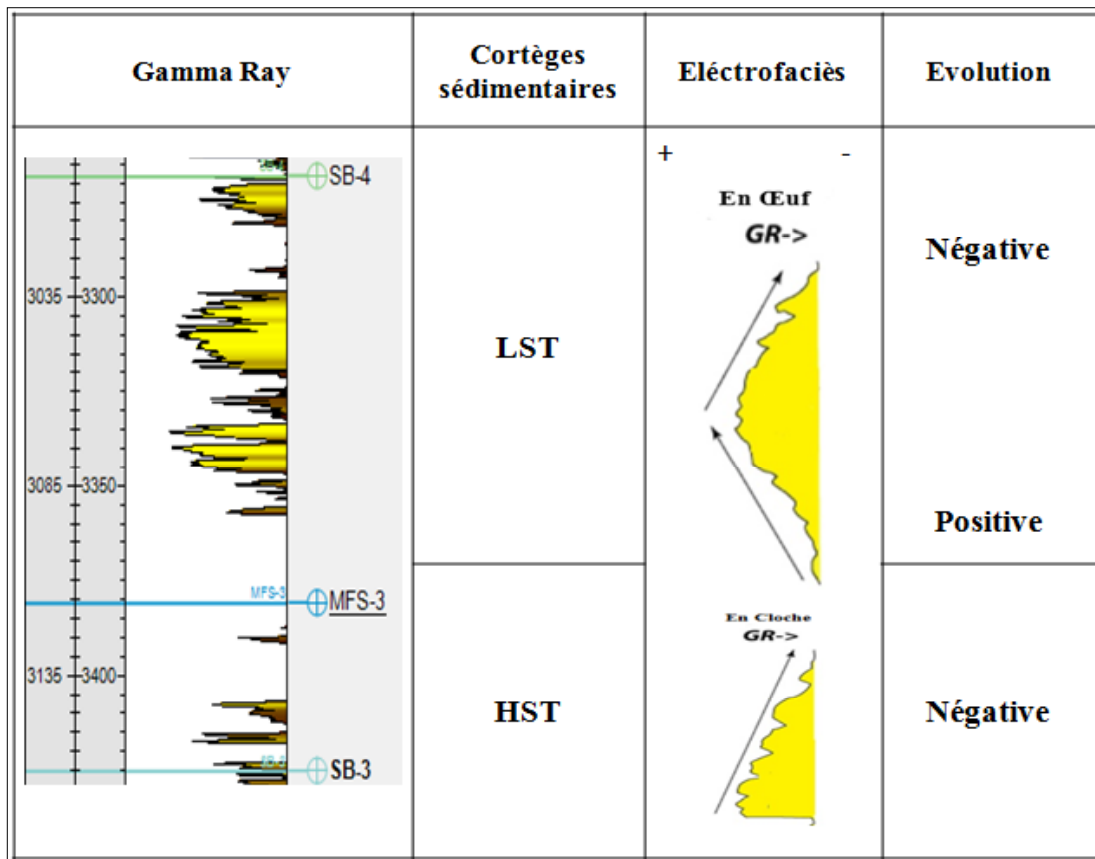


Figure III-06 : cortège sédimentaire de la séquence III du well 1.

- Limité à la base par une limite de séquence SB érosive constituant la limite inférieure (le mur) mise en évidence avec l'inflexion de la courbe diagraphique de l'enregistrement du Gamma Ray à la profondeur 3450 m avec la valeur 50 API. La courbe diagraphique enregistre une autre inflexion progressive avec une augmentation des valeurs du Gamma Ray à la hauteur de 140 API sur la profondeur de 3370 m qui constitue une surface d'inondation maximale (MFS) ainsi que la limite supérieure (le toit) de ce cortège. La courbe diagraphique de cet enregistrement et les deux surfaces-limites définissent un **cortège de haut niveau marin** ou **Highstand System Tract (HST)**, caractérisé par une allure de l'électroséquence en forme de « cloche », qui interprète une évolution négative (figure III-06) (électroséquence < 0) avec un granoclassement décroissant et une architecture des corps sédimentaires rétrogradante qui est le résultat d'une élévation du niveau eustatique relatif (transgression). Cette élévation eustatique est illustrée par la hausse progressive des valeurs du Gamma Ray (de 50 API à 140 API), ce qui implique la mise en place de milieux de dépôt profonds avec des environnements d'offshore et de shoreface, déterminés également par l'interprétation des carottes.
- La surface d'inondation maximale (MFS) mise en évidence du cortège précédent à la profondeur 3370 m et la valeur 140 API du Gamma Ray, constitue la limite basale (le mur) de ce cortège. L'enregistrement diagraphique note deux (2) importantes inflexions graduelles illustrées par une diminution puis une élévation des valeurs du Gamma Ray. Cette courbe signe une rupture importante à la profondeur 3270 m illustrée par la faible valeur du Gamma Ray 50 API. Cette inflexion constitue une surface-limite de type SB qui représente la limite supérieure (le toit) de ce cortège. Ces deux limites mises en évidence

grâce à la lecture descriptive du signal diagraphique du Gamma Ray, constituent un **cortège de bas niveau marin** ou **Lowstand System Tract (LST)**. La courbe de ce cortège (électrofaciès) prend une forme en « œuf » (figure III-06) ce qui implique l'existence d'une double évolution verticale, qui est positive (électrofaciès  $> 0$ ) de la profondeur 3370 m avec la valeur 140 API jusqu'à la profondeur 3325 m à la valeur 15 API, qui est le résultat d'un enrichissement progressif en grés argileux puis en grés propres, avec une granulométrie granocroissante et une architecture progradante des termes sédimentaires. Ces dépôts gréseux rétrogradants sont dus à la baisse du niveau eustatique relatif ce qui induit la mise en place de milieux de dépôt moins profonds avec une faible tranche d'eau tels que les environnements subtidaux. De la profondeur 3325 m, la courbe diagraphique s'inverse en polarité et présente une évolution négative (électrofaciès  $< 0$ ) avec une inflexion progressive jusqu'à la profondeur 3270 m représentée par la valeur de 140 API du Gamma Ray, suite à un enrichissement en argile-gréseuse, avec une granulométrie granodécroissante et une architecture rétrogradante des termes sédimentaires que ce passage comporte. Cette architecture est le résultat d'une hausse eustatique, exprimée par l'enrichissement en argile et la mise en place des environnements profonds, mis en évidence par l'interprétation des carottes en caractérisant des milieux de dépôt d'offshore et de shoreface.

- b) Séquence IV :** cette séquence présente l'épaisseur la plus mince sur le puits « well 1 ». Cet amincissement est dû au fait que la région d'étude est très affectée par l'érosion occasionnée par la « discordance hercynienne », qui a érodé fortement cette zone du bassin et qui représente également le toit du Silurien ainsi que celui des formations constituantes de ce puits. La quatrième (4<sup>ème</sup>) séquence est limitée à la base (le mur) par une limite de séquence SB qui se situe à la profondeur de 3340 m qui s'étend sur environ 140 m d'épaisseur. Le toit de cette séquence ne peut pas être distingué sur l'enregistrement diagraphique du Gamma Ray, en conséquent, une limite supérieure ne peut être assignée à cette séquence. Cette lacune est due à l'importante érosion occasionnée par « la discordance hercynienne » qui a érodée une grande partie de cette formation y compris le toit de cette séquence ainsi que la continuité de ses cortèges (figure III-07).

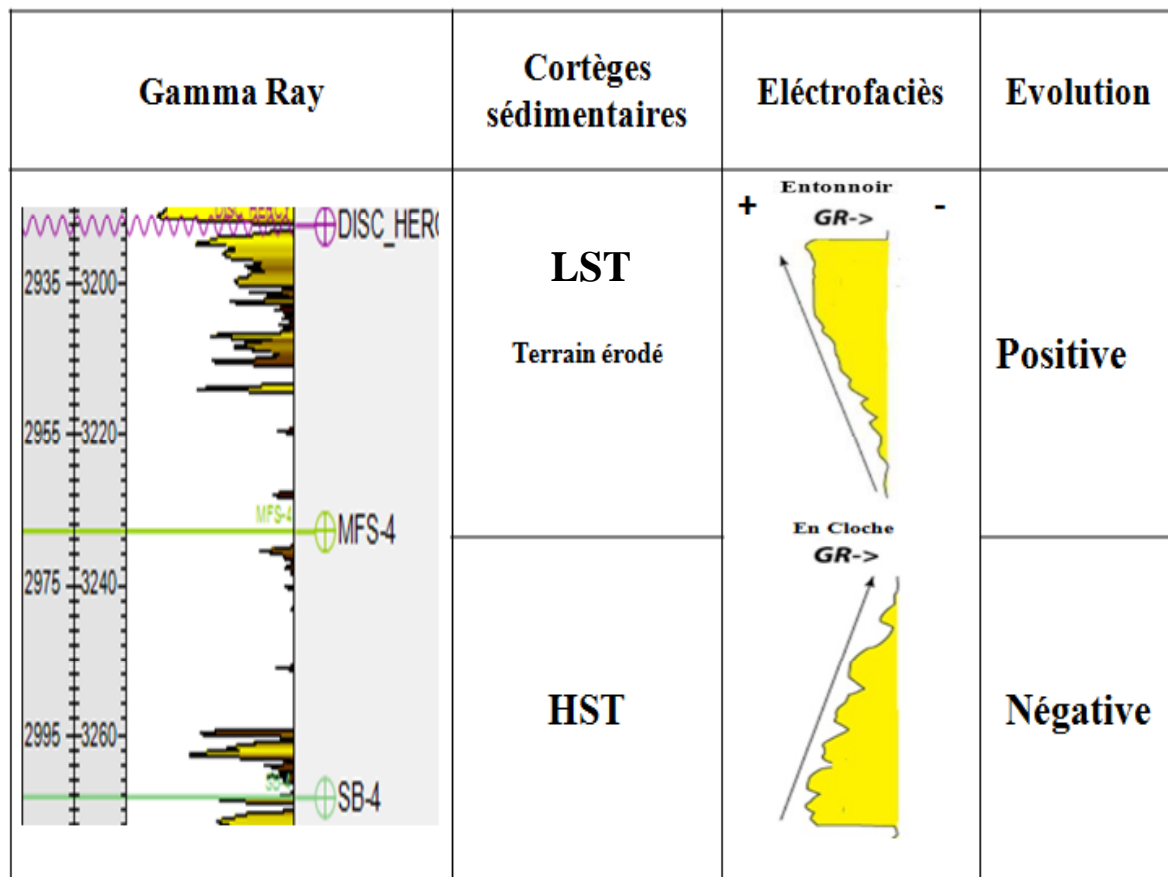


Figure III-07 : cortège sédimentaire de la IV du well 1.

- La limite supérieure du cortège précédent (SB) à la profondeur 3340 m avec la valeur de 50 API constitue la limite inférieure (le mur) de ce cortège. La courbe du signal diagraphique enregistre une inflexion abrupte à la profondeur 3230 m et une valeur du Gamma Ray de 150 API qui représente une surface d'inondation maximale (MFS), et cette surface constitue la limite supérieure (le toit) de ce cortège. Ces deux limites définissent un **cortège de haut niveau marin** ou **Highstand System Tract (HST)**. La courbe diagraphique du Gamma Ray conçoit une forme en « cloche » (figure III-07), qui signifie une évolution négative (électroséquence < 0) avec une élévation progressive des valeurs de la radioactivité naturelle, synonyme un enrichissement en argile. L'allure du Gamma Ray qui se présente en forme de « cloche » (figure III-07) signifie également une hausse du niveau marin relatif, induisant ainsi une granulométrie granodécroissante avec des dépôts de plus en plus fins, avec une architecture rétrogradante suivant l'élévation du niveau eustatique. Cette dynamique de dépôt fait en sorte la mise en place de milieux de dépôt de plus en plus profonds. Ces environnements sont mis en évidence par l'interprétation des carottes qui caractérisent des milieux de dépôt profonds avec un taux d'argilosité élevé tels que les milieux offshore et shoreface.
- Les dépôts qui se sont déposés au-dessus du cortège précédent sur la surface d'inondation maximale à la profondeur 2230 m et à la valeur de 150 API qui représente la limite inférieure (le mur) de ce cortège. Les termes supérieurs de ce cortège ont subi l'érosion de le

« discordance hercynienne », ce qui nous empêche de déterminer ces termes dans un contexte stratigraphique. La lecture descriptive de la courbe diagraphique du Gamma Ray effectuée sur l'enregistrement peut supposer la mise en évidence d'un **cortège de bas niveau marin** ou **Lowstand System Tract (LST)**. Cette supposition est le résultat des valeurs du Gamma Ray qui diminuent de 150 API jusqu'à 30 API qui coïncide à la valeur de la « discordance hercynienne » sur l'enregistrement diagraphique du Gamma Ray. L'allure de la courbe diagraphique montre une évolution positive (électrofaciès > 0), caractérisé par un électrofaciès en forme d'entonnoir » (figure III-07). Ce cortège comprend une granulométrie granocroissante et une architecture progradante de ces derniers termes de cette formation. Cette diminution des valeurs de l'enregistrement diagraphique du Gamma Ray est le résultat de l'appauvrissement graduel en argile et l'enrichissement progressif en grès-argileux puis en grès propres suite à la chute du niveau marin relatif, et la mise en place de milieux de dépôt moins profonds avec une évolution graduelle d'environnements profonds à partir de la valeur de 150 API à des environnements moins profonds jusqu'à la valeur de 30 API (figure III-07).

**Well 2 :** localisé sur la bordure sud-est de la zone d'étude Rhourde el Hamra, le puits « well 2 » s'étend sur une épaisseur totale de 875m et comporte quatre (4) séquences superposées comprenant plusieurs cortèges sédimentaires traduisant différentes fluctuations eustatiques. Sur ce puits, l'allure globale de l'enregistrement diagraphique du Gamma Ray et l'interprétation des carottes déjà effectuée par la Sonatrach montrent une évolution globale d'environnements profonds d'offshore à shoreface vers des environnements moins profonds et subtidaux, ce qui traduit un enrichissement graduel en grès propres et une baisse progressive du niveau eustatique.

- a) **Séquence I :** la première (1<sup>ère</sup>) séquence de ce puits est limitée à la base (le mur de la séquence) et au sommet (le toit de la séquence) par deux (2) limites de séquence (SB), mises en évidence sur l'enregistrement diagraphique par de très faibles valeurs du Gamma Ray encadrée par les profondeurs de 4370m et 4040m et les valeurs de 90 API pour la limite inférieure (le mur) et 70 API pour la limite supérieure (le toit), sur une épaisseur globale de 330m, sectionnée en deux (2) cortèges sédimentaires distincts par une surface d'inondation maximale (MFS) indiquée par la valeur la plus élevée du Gamma Ray de 145API qui s'accorde avec le taux le plus élevé de l'argilosité (figure III-08).

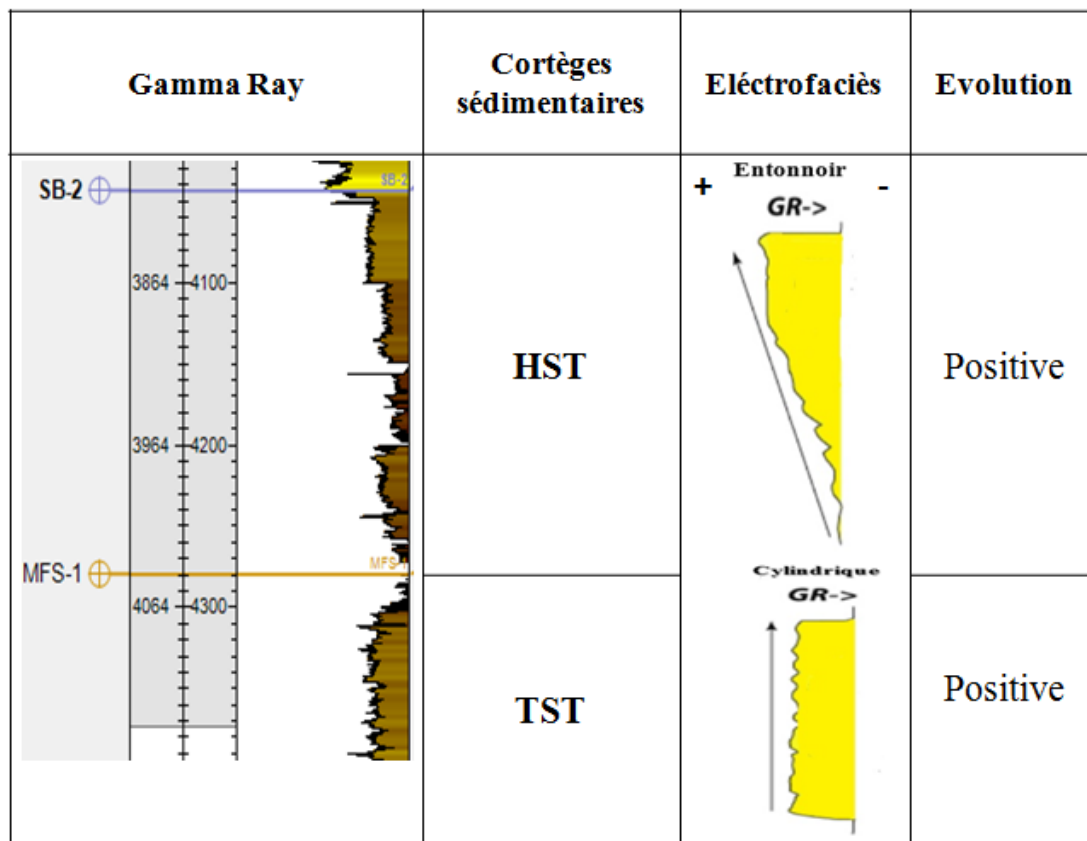


Figure III-08: cortège sédimentaire de la séquence I du well 2.

- La courbe diagraphique du Gamma Ray enregistre une inflexion due à la diminution des valeurs de la radioactivité naturelle, illustrée par la valeur de 80 API à la profondeur 4370 m sur et constitue la limite inférieure (le mur) de cortège. A la profondeur 4280 m, la courbe diagraphique de l'enregistrement du Gamma Ray enregistre une importante inflexion abrupte avec la valeur de 150 API qui constitue une surface d'inondation maximale (MFS) et que l'on considère la limite supérieure (le toit) de ce cortège. Ces deux limites définissent un **cortège transgressif** ou **Transgressive System Tract (TST)** qui est caractérisé par un électrofaciès en forme « cylindrique » (figure III-08), qui traduit une architecture aggradante et une évolution qui passe de positive à négative de la base au sommet de cet intervalle. Ce cortège s'est déposé suite à l'élévation du niveau marin relatif (transgression), ce qui implique la mise en place de dépôts fins argileux et des milieux de dépôts profonds tels que l'offshore et le shoreface retrouvés par l'interprétation des carottes effectuée auparavant par la Sonatrach.
- La courbe diagraphique de l'enregistrement du Gamma Ray note une inflexion importante à la profondeur 4280 m qui désigne la valeur la plus élevée du Gamma Ray sur ce cortège qui est de 150 API, qui constitue une surface d'inondation maximale (MFS) et la limite inférieure de ce cortège (le mur). Au sommet de ce cortège, la courbe du signal diagraphique enregistre une inflexion à la profondeur de 4040 m, qui signe une rupture abrupte (brusque) de cette courbe diagraphique et caractérisée par une diminution brusque des valeurs enregistrées de la radioactivité naturelle avec une valeur de 80 API, qui constitue la limite supérieure (le toit) de ce cortège.

Ces deux (2) limites définissent un **cortège de haut niveau marin** ou **Highstand System Tract (HST)**. La courbe de l'enregistrement du Gamma Ray est caractérisée par une allure (morphologie de l'électrofaciès) en forme d'«entonnoir» qui exprime la chute des valeurs du Gamma Ray (figure III-08). Cette morphologie détermine une évolution positive (électrofaciès > 0), avec une granulométrie granocroissante et une architecture progradante des termes sédimentaires, résultant de la baisse du niveau marin relatif. Cette baisse est de faible ampleur et elle est exprimée par la diminution des valeurs du Gamma Ray de la surface-limite inférieure (le mur) qui est 150 API jusqu'à la valeur qui correspond à la surface-limite supérieure (le toit) et qui est de 80 API. Ce cortège de haut niveau marin caractérisé par la mise en place d'environnements profonds avec des valeurs élevées du taux de l'argilosité à la base, qui évoluent vers des environnements moins profonds et des milieux de transition avec des valeurs moins élevées du taux d'argilosité, ce qui est dû à la baisse du niveau marin relatif.

**b) Séquence II :** cette séquence suit la dynamique globale des formations constituant le puits « well 1 ». Elle est comprise entre les profondeurs 4045 m et 3855m, sur une épaisseur de 180m. Limitée à la base (le mur) avec la valeur de l'enregistrement diagrammique du Gamma Ray de 70 API et au sommet (le toit) par une limite de séquence (SB) qui est indiquée par la valeur du Gamma Ray de 70 API (figure III-09).

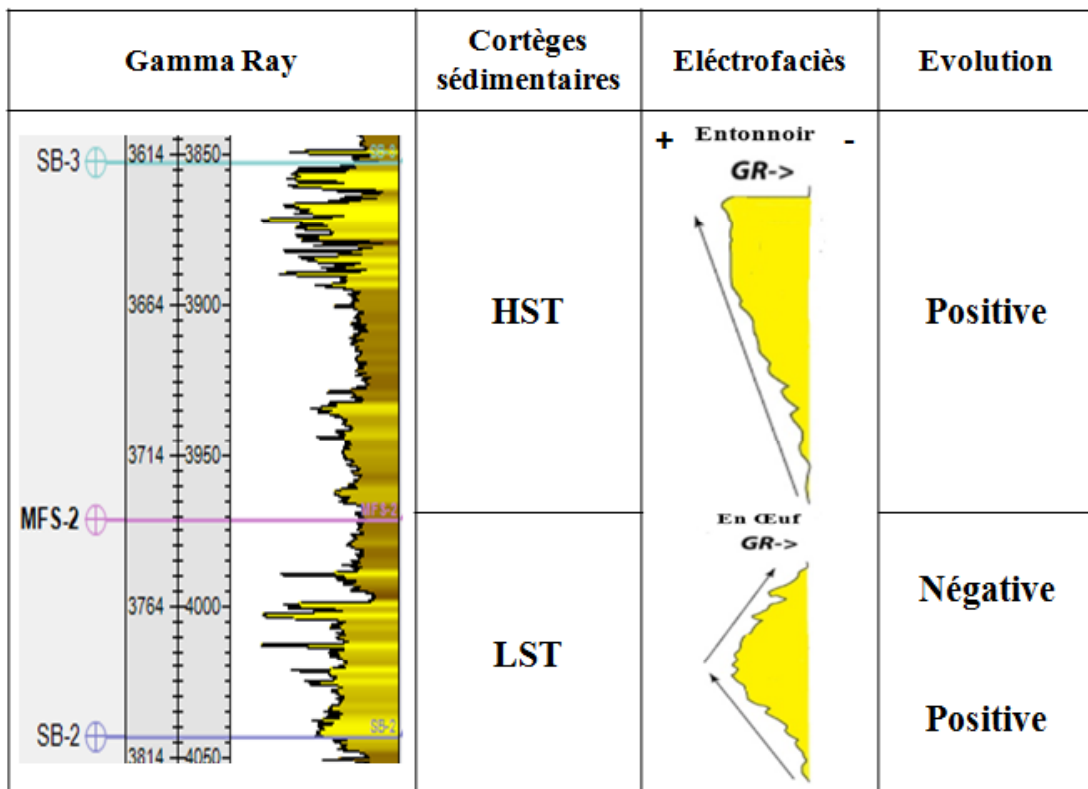


Figure III-09 : cortège sédimentaire de la séquence II du well 2.

- La courbe de l'enregistrement diagraphique du Gamma Ray mis en relief une inflexion à la profondeur de 4045 m qui correspond à une diminution des valeurs du Gamma Ray qui indique la valeur de 70 API et qui représente la limite inférieure (le mur) de ce cortège. Cette courbe enregistre une diminution graduelle des valeurs du Gamma Ray jusqu'à atteindre la valeur de 30 API à la profondeur de 4010 m, suivie d'une inversion de la polarité de la courbe diagraphique du Gamma Ray qui enregistre une élévation de ses valeurs à partir de la profondeur de 4010 m et la valeur de 30 API, jusqu'à atteindre la valeur la plus élevée de ce cortège à la profondeur 3970 m avec la valeur de 140 API et qui représente la limite supérieure (le toit) de ce cortège, qui constitue une surface d'inondation maximale (MFS). Ces deux limites définissent un **cortège de bas niveau marin** ou **Lowstand System Tract (LST)**, dont l'électrofaciès épouse la forme en « œuf » (figure III-09). Cette morphologie est synonyme d'une double évolution, avec une évolution positive (électrofaciès  $> 0$ ) des dépôts avec une diminution des valeurs du Gamma Ray (de 70 API jusqu'à 30 API), de la base de cortège à la profondeur 4045 m jusqu'à la profondeur 4010, avec une granulométrie granocroissante et une architecture progradante de ses termes. Une deuxième évolution s'est mise en place au niveau de la profondeur 4045 m avec une élévation des valeurs du Gamma Ray de 30 API jusqu'à 140 API (valeur de la MFS). Cette évolution est négative (figure III-09) (électrofaciès  $< 0$ ), avec une granulométrie granodécroissante et une architecture rétrogradante de ses dépôts. Ces deux évolutions sont le résultat d'une baisse niveau eustatique relatif (régression), qui implique la diminution du taux de l'argilosité dans la première partie de ce cortège et illustrée par la diminution des valeurs du Gamma Ray, suivie d'une augmentation du niveau marin relatif mise en évidence de l'augmentation des valeurs du Gamma Ray, qui est due à l'augmentation du taux de l'argilosité dans les dépôts de la deuxième partie de cortège à partir de la profondeur de 4010 m jusqu'à 3970 m en de la valeur de 30 API à la valeur 140 API. Ces deux phases du niveau marin (régression et transgression) permettent l'installation de deux (2) domaines sédimentaires, avec des milieux subtidaux caractérisés par de faibles taux d'argile et des milieux plus profonds tels l'offshore caractérisés d'un haut taux en argile, corrélables avec les données extraites de l'interprétation des carottes.
- La courbe du Gamma Ray enregistre une diminution de ses valeurs au-dessus du toit du cortège précédent, sur la profondeur de 3970 m avec la valeur de 140 API et qui représente la limite inférieure de cortège. La courbe diagraphique en déclin enregistre une inflexion signe d'une rupture graduelle et d'une faible valeur du Gamma Ray sur la profondeur de 3860 m indiquée par la valeur 70 API, qui représente la limite supérieure (le toit) de ce cortège et qui est une surface-limite de type (SB). Ces deux limites définissent un **cortège de haut niveau marin** ou **Highstand System Tract (HST)** (figure III-09). La courbe du signal diagraphique montre une diminution progressive des valeurs du Gamma Ray, en forme d'« entonnoir » (figure III-09), qui exprime un enrichissement progressif en grés-argileux, avec une granulométrie granocroissante et une architecture progradante des dépôts de ce cortège. Cette architecture est causée par la chute du niveau marin relatif, illustré par la diminution des valeurs de l'enregistrement diagraphique du Gamma Ray, qui passent de la valeur de 140 API sur la profondeur de 3970m à la valeur de 70 API sur la profondeur de 3860 m. Cette diminution des valeurs du Gamma Ray illustre le passage progressif de milieux profonds à des milieux moins profonds, avec la chute du taux d'argile dans ces formations, comme l'indique toujours la diminution des valeurs du Gamma Ray. Cette lecture de la

courbe du signal diagraphique est confrontée avec les résultats de l'interprétation des carottes, qui caractérise des environnements profonds tels que l'offshore qui évoluent à des environnements moins profonds tels le shoreface.

c) **Séquence III** : la mise en place de la limite de séquence (SB) indiquée par la valeur de 70 API sur la profondeur de 3860m sur l'enregistrement du Gamma Ray, est la limite basale (le mur) de cette séquence. Au sommet, une autre limite de séquence (SB) constitue le toit de cette séquence mise en évidence par la faible valeur du Gamma Ray de 35 API et la profondeur de 3680 m qui s'étend sur 180m, entre les profondeurs de 3860 m et 3680 m (figure III-10).

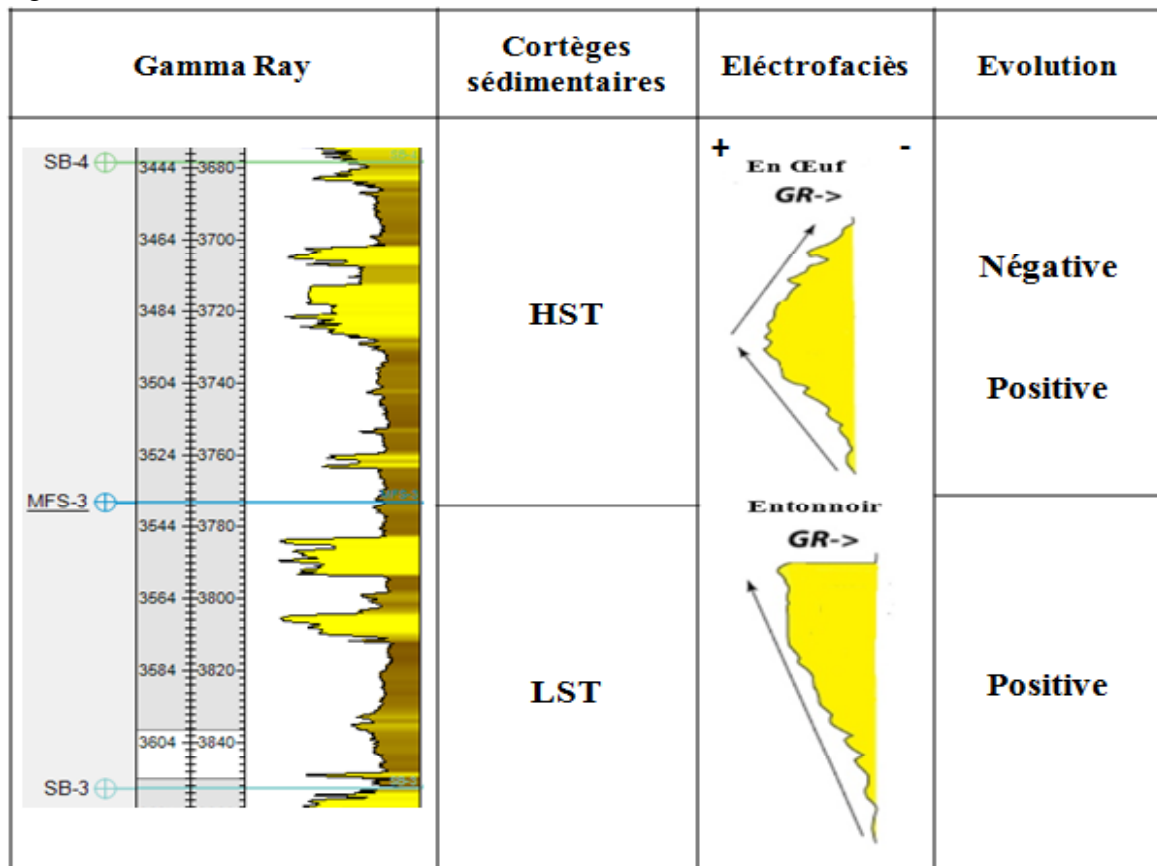


Figure III-10: cortège sédimentaire de la séquence III du well 2.

➤ Limité à la base par une limite de séquence (SB) érosive mise en évidence par la lecture de l'enregistrement diagraphique du Gamma Ray et qui indique une valeur de 30API sur la profondeur de 3860 m, elle représente le mur de ce cortège. Le signal diagraphique du Gamma Ray enregistre une inflexion brusque, indiquée par une forte augmentation de la valeur du Gamma Ray de 135 API, correspond à une surface d'inondation maximale (MFS) à la profondeur de 3770 m et qui constitue le toit de ce cortège. qui s'est mis en place suite à une brève hausse eustatique et une augmentation du taux de l'argilosité indiquée par la valeur la plus élevée du Gamma Ray avec 135 API. Cette surface constitue la limite supérieure et le toit de ce cortège de bas niveau marin. Cet intervalle s'étale sur une épaisseur de 90m. Ces deux limites définissent un **cortège de bas niveau marin** ou **Lowstand System Tract (LST)**. La courbe de l'enregistrement diagraphique du Gamma Ray de ce cortège est caractérisée par un électrofaciès en forme d'« entonnoir » (figure III-

10), caractérisé d'une évolution positive (électrofaciès  $> 0$ ) illustrée par la diminution des valeurs du Gamma Ray. Cette morphologie caractérise une granulométrie granocroissante et une géométrie progradante des termes de cet intervalle. Ce cortège est également caractérisé d'une variation de faciès qui alterne entre des dépôts argileux-gréseux à la base et des dépôts gréseux-argileux au sommet (figure III-10).

- La surface d'inondation maximale (MFS) constitue la limite inférieure (le mur) de ce cortège mise en évidence par l'inflexion de la courbe du Gamma Ray en marquant une valeur de 135API sur la profondeur de 3770 m. Cette courbe identifie également une inflexion à la profondeur 3680 m indiquant la valeur de 70 API. Cette inflexion constitue une surface-limite (SB) et le toit de cortège. Ces deux (2) limites définissent un **cortège de haut niveau marin** ou **Highstand System Tract (HST)**. La courbe du signal diagraphique met en évidence un électrofaciès en forme d'« œuf » (figure III-10), ce qui implique l'existence de deux (2) évolution lithologiques. Une évolution positive (électrofaciès  $> 0$ ), de la profondeur de 3770 m avec la valeur de 135 API jusqu'à la profondeur de 3720 m indiquant une valeur de 20 API sur l'enregistrement du Gamma Ray. Cette évolution positive caractérise une granulométrie granodécroissante et une géométrie progradante des corps sédimentaires. De la profondeur 3720 m jusqu'à la profondeur de 3680 m qui indique la valeur de 70 API, une évolution négative s'est mise en place, illustrée par l'augmentation des valeurs du Gamma Ray. Cette évolution caractérise une granulométrie granodécroissante avec l'augmentation du taux d'argilosité et, une architecture rétrogradante des termes sédimentaires de cette partie du cortège. Ces deux évolutions caractérisent deux (2) phases des fluctuations eustatiques avec une régression suivie d'une transgression, illustrées par la diminution puis l'augmentation des valeurs du Gamma Ray. L'interprétation des carottes exécutée auparavant par la Sonatrach met en évidence des environnements de dépôts moins profonds tels que les milieux subtidaux qui évoluent à des environnements plus profonds tels que l'offshore, comme l'indiquent également la courbe du signal, diagraphique, qui passe de valeurs faible en radioactivité naturelle sur la première partie du cortège, à des valeurs plus élevées sur la deuxième partie du cortège (figure III-10).

- d) Séquence IV :** cette séquence vient compléter la dynamique de dépôt qui consiste à la mise en place de cortèges sédimentaires régis par la régression générale affectant ce puits en particulier. La séquence (IV) présente l'épaisseur la plus mince du puits « well 2 ». Cette séquence est limitée à la base (le mur) par une limite de séquence (SB) qui représente la plus faible valeur du Gamma Ray (35API) sur ce cortège, située à la profondeur de 3680 m. La limite supérieure qui constituerait le toit de cette séquence ne peut pas être distinguée sur l'enregistrement diagraphique du Gamma Ray ainsi que sur l'échantillonnage des carottes, ceci est dû à l'érosion occasionnée par la « discordance hercynienne » qui a affecté la région d'étude Rhourde el Hamra, érodant ainsi les termes et évidemment les cortèges sédimentaires supérieurs des formations qui constituent les réservoirs du Silurien terminal (Siluro-dévonien) (figure III-11).

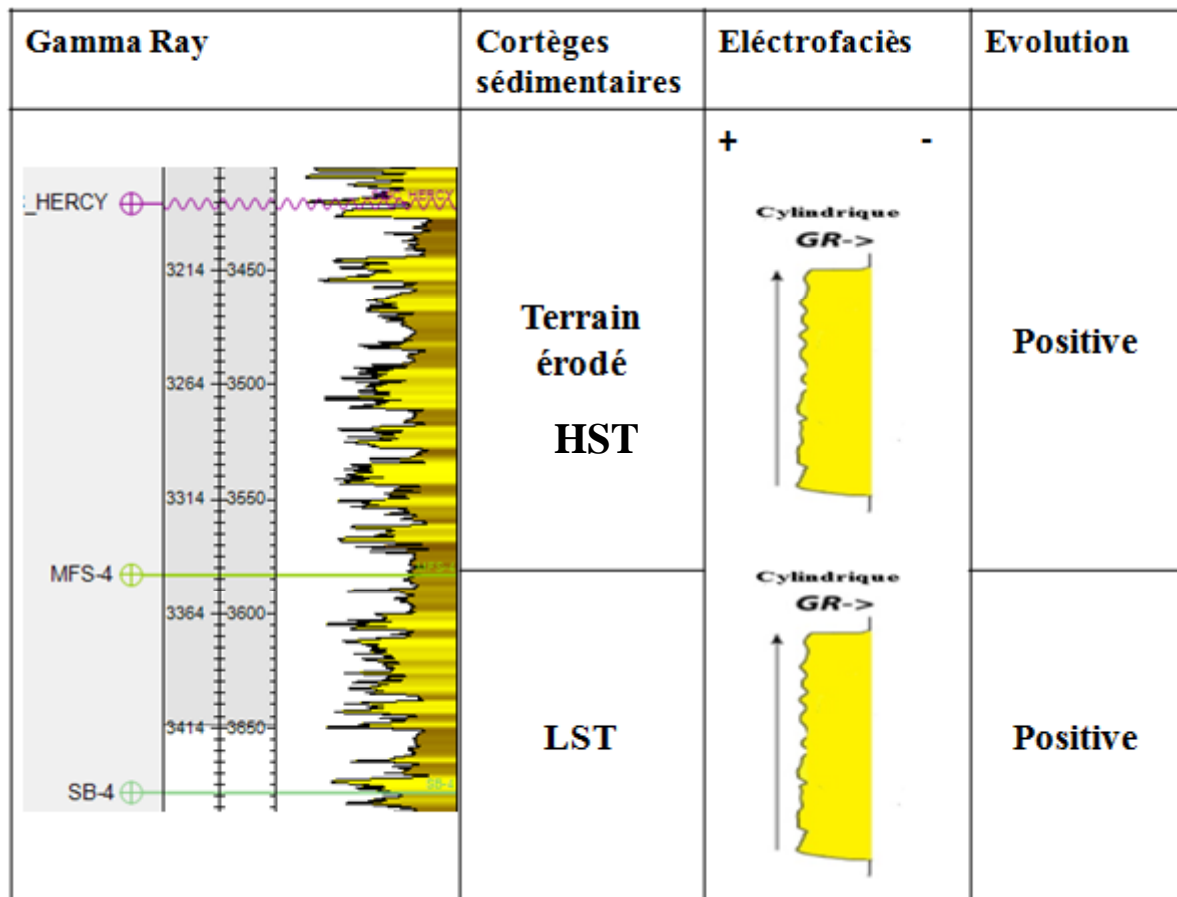


Figure III-11 : cortège sédimentaire de la séquence IV du well 2.

- La courbe de l'enregistrement diagraphique du Gamma Ray distingue une inflexion à la hauteur de la valeur 40 API et correspond à la profondeur 3680 m, indiquant une diminution des valeurs de la radioactivité enregistrées sur la courbe diagraphique du Gamma Ray. Cette inflexion constitue une surface-limite de type SB ainsi que la limite inférieure (le mur) de ce cortège. La courbe du Gamma Ray définit une inflexion à la profondeur 3585 m qui se distingue par une valeur élevée de la radioactivité naturelle enregistrée sur la courbe du Gamma Ray et qui est de 100 API. Cette augmentation mis en évidence une surface d'inondation maximale (MFS) qui constitue la limite supérieure (le toit) de ce cortège. Ces deux (2) limites mettent en relief un **cortège de bas niveau marin** ou **Lowstand System Tract (LST)**. Les valeurs du Gamma Ray comprises entre les profondeurs 3680 m et 3585 m sont caractérisées par de faibles variations, illustrées par des oscillations de la courbe du signal diagraphique, ce qui est définit une morphologie de l'électrofaciès en forme « cylindrique » (figure III-11). Cette morphologie détermine une évolution constante, caractérisant une granulométrie plus ou moins constante également et une architecture aggradante des corps compris sur ce cortège. Cette géométrie aggradante explique la stabilité de la granulométrie (la taille des grains est constante). Les oscillations de la courbe du signal diagraphique sont le résultat des faibles magnitudes des fluctuations eustatiques (niveau marin relatif), ce qui implique aussi la géométrie aggradante des termes sédimentaires de ce cortège. Cette évolution mis en évidence des dépôts caractérisée par l'alternance des dépôts argileux et des dépôts gréseux sur des milieux de dépôt shoreface avec une bathymétrie moyenne.

- La limite supérieure du cortège précédent sur la profondeur de 3585 m avec la valeur de 100 API, constitue la limite inférieure (le mur) des dépôts qui se sont déposés sur le cortège précédent. La partie supérieure du cortège suivant a été érodée par la « discordance hercynienne » qui a affecté l'ensemble de la plateforme saharienne. Les dépôts qui succèdent au cortège de bas niveau marin (LST) sont incomplets et présentent une lacune sédimentaire post-dépôt. Cette érosion causée par la discordance hercynienne a ôté une surface-limite qui serait le toit et la limite supérieure de ces dépôts pour le définir dans un contexte stratigraphique. La courbe du signal diagraphique pourrait définir un **cortège de haut niveau marin Highstand System Tract (HST)**, avec une courbe du Gamma Ray qui est caractérisée par un électrofaciès en forme « cylindrique » (figure III-11) qui traduit une granulométrie constante et une architecture aggradante des dépôts de ce cortège. La « discordance hercynienne » est distinguée sur l'enregistrement diagraphique du Gamma Ray (figure III-11), qui met en évidence une valeur faible de la radioactivité naturelle qui est de 20 API, signifiant un faible taux de l'argilosité induit par une probable diminution du niveau marin relatif.

L'épaisseur des termes du dernier cortège de la dernière séquence du « well 2 » est de 165m, ce qui signifie que l'effet de l'érosion dans la direction du puits « well 2 » est moins importante en comparaison avec l'épaisseur des dépôts du dernier cortège de la dernière séquence du puits « well 1 » et qui est de 100 m. L'effet érosive de la « discordance hercynienne » s'amplifie donc dans la direction nord-ouest (dans la direction de la localisation du puits well 1), et s'atténue dans la direction sud-est (la direction de la localisation du puits well 2).

#### 4. Corrélation et comparaison des cortèges sédimentaires du Pridoli-Lochkovien :

La corrélation des cortèges sédimentaires contenus dans les puits «well 1, well 2, well 3 et well 4» est faite sur la base des grandes limites (discontinuités) identifiées sur l'ensemble des séquences ainsi que du contenu sédimentaire. Cette opération consiste à retracer l'évolution verticale et, partant, l'évolution latérale et spatiotemporelle des faciès (figure III-12).

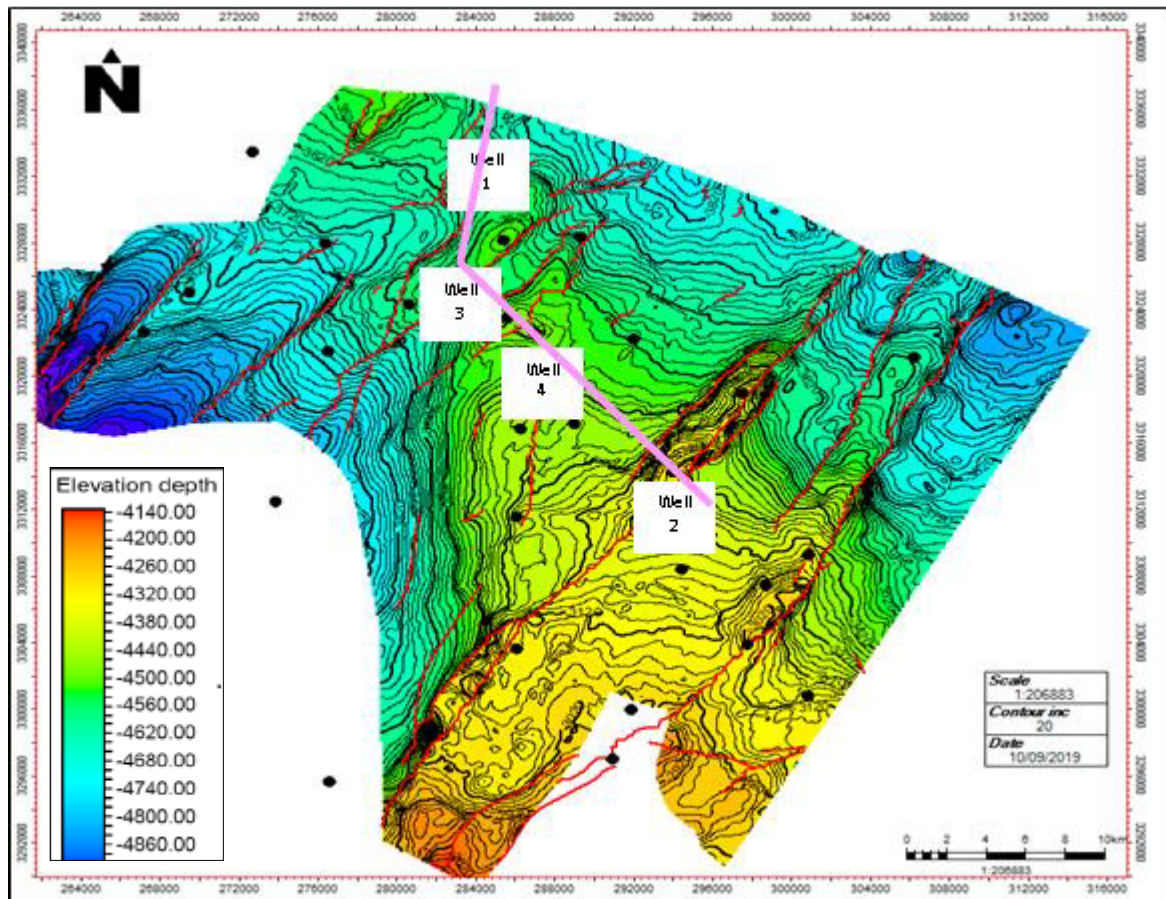


Figure III-12 : carte du profil de corrélation des puits « well 1, well 2, well 3 et well 4 ».

Après avoir effectué le découpage séquentiel des puits « well 1 » et « well 2 », l'analyse des faciès sur les deux puits montre une similarité des environnements ainsi que celle des séquences qui constituent l'ensemble des cortèges sédimentaires de ces puits. Ces séquences présentent un aspect global identique, mais différent en contenu et en termes d'évolution.

Sur la séquence (I) du puits « well 1 », on retrouve des milieux de dépôts diversifiés avec des environnements marins profonds tels que l'offshore et des environnements moins profonds tels que le domaine subtidal, ainsi que plusieurs passages de dépôts de remaniement (sand waves) qui exprime la portance ainsi que l'importance des courants marins. En ce qui concerne « well 2 », la séquence (I) est constituée intégralement de dépôts profonds d'offshore à shoreface, qui sont momentanément traversés par de minces passages de dépôts remaniés en « sand waves ». Les deux séquences des deux puits présentent une épaisseur quasi-similaire.

Sur la séquence (II) des puits « well 1 » et « well 2 », les épaisseurs se réduisent et les cortèges s'amincissent. Cet amincissement est plus visible sur la séquence (II) du puits « well 1 ». Ces deux séquences sont constituées de la succession de plusieurs environnements. Sur le puits « well 1 » on retrouve des environnements profonds dont l'offshore et/ou le shoreface alors que dans le puits « well 2 », l'évolution vers des milieux moins profonds et où l'influence continentale se fait sentir, par la manifestation des milieux subtidaux en barres et chenaux tidaux.

Sur la séquence (III), l'épaisseur se réduit d'avantage sur les deux puits « well 1 » et « well 2 », avec un amincissement plus important sur le puits « well 1 », comprenant des dépôts marins profonds d'offshore à shoreface et qui sont présents sur la séquence (III) du puits « well 2 » en plus épais comparés au corps déposé sur la séquence (III) du puits « well 1 ». Plusieurs et différents environnements sont déterminés sur les deux puits, mais sur la séquence (III) du puits « well 1 », les dépôts sont traversés par plusieurs épisodes de dépôts de remaniements en « sand waves » qui traduisent l'augmentation de l'influence des courants tidaux ainsi que la proximité aux termes proximaux, contrairement à la séquence (III) du puits « well 1 », où les « sand waves » sont absents. Les environnements de dépôts constituant la séquence (III) du puits « well 2 » présentent une plus importante influence continentale que ceux du puits « well 1 ».

Les épaisseurs des deux puits « well 1 » (900 m) et « well 2 » (1150 m) s'amincissent au fur et à mesure que l'analyse se rapproche du toit de la formation. Le puits « well 1 » présente un amincissement plus important et la séquence (IV) illustre cet amincissement et l'influence importante de l'érosion causée par la « discordance hercynienne » qui s'intensifie dans la direction nord-ouest. Les environnements de dépôts varient selon la direction suivie par le retrait de la mer mais aussi par la localisation des puits « well 1 » et « well 2 ». Le niveau eustatique s'est abaissé par étapes et ce processus s'est enclenché au sud-est (« well 2 » est localisé au sud-est) ce qui explique les dépôts tidaux et l'influence continentale qui progresse par les chenaux et les barres tidales. En ce qui concerne le puits « well 1 », le niveau eustatique subsiste et cet état est illustré par les dépôts marins profonds qui caractérisent la séquence (IV) de ce puits.

La différence que cette corrélation met en valeur est les variations des milieux de dépôts qui constituent les cortèges sédimentaires de cette formation. Cette différence est le résultat des nombreuses fluctuations eustatiques ayant affectées cette région et le bassin de Berkine en général. En analysant les dépôts et les environnements qu'ils définissent ainsi que leurs évolutions, la déduction appropriée est que la mer s'est retirée suivant la direction de l'axe sud-est/nord-ouest avec une évolution de dépôts subtidaux (well 2) vers des dépôts plus profonds (well 1). Cette analyse démontre le passage d'un milieu proximal vers un milieu distal.

A l'état actuel des formations affectées par la discordance hercynienne et la comparaison des épaisseurs des puits « well 1 » et « well 2 », vu que les épaisseurs sont plus importantes sur le puits « well 2 » que « well 1 », cela implique que l'érosion induite par la discordance hercynienne a eu un plus grand impact au nord-ouest de la région d'étude (Rhourde el Hamra) et s'est atténuée en progressant dans la direction sud-est.

Cette corrélation est illustrée par la figure III-13 qui montre l'évolution verticale ainsi et surtout que l'évolution latérale (paléoenvironnements) des puits « well 1 » et « well 2 ». Cette évolution est régie par les fluctuations eustatiques et le facteur temps.

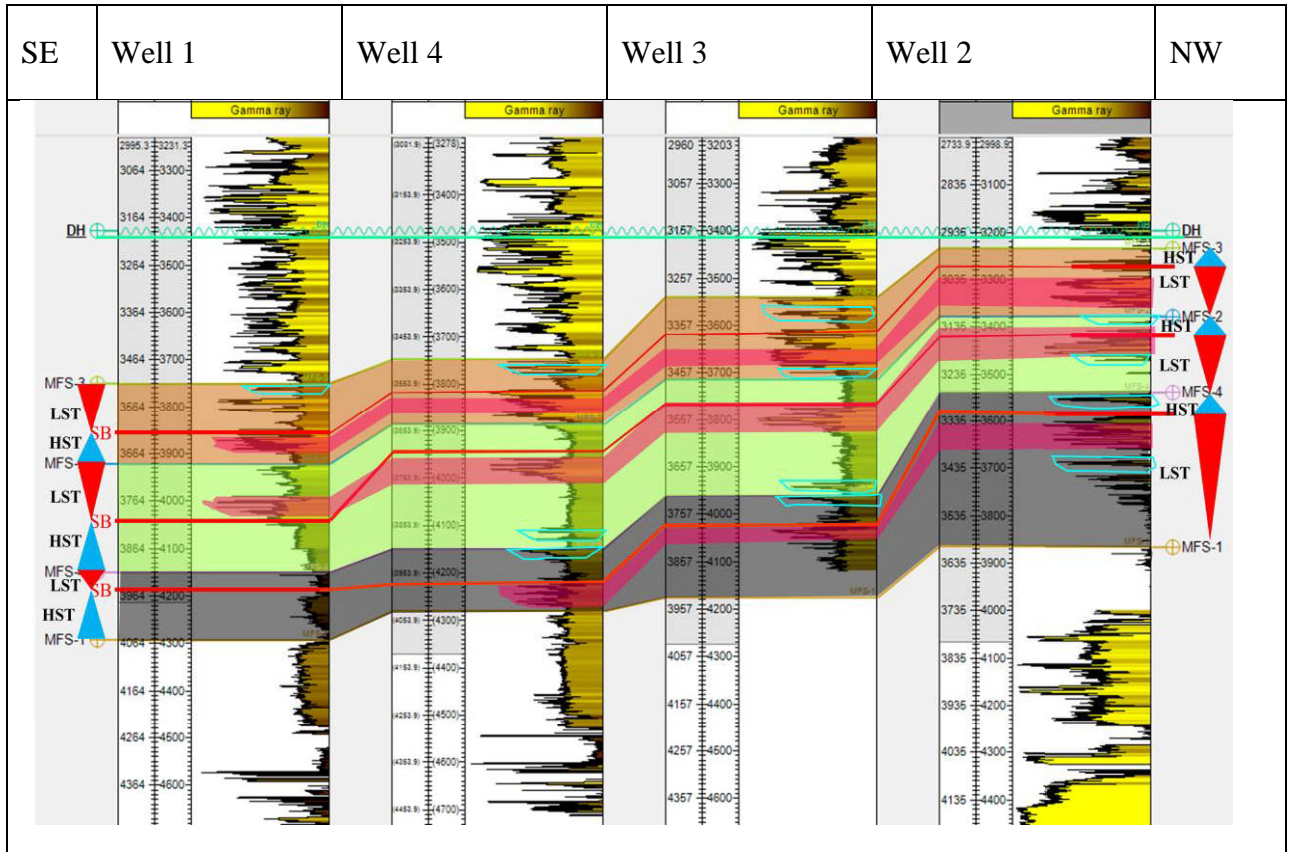


Figure III-13 : corrélation des puits étudiée avec les puits références.

## 5. Interprétation structurale des sections sismiques :

### a) Introduction :

L'utilisation des méthodes sismiques dans la caractérisation des réservoirs pétroliers (et des hydrocarbures en général) permet aujourd'hui de faire des avancées fulgurantes dans le domaine de la prospection pétrolière et dans l'exploration du sous-sol. Ces méthodes présentent une utilité majeure dans la compréhension des systèmes sédimentaires ainsi que l'interprétation des cortèges sédimentaires ; concept utilisé dans la stratigraphie séquentielle ; afin de déchiffrer les mécanismes qui ont abouti à une configuration de dépôt précise. La sismique est devenue un concept fondamental de la stratigraphie séquentielle ainsi que de l'interprétation des dynamiques sédimentaires.

L'étude entreprise sur le réservoir silurien effectuée par l'application des concepts de la stratigraphie séquentielle sur les puits « well 1 » et « well 2 » montre l'importance de l'érosion causée par la « discordance hercynienne » au sommet des séquences sédimentaires. L'utilisation des sections sismiques présentées ci-dessous consiste à procurer une échelle afin de confirmer l'étendu de l'érosion hercynienne ayant affectée la région d'étude Rhourde el Hamra, ainsi qu'apporter une comparaison analytique de l'épaisseur des formations et son évolution. Aussi, les sections sismiques permettent la mise en évidence des différents aspects structuraux et tectoniques ayant affecté la région d'étude, qui correspondent aux mouvements tectoniques ayant affecté l'ensemble du bassin de Berkine ainsi que la plateforme saharienne.

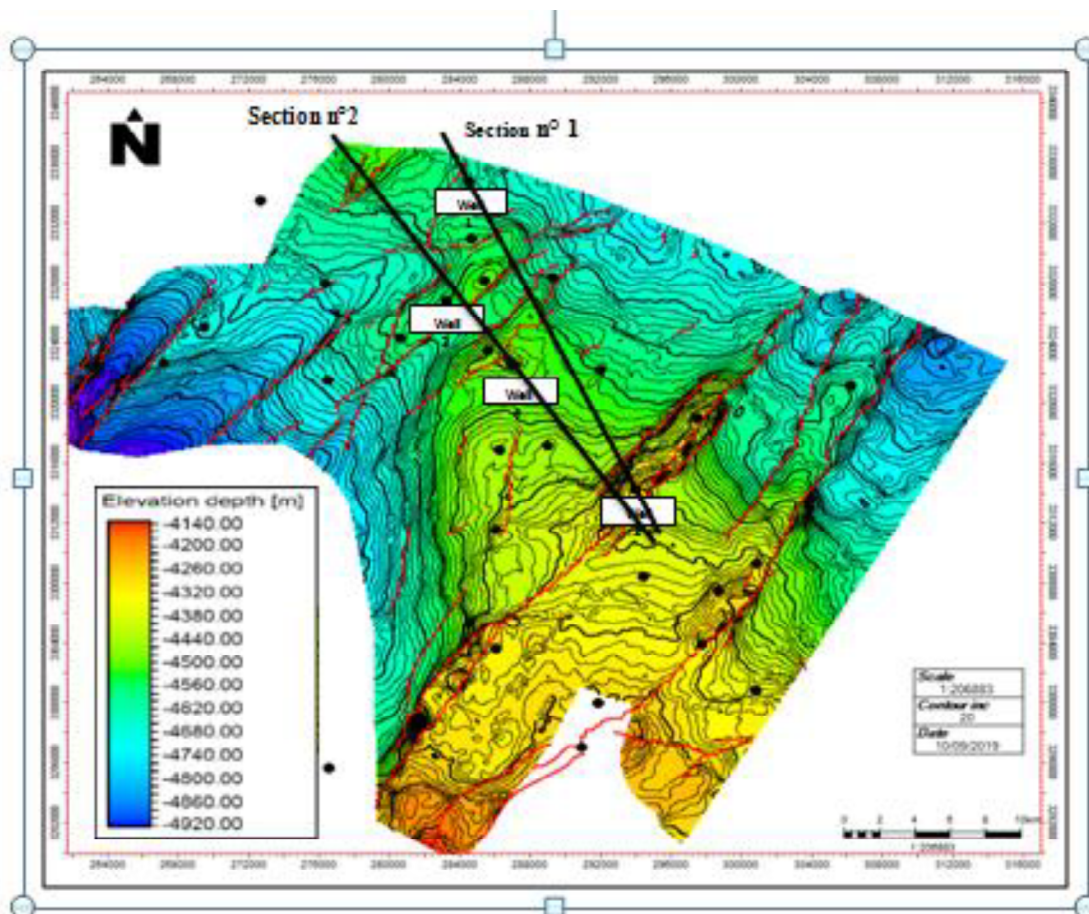


Figure III-14 : plan de positionnement des profils sismiques et des puits « well 1 », « well 2 », « well 3 » et « well 4 »

**b) Interprétation:**

L'interprétation de ces sections sismiques est un procédé descriptif que se focalise sur l'aspect structural et la détermination de l'évolution de la « discordance hercynienne » ainsi que son effet érosif sur les formations étudiées.

La section orientée nord-ouest/sud-est comprend les trois puits « well 1 », « well 2 » et « well 3 ». Les sections montrent que la région est affectée par une tectonique compressive (résultat des mouvements tectoniques compressifs ayant structurés la plateforme saharienne y compris le bassin de Berkine ainsi que la zone d'étude de Rhourde el Hamra) qui a abouti à la formation d'un anticlinorium (une multitude de plis anticlinaux) affecté par une tectonique cassante. Cette dernière s'illustre par la mise en évidence de sept (7) failles postérieures au dépôt des formations siluriennes ainsi qu'aux phases tectoniques qui ont structuré la plateforme saharienne et le bassin de Berkine particulièrement (figure III-15). Cette tectonique présente un aspect identique sur tout le long du bloc silurien. Cette déduction est affirmée par la deuxième section interprétée et sur laquelle se présentent les déformations post-dépôt telles que les plissements suite à la tectonique compressive et les failles inverses provoquées par la tectonique cassante qui induisent des déformations en blocs basculés créant ainsi des structures en « horst » (figure III-15) sous forme de blocs soulevés ou éjectés verticalement induits par le mouvement de ces failles inverses. Le rejet de ces failles est important et il est d'ordre métrique, ce qui exprime l'importance des contraintes régionales. Ces structures en « horst » éjectées témoignent également d'un phénomène qui s'exprime sur la section par une lacune verticale de réflecteurs sous forme d'une nuée blanchâtre, et un aspect chaotique de ces réflecteurs. Ce phénomène s'est produit suite à une remontée de gaz et/ou de condensat qui se situait au sein du bloc sous-jacent (bloc dévonien) en formant une « cheminée » à travers les formations siluriennes.

En suivant l'orientation de la section nord-ouest/sud-est, l'épaisseur des formations qui constituent le bloc silurien se réduit (bande violacée de la section) et les terminaisons des réflecteurs sont sectionnées en butant sur la « discordance hercynienne » (figure III-16). Cette dernière est la concrétisation de l'érosion de ces formations, suivant une direction nord-ouest/sud-est. L'érosion se manifeste sur la bordure nord-ouest de la région d'étude de Rhourde el Hamra, où le puits « well 1 » est y localisé et, où l'érosion s'est intensément manifestée en érodant les séquences supérieures du puits « well 1 » ainsi que le toit du Silurien.

L'érosion produite par la « discordance hercynienne » évolue et progresse selon la direction nord-ouest/sud-est. Cette évolution est illustrée par les enregistrements diagraphiques du Gamma Ray, qui montrent l'amincissement des séquences sédimentaires en allant du puits « well 2 » vers le puits « well 1 » suivant la direction de la corrélation établie nord-ouest/sud-est. Les sections sismiques (figure III-15) et (figure III-16) montrent la réduction de la bande violacée qui correspond à l'amincissement du bloc silurien au fur et à mesure que la « discordance hercynienne » évolue d'ouest en est.

La zone d'étude de Rhourde el Hamra ayant été affectée autant par l'érosion hercynienne et également par les différentes et successives phases de structuration tectoniques antérieures, présentent un aspect plissé traversé par une tectonique faillée et un aspect érosif résultant de la « discordance hercynienne », qui illustre cet aspect par l'amincissement des formations supérieures du Silurien. Les sections sismiques ci-dessous ont été utilisées afin de suivre et de confirmer l'évolution de la « discordance hercynienne » et l'influence de son érosion sur les formations siluriennes, qui témoignent de la puissance de cette érosion par la mise en évidence d'une discordance angulaire avec la « discordance hercynienne ». Cette discordance angulaire est observable sur les sections sismiques avec le biseautage des réflecteurs sismiques propres au bloc silurien par la signature sismique de la discordance hercynienne.

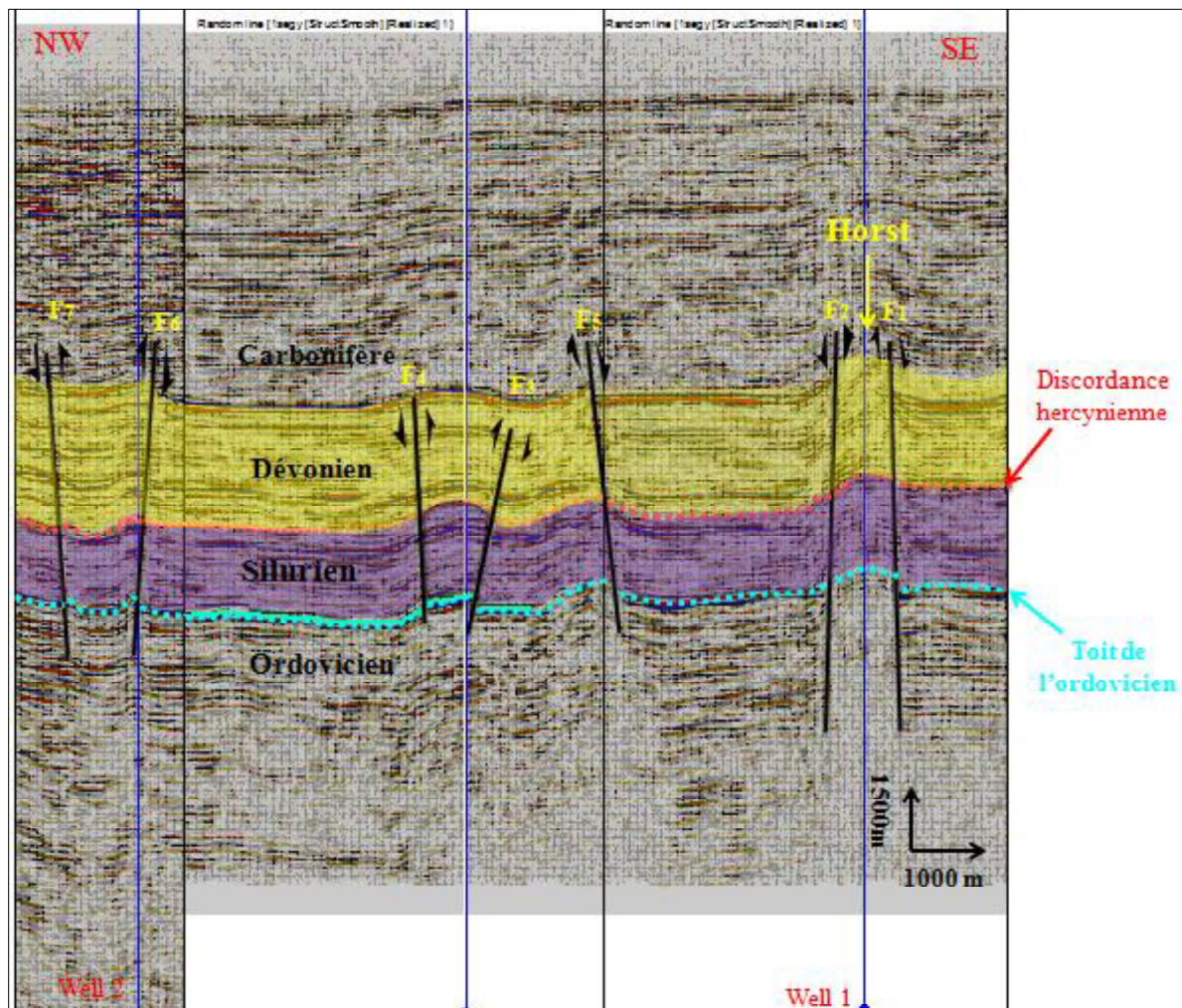


Figure III-15 : profile sismique n°(1).

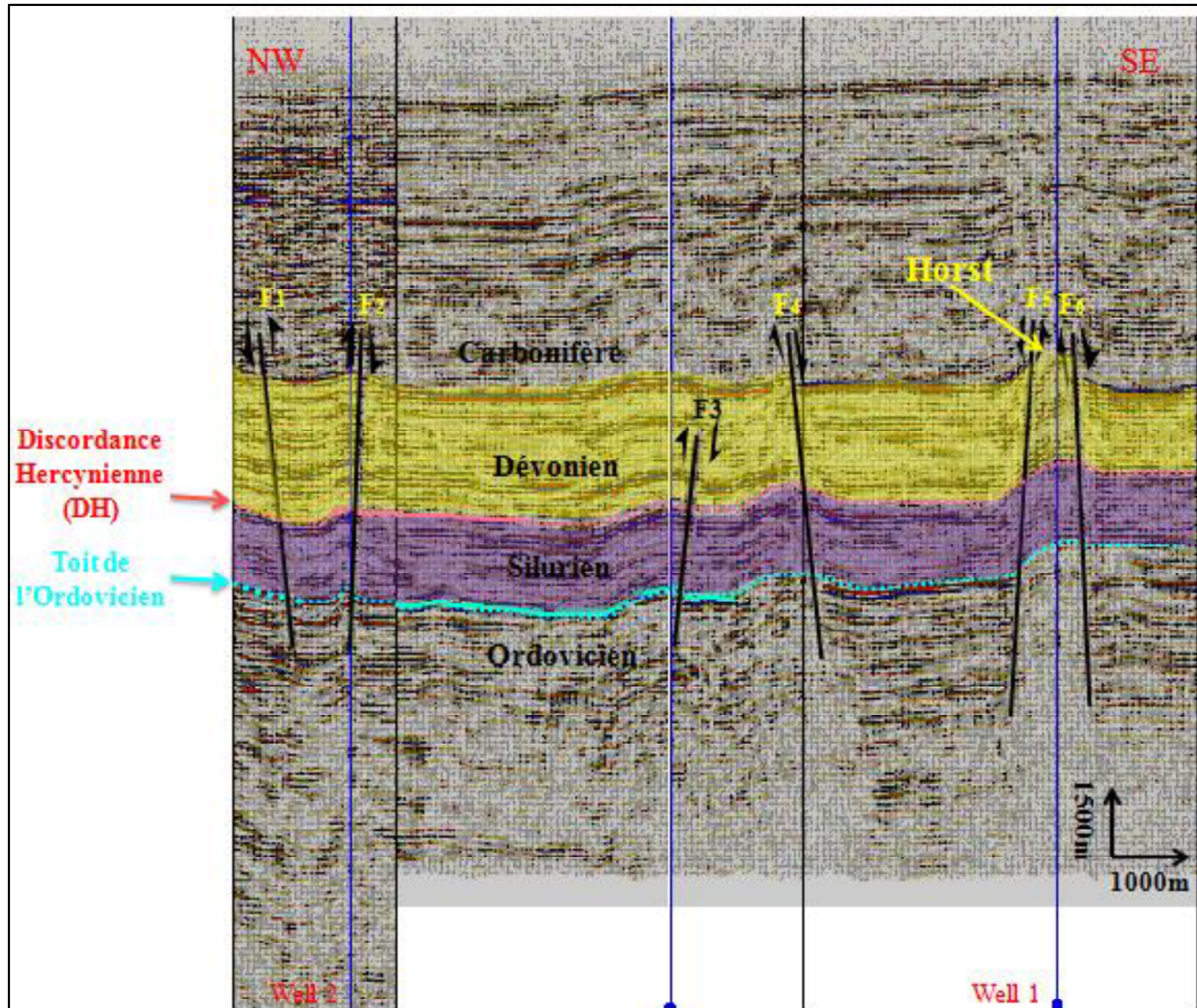


Figure III-16 : profil sismique n° (2).

**5. Conclusion :**

L'application de méthodes sédimentologiques, diagraphiques et les méthodes sismiques sur les puits « well 1 » et « well 2 », ainsi que la corrélation établie suite au découpage séquentiel de ces deux puits, permet la détermination des environnements de dépôt que ces formations comprennent et localise les puits « well 1 » et « well 2 » dans leurs contexte sédimentaire. De ce fait, ces puits sont situés sur la transition entre le domaine shoreface supérieur à bioturbation et le domaine de l'offshore parcouru par des faciès subtidaux remaniés (sand waves). La méthode diagraphique du Gamma Ray révèle la présence d'un épisode érosif qui correspond à la « discordance hercynienne ». Cette dernière est visible en tant que discordance suite à l'interprétation structurale des sections sismiques qui montrent l'amincissement des formations siluriennes.

## Conclusion générale

La genèse du bassin de Berkine est issue de l'héritage des mouvements tectoniques ayant affectés et ensuite structurés la plateforme saharienne, ceci est suivi d'un remplissage sédimentaire des différents bassins qui la constituent.

Cette étude a été principalement consacrée à la reconstitution des paléo-environnements qui constituent la région d'étude de Rhourde el Hamra afin de déceler les différents mécanismes qui ont contribué à la définition du contexte sédimentaire de ces termes.

Les différentes méthodes d'étude et d'analyse utilisées au cours de cette démarche comprennent l'application des concepts de la stratigraphie séquentielle et la lecture descriptive des enregistrements des diagraphies du Gamma Ray ainsi qu'une interprétation structurale de sections sismiques propres à la région d'étude. Ces méthodes utilisées révèlent les résultats ci-dessous :

- L'analyse séquentielle exécutée sur les deux puits « well 1 » et « well 2 » mis en relief l'existence de plusieurs surfaces-limites de types SB et des surfaces d'inondation maximale (MFS). Ces surfaces-limites déterminent quatre (04) séquences de dépôts sur chacun des puits et toute séquence est constituée de quatre (04) cortèges sédimentaires. Ces cortèges sont déterminés par deux (2) surfaces-limites. On retrouve des cortèges de bas niveau marin (LST), des cortèges de haut niveau marin (HST) et des cortèges transgressifs (TST), suivant la dynamique de dépôt (transgression et régression).
- L'analyse séquentielle aboutit à la mise en évidence de la succession des différents environnements de dépôt qui constituent la région d'étude de Rhourde el Hamra, qui est caractérisée par des milieux de dépôts profonds à moins profonds tels que le domaine de l'offshore, le domaine du shoreface et le domaine tidal à subtidal. L'analyse séquentielle des puits a permis de retracer l'évolution verticale des environnements de dépôt ;
- La lecture descriptive des enregistrements diagraphiques du Gamma Ray révèle la différenciation des faciès composant les environnements de dépôt qui constituent la région d'étude, avec la présence des faciès argileux qui composent les domaines profonds tel que l'offshore et des faciès gréseux à gréseux-argileux tels que les « mudflat » et « sandflat » qui composent les domaines subtidaux ;
- L'application des concepts de la stratigraphie séquentielle permettent de définir les différents facteurs qui agissent sur la sédimentation afin d'aboutir à la mise en évidence des différents termes qui constituent les séries du Siluro-dévonien de la région d'étude puis établir les différentes séquences de dépôt suivie des cortèges sédimentaires qui forment ces séquences afin de constituer un modèle des diverses fluctuations eustatiques ayant affectées les cortèges sédimentaires, les séquences de dépôt et puis les environnements de dépôt. Ces cortèges permettent d'établir une corrélation afin de suivre l'évolution latérale des faciès ainsi l'évolution des épaisseurs comprises dans les puits étudiés ;

- L'interprétation structurale des sections sismiques propres à la région d'étude de Rhourde el Hamra permet de mettre en relief les différents mouvements et accidents tectoniques ayant affectés la région d'étude. Ces sections sismiques permettent de suivre l'évolution de l'épaisseur des formations siluro-dévonniennes et mettent en évidence également une signature très significative qui représente « la discordance hercynienne » qui a affecté l'ensemble de la plateforme saharienne et qu'on retrouve sur la région d'étude. La « discordance hercynienne » a affecté les formations siluriennes et a érodé fortement la région d'étude dans sa partie nord. Cette érosion est observable sur les sections sismiques et confirmée sur les enregistrements diagraphiques du Gamma Ray.

La combinaison des résultats et des informations extraits des méthodes d'études appliquées sur les formations siluro-dévonniennes de la région d'étude de Rhourde el Hamra du bassin de Berkine ouest affirme que les formations du Siluro-dévonien sont susceptibles de constituer un réservoir doté d'un potentiel pétrolier important situé dans la partie sud de la régions de Rhourde el Hamra comme le montrent la qualité des grès présents et les faibles taux d'argilosité dans ces formations obtenues par l'analyse du puits « well 2 » notamment.

## **Bibliographies :**

**AIT SALLEM, H. (2015)**, Séminaire sur stratigraphie séquentielle et pièges pétroliers associés. Méthodes de corrélations à travers les sondages (2<sup>e</sup> partie). Institut Algérien du Pétrole (IAP).

**ARAB, M. (2016)**, Analyse des systèmes pétroliers de l'Offshore Algérien orientale: quantification modélisation stratigraphique et thermique. Thèse de Doctorat USTHB et Université de Bretagne occidentale, p49.

**ARAB, M. (2016)**, Analyse des systèmes pétroliers de l'Offshore Algérien orientale: quantification modélisation stratigraphique et thermique. Thèse de Doctorat USTHB et Université de Bretagne occidentale, p67.

**ARAB, M. (2016)**, Analyse des systèmes pétroliers de l'Offshore Algérien orientale: quantification modélisation stratigraphique et thermique. Thèse de Doctorat USTHB et Université de Bretagne occidentale, p78.

**Ashton, E. (2009)**, Practical sequence stratigraphy. Canadian society of petroleum geologists.

**BACCHIANA, C. (2011)**, Les fondamentaux de la stratigraphie séquentielle.

**BEAUCHAMP, J. (1997)**, Maintien du trait de côte et accès aux ports sur le littoral picard. Actes Colloque INTERREG, St Valery/Somme, Université Picardie Jules Verne.

**BELHAI, D. (2012)**, Ouvrage : la géologie de l'Algérie .Professeur de géologie, p189.

**BELHAI, D. (2012)**, Ouvrage : la géologie de l'Algérie .Professeur de géologie, p191.

**BIJU-Duval, B. (1999)**, Géologie sédimentaire Bassin, environnements de dépôts et formation du pétrole.

**BOUDJAMAA, A. (1987)**, Evolution structurale du bassin pétrolier « Triasique » du Sahara Nord oriental. Algérie. Thèse de doctorat d'état ; Paris XI-Orsay France, p290.

**BOULVIN, F. (2017)**, Éléments de sédimentologie et pétrologies sédimentaires. Université du Liège.

**CATUNEANU, O. (2011)**, Sequence stratigraphy methodology and nomenclature, p175.

**CATUNEANU, O. (2006)**, Principals of sequence stratigraphy. Department of Earth and Atmospheric Science. University of Alberta. Canada.

**CHAMLEY, H –DECONINCK, J.F. (2013)**, Ouvrage base de sédimentologie 3<sup>e</sup> édition.

**DESMAZES, F. (2005)**, Caractérisation des barres sableuses d'une plage de la cote AQUITAINE, exemple de la plage de TRUC vert, p 21.

**Emery, D., Myers, K.J. (1996)**, sequence stratigraphy. Blackwell, Oxford, UK, p297.

**FLÜGEL, E. (2004)**, Microfacies of carbonate rocks - Analysis, interpretation and application. Springer ed, p 976.

**FOURNIER, F. (2011)**. Géologie des ressources fossiles, Université de province.

**Galloway, W. E. (2008)**. The sedimentary basins of the United States and Canada, in Sedimentary Basins of the World., edited by A. D. Miall, p 505-549, University of Toronto, Department of Geology.

**GHENIM, A. F. (2012)**. Evaluation pétrophysique et essai de modélisation : exemple du réservoir triasique d'OURHOUD (Bassin de Berkine, Sahara Nord Oriental, Algérie), Master Académique. Université ABOU-BEKER BELAIA Tlemcen.

**Guillocheau, F. (1991)**. " Modalités d'empilement des séquences génétiques dans un bassin de plate-forme (Dévonien armoricain) : nature et distorsion des différents ordres de séquences de dépôts emboîtés ". Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf Aquitaine, p383-410.

**Guillocheau, F. (1995)**. Nature, rank and origin of Phanerozoic sedimentary cycles, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Serie II. Sciences de la Terre et des Planètes .

**HACINE, R. (2015)**. Méthodes de diagraphies. Institut Algérien du Pétrole (IAP).

**HUNT, D et TUCKER, M. (1992)**. Standed parasequences and the forced regressive wedge systems tract, deposition during base level fall ; sedimentary Geology, p81.

**KAZI TANI, N. (1986)**. Evolution géodynamique de la bordure Nord-africaine: le domaine intraplaque nord-algerien. Approche mégaséquentielle. *Thèse ès Sciences. Université de Pau.*

**KETTOUCHE, D. (2009)**. Mémoire de magister : Impacte de la structuration Hercynienne sur le système pétrolier du bassin de Tindouf. Université USTHB, Alger.

**LEGRAND, Ph. (2001)**. Paléogéographie du Sahara algérien à l'ordovicien terminal et au Silurien inférieur. Lille, France.

**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.

**MIGHIOT, C.** Manuel sur l'hydrodynamique sédimentaire et l'érosion et sédimentation du littoral, cours enseigné à l'école nationale des travaux publics de l'état et à la faculté des Sciences d'ORSAY- PARIS –SUD.

**MIALL, A. (1997)**. The Geology of stratigraphic sequences. Université de Londres.

**NERAUDEAU, D. (2013)**. Cour de paléocéologies et paléoenvironnements. Université la Loir, France.

**NICHOLS, M. et ALLEN, G. (1981)**. Suspended sediment transport in coastal lagoons and estuaries. In UNESCO Technical Papers in Marine Science, n° 33.

**OSTANCIAUX, E. (2012).** Niveau marin et déformation de la Terre : Echelles spatio-temporelles. Université Rennes, France, p74.

**POSAMENTIER, H.W., ALLEN, G.P. (1999),** Siliciclastic sequence stratigraphy: concepts and applications. SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology.

**SERRA, O. (1979).** Diagraphies différées (bases de l'interprétation) Tome 1 : Acquisition des données diagraphiques, Bull, Cent, Rech, Explor. Prod. Elf Aquitaine, p169.

**SERRA, O. (1985).** Diagraphies différées (bases de l'interprétation) Tome 2 : Interprétation des données diagraphiques, Cent, Rech, Explor. Prod. Elf Aquitaine.

**STEPANIEN, A et LEVOY, F. (2003).** Séquence d'évolution morphodynamique des barres intertidales d'une plage macrotidale : exemple d'Omaha Beach (Normandie France), p175.

**TISSOT et WELT. (1984).** Petroleum formation and occurrence (Second Revised and Enlarged Edition).

**VAIL, P. R. (1977).** Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Part 3: relative changes of sea level from coastal onlap.

**WEC. (2007).** Well évaluation, conférence document de Sonatrach et Schlumberger.