

NOTES DE COURS

GÉOCHIMIE ORGANIQUE ET PROSPECTION PÉTROLIÈRE

Le **pétrole liquide** comporte des produits variés:

Huiles légères: composés légèrement d'hydrocarbures (jusqu'à 99% en général)

Huiles lourdes: fortes viscosités dues à une forte proportion en résines et asphaltènes

Les hydrocarbures sont des molécules qui ne contiennent que du carbone et de l'hydrogène.

Gaz naturel: représente la fraction gazeuse des hydrocarbures (C_1 à C_5) en conditions naturelles de P et de T. Il contient généralement de faibles proportions de CO_2 , N_2 et H_2S .

Hydrocarbures liquides: Différents types

Hydrocarbures saturés: C_5 à C_{40} – Représentent en moyenne 15 à 35% des huiles brutes, alcanes, iso-alcanes comprenant les isoprénoïdes (C_9 à C_{25}).

Hydrocarbures aromatiques: cycliques et non saturés (30 à 35% des huiles lourdes).

Hydrocarbures naphthéno-aromatiques: contiennent des cycles complexes saturés (cyclanes) et non saturés et représentent plus de 30% des produits des huiles brutes ;

Les asphaltes et bitumes sont des produits pétroliers très visqueux et solides à très fortes proportions de résines et d'asphaltènes.

EVALUATION DU POTENTIEL PETROLIER

L'évaluation du potentiel pétrolier d'un bassin donné exige l'étude de la roche mère. Cela peut impliquer différentes méthodes d'analyses.

Pour cela, des méthodes préalables dites *Screening Analyses* qui sont des méthodes rapides et moins coûteuses sont utilisées et combinées pour mieux caractériser la roche mère:

- *Leco*,
- *Carmhograph*,
- *La pyrolyse ROCK-EVAL*.

Le **diagramme de Van Krevelen (H/C Versus O/C)**: excellent outil pour l'étude des kérogènes et leur maturité. Les fractions de O, C et H dans le kérogène sont obtenues par les analyses élémentaires.

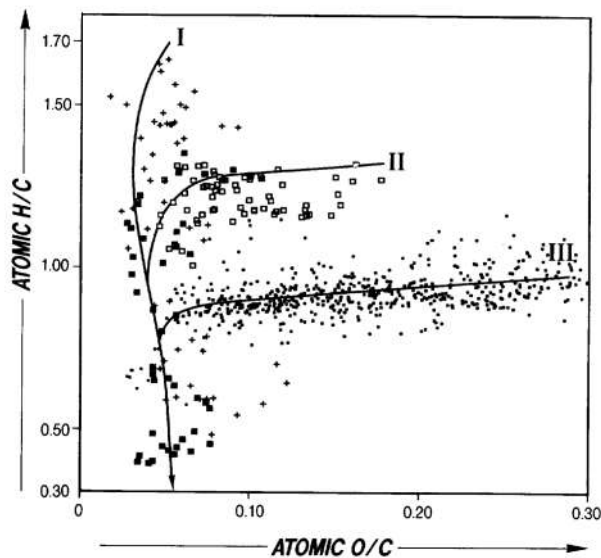


Diagramme (H/C vs O/C) de Van Krevelen

PYROLYSE ROCK-EVAL

La pyrolyse est la décomposition thermique de la matière organique en l'absence d'oxygène ou en atmosphère pauvre en oxygène.

Cette méthode a été développée par l'IFP (Institut Français du Pétrole) dès 1973.

Elle a été conçue pour fournir des informations sur:

- Le potentiel pétrolier de la roche mère,
- La quantité des hydrocarbures libres,
- Le type de matière organique et son état d'évolution.

Principe de la pyrolyse

Chauffer en programmation de température à raison de **25°C/min** en moyenne, pendant **20min**, sous atmosphère inerte: **hélium**, un petit échantillon de **100g** de **roche mère**. Afin de déterminer quantitativement et d'une façon sélective:

1. **Les hydrocarbures libres**: gaz ou huile contenus dans l'échantillon;
2. **Les composés hydrocarbonés et oxygénés**: composés expulsés lors du craquage et l'oxydation de la matière organique non extractible de la roche mère: **le kérogène**.

Différents cycles de la pyrolyse Rock-Eval

• **Quatre (04) cycles** de pyrolyse peuvent être programmés selon les besoins. Chaque cycle d'analyse comprend deux (02) phases: **une phase de pyrolyse et une phase d'oxydation**.

• Description du **cycle d'analyse N°1 d'un ROCK-EVAL 6**

C'est le cycle le plus utilisé:

A. Phase de pyrolyse

1. **Purge du four et préchauffage**:

• Balayage à l'hélium pendant 5 minutes en augmentant la température jusqu'à 450°C afin d'éliminer l'oxygène introduit pendant l'ouverture du four. A la fin de la purge, la température du four est stabilisée à 300°C.

2. **Volatilisation des HC libres (Pic S1)** : Elle dure 3 minutes environ a partir du moment où l'échantillon est introduit dans le four **300°C**.

3. **Pyrolyse proprement dite**: Elle commence au terme de la volatilisation. Elle se déroule en deux phases: Programmation de la température (25°C/min) jusqu'à 650 / 800°C:

La phase de volatilisation des composés hydrocarbonés très lourds ($C > 40$), des résines, des asphaltènes et surtout du kérogène avec la détection de Tmax et le pic S2.

Refroidissement du four : S3'CO dans l'intervalle de température décroissant de 390°C à 300°C et la détection des pics S3, S3CO, S3'.

B. Phase d'oxydation

Le chauffage du four à oxydation à 300°C commence avec l'étape de la pyrolyse proprement dite. Une fois que les pics S3 sont enregistrés, l'échantillon est introduit dans le four d'oxydation à travers un passeur automatique, et il subit une combustion sous air artificiel. La température varie de 300°C à 850°C avec la détection des pics S4CO2, S4CO et S5.

Cycle N°2

• Il saute l'étape de préchauffage du four pendant la phase de purge. C'est le cycle accéléré avec un régime de chauffage de 50°C/min au lieu de 25°C/min.

Cycle N°3

• C'est un cycle réservé aux sédiments récents et aux hydrocarbures légers.

La température initiale est 180°C au lieu de 300°C.

Cycle N°4

- Les températures de début et de fin de programme ainsi que le régime de chauffage sont choisis par l'opérateur lui-même.

Calibration de l'appareil

Les paramètres enregistrés sont calibrés par rapport à une roche étalon (échantillon) proposée par l'IFP.

Préparation des échantillons pour la pyrolyse

1. Echantillons de sub-surface

Déblais : La préparation est faite dès la remonté des déblais sur le lieu du forage:

1. Un lavage à l'eau pour éliminer les polluants solubles de la boue,
2. Un tamisage pour sélectionner les déblais à diamètre < 3-4mm,
3. Un triage sous la loupe des polluants solides et pâteux,
4. Séchage soit de 15 à 20min d'exposition à l'air de 500mg pour éliminer l'eau d'imbibition.

Carottes

- L'échantillon doit être concassé avant la pyrolyse (2-3 mm de diamètre).

2. Echantillons de surface

Terrains horizontaux ou à faible pendage

- Prélèvement à la tarière à 4m ou 5m de profondeur.

Affleurements verticaux ou à pendage élevé

- On prélève à une vingtaine de centimètres de profondeur dans la couche en évitant le contact de bancs indurés.

Paramètres enregistrés par Rock-Eval (6)

S1: Quantité des HC libres (C1-C30) gaz + huile volatilisés à 300°C, en (mg HC/g roche).

S2: Le potentiel pétrolier: composés hydrocarbonés provenant du craquage du kérogène et des composés extractibles lourds (résines et asphaltènes) entre 300°C et 650°C, en (mg HC/g roche).

TPS2: Température atteinte au sommet du pic S2, en °C.

S3: Quantité de CO₂ organique détecté à des températures entre 390°C et 300°C durant la phase de pyrolyse, en (mgCO₂/g roche).

S'3: Quantité de CO₂ minéral (inorganique) détecté depuis le début de la volatilisation jusqu'à T=400°C, en (mgCO₂/g roche).

S3CO: quantité de CO organique_détecté depuis le début de la volatilisation jusqu'à T=550°C, en (mgCO/g roche).

S'3CO: Quantité de CO organique et minéral enregistré à partir de la fin de l'enregistrement du S3CO (T=550°C) jusqu'à la fin de la phase de pyrolyse, en (mgCO/g roche).

S4CO2: Quantité de CO₂ organique résiduel détecté durant l'oxydation à une température entre 300°C et 720°C, en (mgCO₂/g roche).

S4CO: Quantité de CO organique résiduel_détecté durant toute la phase d'oxydation.

S5: Quantité de CO₂ minéral détecté à partir de la fin de l'enregistrement de S₄CO₂ (T= 720°C) jusqu'à la fin de l'oxydation T= 850°C, en (mgCO₂/g roche).

Paramètres calculés

Ce sont :

- Tmax
- Index de Production IP
- Carbone Organique Total COT
- Carbone Minéral CM
- Index d'Hydrogène IH
- Index d'Oxygène IO

Calculated parameters for the Basic Method

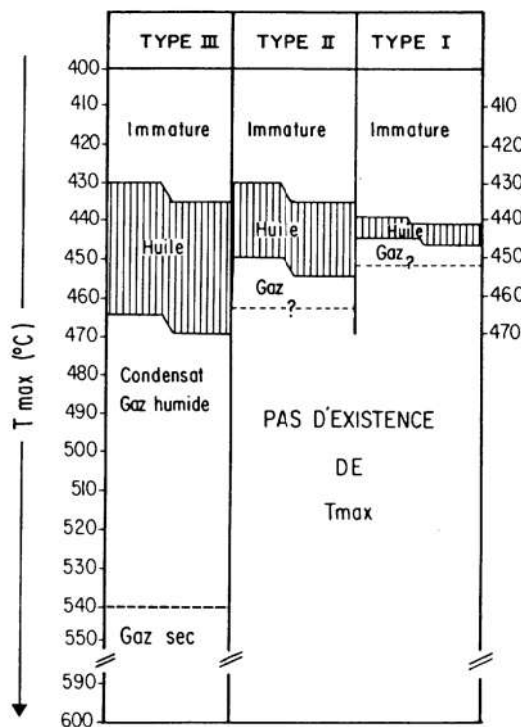
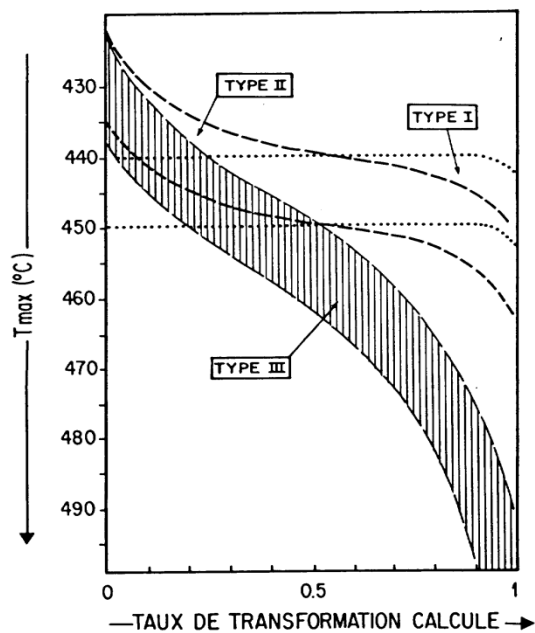
Calculated parameters	Unit	Formula	Name
T_{max}	°C	$T_{pS2} - \Delta T_{max}^*$	T_{max}
PI		$\frac{S1}{(S1 + S2)}$	Production index
PC	wt%	$\frac{[(S1 + S2) \times 0,83] + \left[S3 \times \frac{12}{44} \right] + \left[\left(S3CO + \frac{S3'CO}{2} \right) \times \frac{12}{28} \right]}{10}$	Pyrolysable org. carbon
RC CO	wt%	$\frac{S4CO \times \frac{12}{28}}{10}$	Residual org. carbon (CO)
RC CO ₂	wt%	$\frac{S4CO_2 \times \frac{12}{44}}{10}$	Residual org. carbon (CO ₂)
RC	wt%	RC CO + RC CO ₂	Residual org. carbon
TOC	wt%	PC + RC	Total organic carbon
$S1/TOC$	mg HC/g TOC	$\frac{S1 \times 100}{TOC}$	
HI	mg HC/g TOC	$\frac{S2 \times 100}{TOC}$	Hydrogen index
OI	mg CO ₂ /g TOC	$\frac{S3 \times 100}{TOC}$	Oxygen index
OI CO	mg CO/g TOC	$\frac{S3CO \times 100}{TOC}$	Oxygen index CO
PyroMinC	wt%	$\frac{\left[S3' \times \frac{12}{44} \right] + \left[\left(\frac{S3'CO}{2} \right) \times \frac{12}{28} \right]}{10}$	Pyrolysis mineral carbon
OxiMinC	wt%	$\frac{S5 \times \frac{12}{44}}{10}$	Oxidation mineral carbon
MinC	wt%	PyroMinC + OxiMinC	Mineral carbon

Interprétations des paramètres

T_{max} : température maximale de la pyrolyse mesurée au sommet du pic S2. C'est un indicateur d'évolution (maturation) de la matière organique.

Type de matière organique selon la variation de T_{max}

Type de la MO	Variation de T _{max}
Type (I): Origine lacustre	(440– 445)°C jusqu'à 450°C
Type (II): Origine marine	(430 – 435)°C jusqu'à 455°C
Type (III): Origine continentale	(430 – 435)°C jusqu'à T _{max} > 500°C



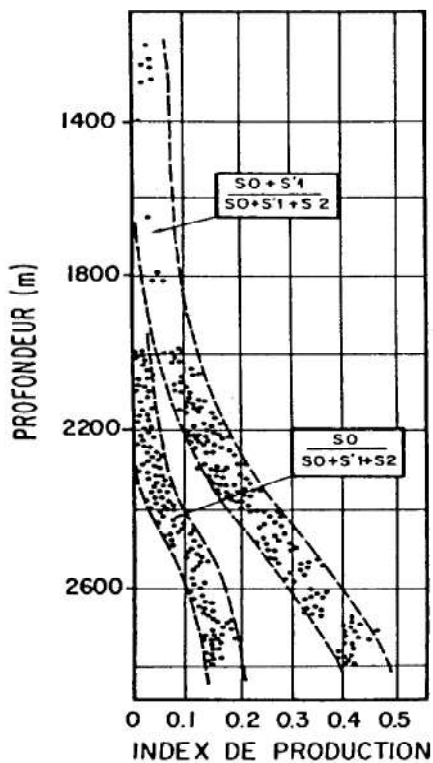
Utilisation de T_{max} pour la détermination des principales zones de formation du pétrole et du gaz.

Index de Production IP

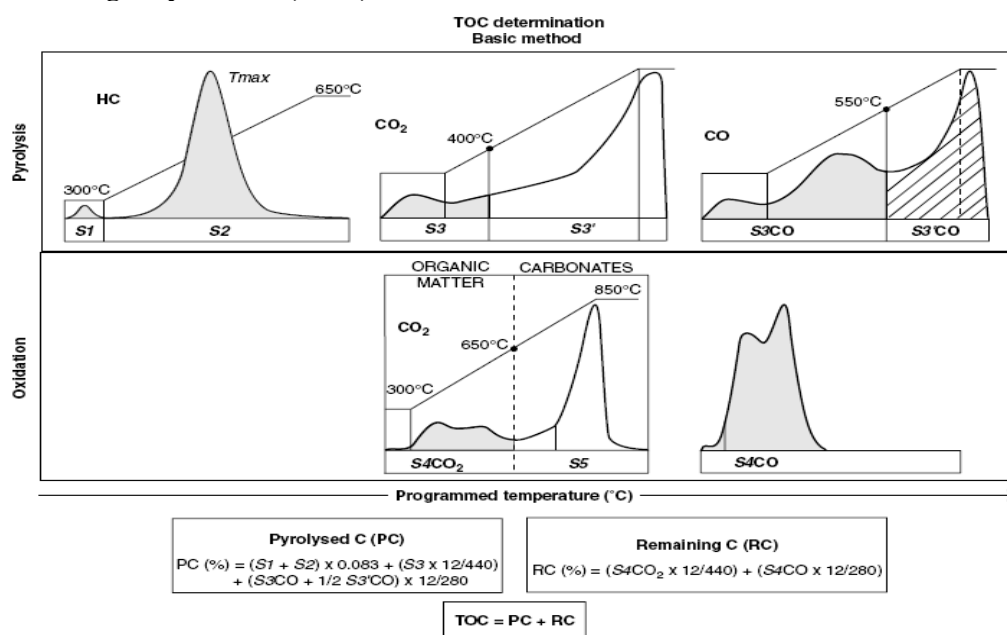
• représente le pétrole produit par la roche mère au cours de son évolution mais en absence de migration. Il augmente en fonction de la profondeur.

Zone de formation de gaz: $0.05 \leq IP \leq 0.10$

Zone de formation d'huile: $0.30 \leq IP \leq 0.40$

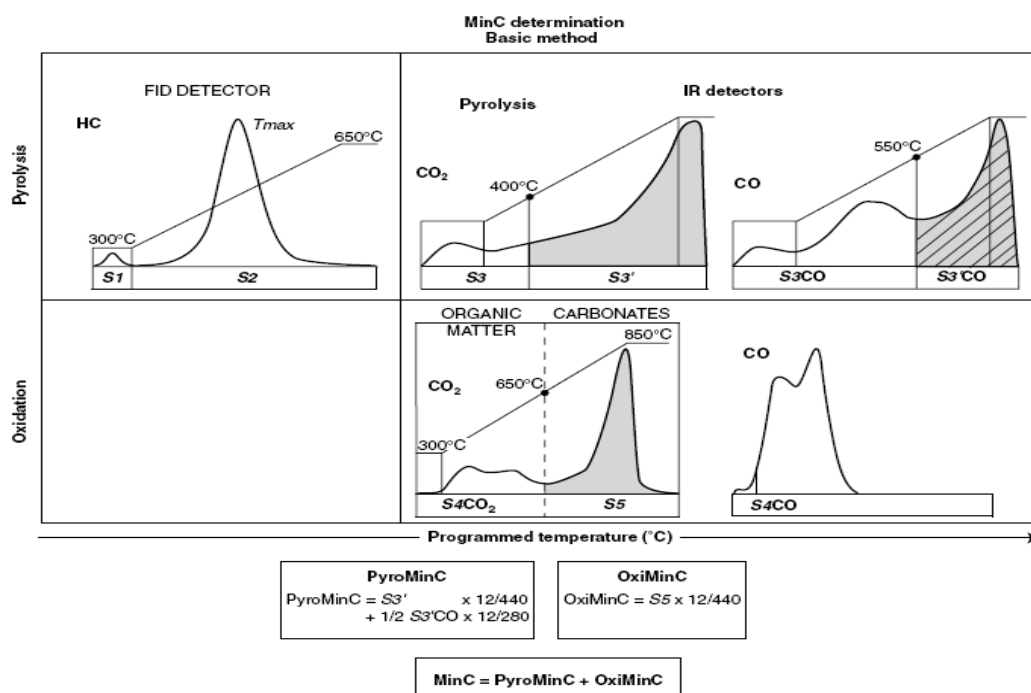


Carbone Organique Total (COT)



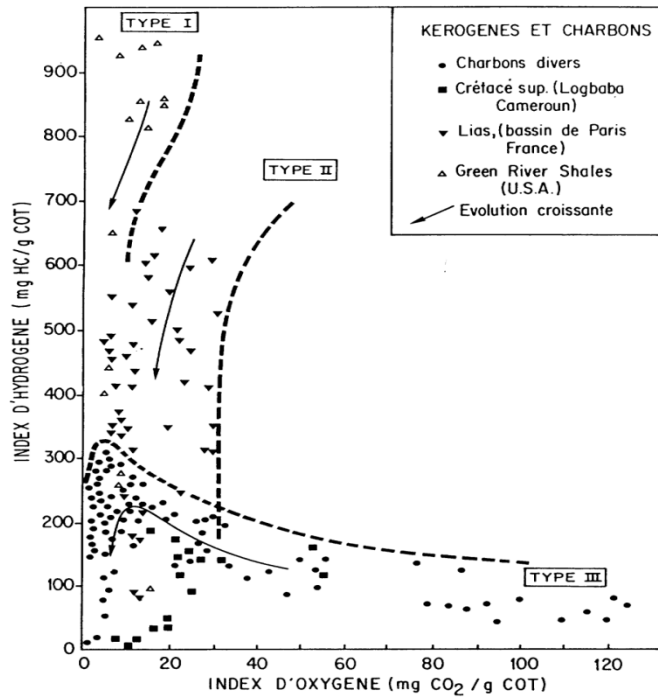
Carbone Minéral (CM)

Le Carbone minéral est calculé par l'appareil ROCK-Eval 6 uniquement. Ce module a été introduit pour éliminer l'interférence des quantités de carbone libéré par les carbonates (sidérite, calcite et dolomite) dans le calcul du COT.



Index d'Hydrogène (IH) et Index d'Oxygène (IO)

- Les diagrammes **IH** Vs. **IO** permettent de reconnaître et de classer les différents types de la MO.
- Dans l'étude des kérogènes, ces diagrammes remplacent actuellement celui de Van Krevelen.



NOTES DE COURS (suite)

Applications de la pyrolyse Rock-Eval

1. Caractérisation de la roche mère

a. Etablissement des logs géochimiques

- Les logs géochimiques permettent une meilleure sélection des niveaux dignes d'intérêt.

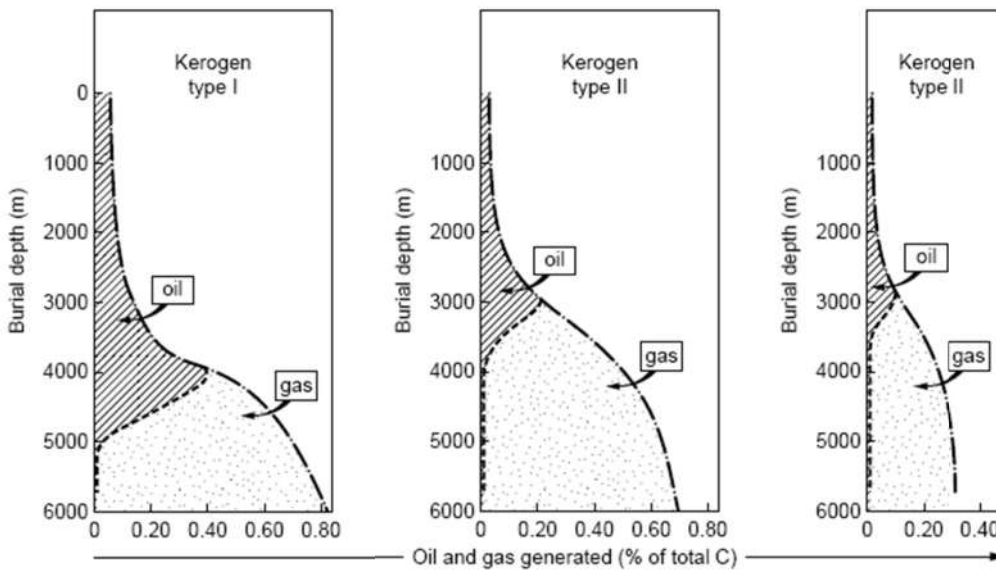
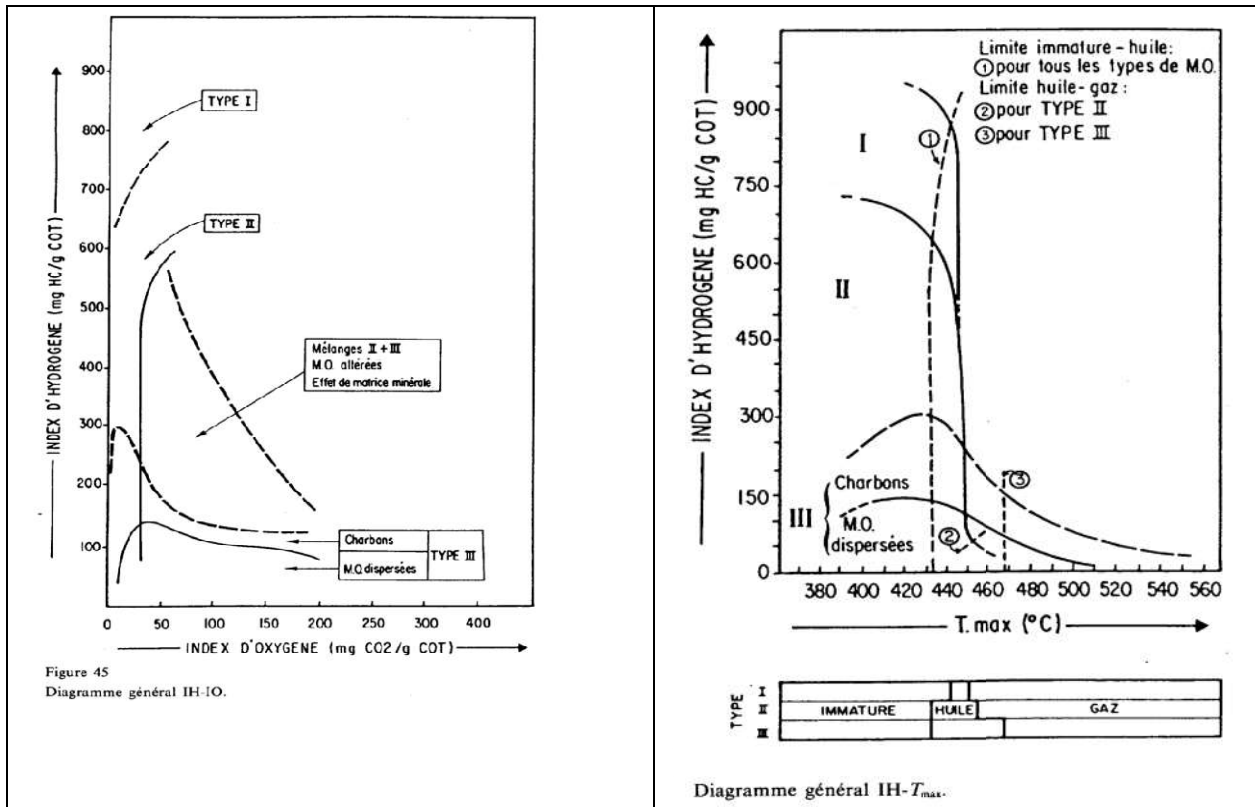
b. Potentiel pétrolier de la roche mère

- Il correspond au pic S2.
- Il traduit la richesse de la roche mère en MO.
- Il permet de reconnaître aisément les différents niveaux de roche mère et les comparer selon leur productivité.

POTENTIEL PETROLIER TOTAL (mg HC/g roche)				
	0	2	5	20 60
ROCHE MERE	PAUVRE	MOYENNE	BONNE	TRES BONNE
TYPE D'ACCUMULATION ATTENDU	(ARGILES) HUILE LEGERE + GAZ + HUILE + GAZ (CALCAIRES)	HUILE et GAZ		
SERIES GEOLOGIQUES	CRET. SUP. BASSIN de DOUALA (CAM) / CRET. INF. BASSIN D'AQUITAINE	JURAS. INF. BASSIN DE PARIS	TOARCIEEN BASSIN de PARIS / KIMMER. MER DU NORD	GRS (USA) / PERMIEN D'IRATI (BRESIL) / CRETACE DU MOYEN ORIENT

Classification des roches mères à partir de leur potentiel pétrolier total.

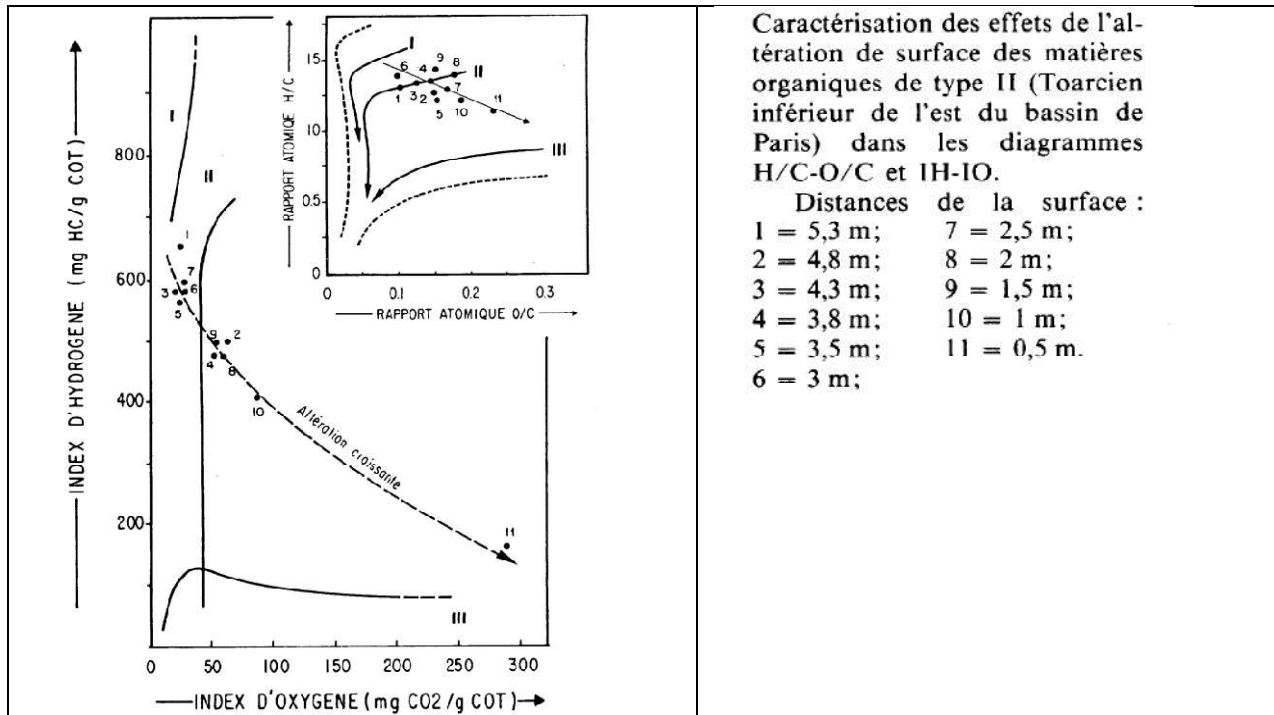
c. Type de matière organique et son degré de maturation



d. Etude des altérations de la matière organique

• Altération de surface

- Dégradation de la MO en affleurement de la roche mère par oxydation météorique.
- les échantillons dégradés montrent une augmentation de IO et corrélativement une diminution de IH.



e. Etablissement des cartes et des modèles géochimiques

- Les cartes géochimiques à partir des principaux paramètres de la pyrolyse sont réalisables quand les puits étudiés sont suffisamment nombreux.
- Carte d'iso-Production (Iso-S1 ou Iso-IP)
- Carte d'iso-maturation (Iso-Tmax)
- Carte d'iso-Potentiel pétrolier (Iso-S2)
- Carte d'iso-Migration (Iso-ΔS1)
- La combinaison de toutes les cartes géochimiques permettent de sélectionner les zones le plus productives d'un bassin, et de mieux localiser les zones d'accumulation ou de drainage.

2. Etude des phénomènes de migration

- Les accumulations
- Drainage et migration

3. Etude des roches réservoirs

La géochimie du réservoir est un domaine en développement car il contribue à l'identification des intervalles les plus intéressants pour les producteurs.

4. Etude de contamination des sols

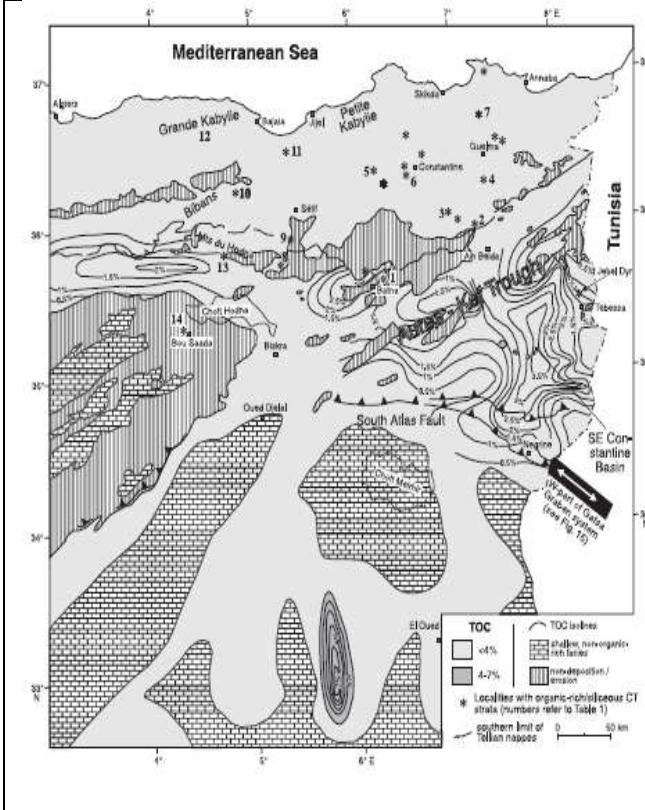
En utilisant un cycle de pyrolyse dit Pollut-Eval de 30min.

- Contamination des sols par HC légers,
- Contamination des sols par HC lourds.

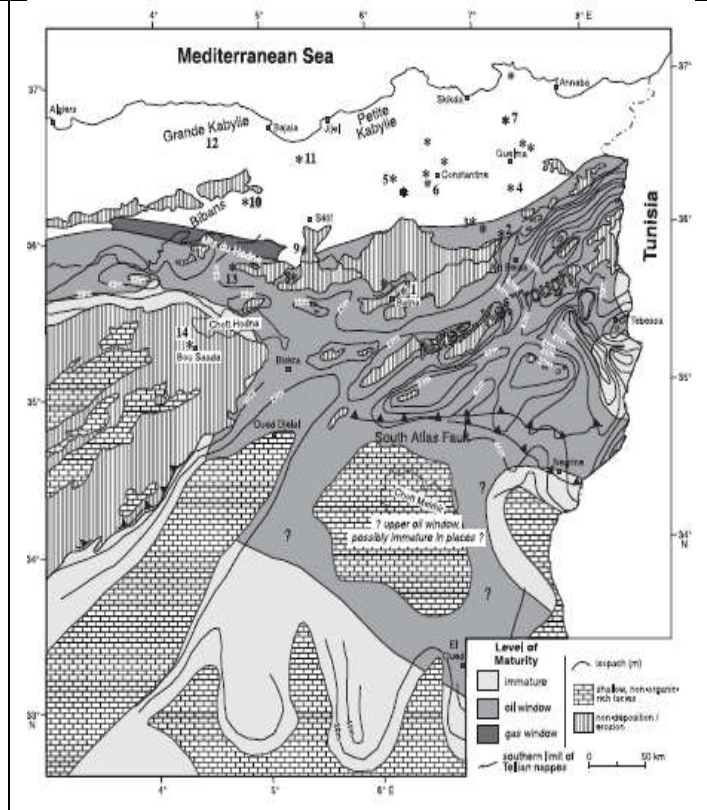
Informations pouvant être obtenues

- Le type du polluant
- La quantité du polluant
- L'extension La zone de contamination

Carte d'Iso-COT



Carte d'Iso-Maturation



Distribution and properties of Cenomanian–Turonian organic-rich marls/shales in NE Algeria (Sud-Est constantinois et confins tunisiens).