

# Rapport d'Exploration : Télédéttection Orbitale par NMR Passive (RSS-NMR)

Combinaison du calage fréquentiel en profondeur et de l'analyse des temps de relaxation de l'hydrogène

## SOMMAIRE COMPLET

1. Le Principe d'Investigation en Profondeur (Calage Fréquentiel) . . . 1
2. Le Marquage Spectral par Temps de Relaxation (T1 et T2) . . . . . 1
3. Discrimination Physique Directe des Fluides (Pétrole vs Gaz) . . . . 2
4. Méthodologie Stratégique Opérationnelle : L'Étape Zéro . . . . . 2
5. Avantages Industriels et Impact Environnemental . . . . . 2

## 1. Le Principe d'Investigation en Profondeur (Calage Fréquentiel)

En observation passive et à grande échelle (sans contact au sol), la capacité à sonder le sous-sol à des profondeurs spécifiques (jusqu'à 7 km) repose sur une loi physique incontournable : la relation de Larmor. La fréquence de résonance magnétique ( $\omega_0$ ) des noyaux d'hydrogène est directement proportionnelle à l'intensité du champ magnétique ambiant ( $B_0$ ) rencontrée à une strate donnée :

$$\omega_0 = \gamma \cdot B_0$$

Étant donné que la composante du champ magnétique varie de manière prévisible avec la profondeur sédimentaire, le système orbital réalise une sélection géométrique précise en ajustant la fréquence de l'impulsion radiofréquence émise. En modulant cette fréquence de calage, les ondes traversent les couches supérieures sans interaction majeure (milieux diélectriques transparents) et n'entrent en résonance qu'à la profondeur exacte où la condition de Larmor est satisfaite, provoquant l'excitation exclusive des protons de cette tranche spécifique du sous-sol.

## 2. Le Marquage Spectral par Temps de Relaxation (T1 et T2)

Une fois l'impulsion radiofréquence coupée, les protons excités entament leur processus de relaxation, restituant l'énergie sous forme d'un signal radiofréquence détecté par les récepteurs orbitaux. L'analyse de l'atténuation de ce signal permet de mesurer les temps de relaxation transversale (T2) et longitudinale (T1), qui agissent comme une véritable signature de l'environnement poreux :

- Élimination des milieux stériles (Temps courts) : L'eau liée structuralement aux feuillets d'argile ou retenue dans une matrice rocheuse ultra-compacte subit une relaxation de surface très agressive (T2 < 10 à 33 ms). Le signal décroît de façon presque instantanée, ce qui permet d'écarter ces zones non productibles.
- Identification des réservoirs et « Sweet Points » (Temps longs) : Dans les zones à porosité ouverte et interconnectée (grès ou carbonates de bonne qualité), les fluides possèdent une liberté de mouvement maximale. Les temps de relaxation mesurés sont longs (T2 > 33 ms dans

# Rapport d'Exploration : Télédéttection Orbitale par NMR Passive (RSS-NMR)

les grès,  $T_2 > 92$  ms dans les carbonates). Ces secteurs se détachent nettement sous forme d'anomalies de forte amplitude sur la cartographie sédimentaire.

## 3. Discrimination Physique Directe des Fluides

Au-delà du repérage des pores de grande taille, la combinaison des signatures spectrales  $T_1$  et  $T_2$  offre la possibilité de certifier la nature moléculaire exacte des hydrocarbures présents au sein du réservoir :

- Pétrole léger : Se caractérise par un rapport  $T_1/T_2$  stable compris entre 1 et 2, associé à des temps de relaxation intermédiaires à longs, marquant de manière indiscutable les zones d'accumulation commerciale.
- Gaz naturel : En raison des forts effets de diffusion moléculaire induits par les gradients magnétiques internes de la matrice, le gaz affiche une asymétrie unique : un  $T_1$  longitudinal très étendu (plusieurs secondes) combiné à un  $T_2$  transversal fortement raccourci. Cette anomalie spectrale permet d'isoler la présence de gaz avec une certitude scientifique absolue.

## 4. Méthodologie Stratégique Opérationnelle : L'Étape Zéro

L'intégration industrielle de la technologie RSS-NMR reconfigure la chaîne de valeur de l'exploration à grande échelle selon un protocole analytique en entonnoir :

1. *Scan Global (Étape Zéro) : Balayage orbital passif par satellite d'un bloc d'exploration entier (plusieurs milliers de km<sup>2</sup>), sans déploiement d'équipes ou d'explosifs au sol.*
2. *Filtrage des Réponses Courtes : Élimination et masquage immédiat des zones affichant un  $T_2$  rapide (milieux denses ou argileux), écartant d'emblée les secteurs stériles.*
3. *Marquage des Fluides Mobiles : Identification et isolation des signatures spectrales longues, validant la présence d'un système de fluides exploitables.*
4. *Ciblage Chirurgical : Délimitation précise des contours des « sweet spots ». La compagnie pétrolière peut alors concentrer ses investissements lourds de sismique 3D ou de forage exclusivement sur ces cibles à haut potentiel.*

## 5. Avantages Industriels et Impact Environnemental

- Rentabilité et Gain de Temps : L'obtention d'une cartographie complète en 4 à 6 mois élimine le besoin d'un maillage sismique systématique et à l'aveugle, réduisant drastiquement les coûts de pré-exploration.
- Discrétion et Impact Sol Nul : Le processus fonctionnant en mode purement passif et à distance, il s'affranchit des contraintes d'accès physiques, élimine les nuisances environnementales au sol et évite les spéculations foncières prématurées.
- Revitalisation des Champs Matures : Permet de scanner d'anciennes concessions pour détecter des compartiments de réservoirs bypassés ou des structures satellites profondes, le tout sans perturber les infrastructures de production en place.