

## 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.

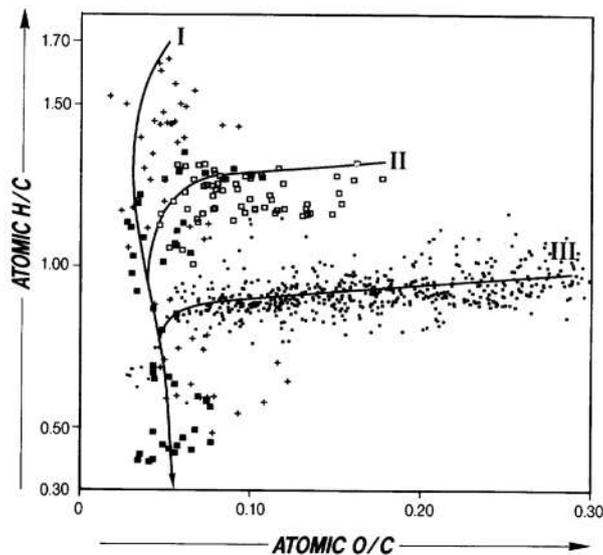


Diagramme (H/C vs O/C) de Van Krevelen

## 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 CO<sub>2</sub> organique détecté à des températures entre 390°C et 300°C durant la phase de pyrolyse, en (mgCO<sub>2</sub>/g roche).

**S'3**: Quantité de CO<sub>2</sub> minéral (inorganique) détecté depuis le début de la volatilisation jusqu'à T=400°C, en (mgCO<sub>2</sub>/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 CO<sub>2</sub> organique résiduel détecté durant l'oxydation à une température entre 300°C et 720°C, en (mgCO<sub>2</sub>/g roche).

**S4CO**: Quantité de CO organique résiduel\_détecté durant toute la phase d'oxydation.

**S5**: Quantité de CO<sub>2</sub> minéral détecté à partir de la fin de l'enregistrement de S<sub>4</sub>CO<sub>2</sub> (T= 720°C) jusqu'à la fin de l'oxydation T= 850°C, en (mgCO<sub>2</sub>/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

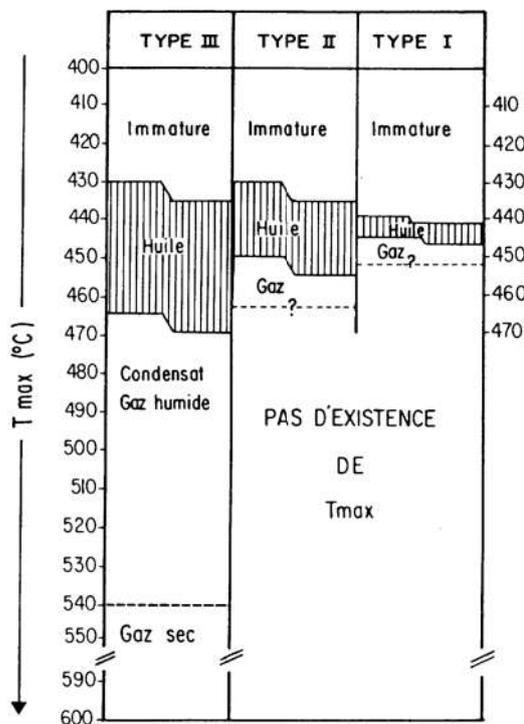
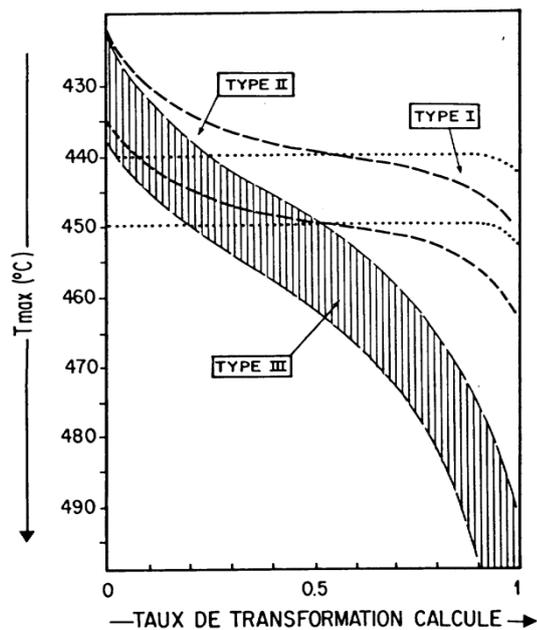
Calculated parameters	Unit	Formula	Name
$T_{max}$	°C	$T_{pS2} - \Delta T_{max}^*$	$T_{max}$
PI		$\frac{S1}{(S1 + S2)}$	Production index
PC	wt%	$\frac{[(S1 + S2) \times 0,83] + \left[ S3 \times \frac{12}{44} \right] + \left[ \left( S3CO + \frac{S3'CO}{2} \right) \times \frac{12}{28} \right]}{10}$	Pyrolysable org. carbon
RC CO	wt%	$\frac{S4CO \times \frac{12}{28}}{10}$	Residual org. carbon (CO)
RC CO <sub>2</sub>	wt%	$\frac{S4CO_2 \times \frac{12}{44}}{10}$	Residual org. carbon (CO <sub>2</sub> )
RC	wt%	RC CO + RC CO <sub>2</sub>	Residual org. carbon
TOC	wt%	PC + RC	Total organic carbon
SI/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 <sub>2</sub> /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<sub>max</sub>** : 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<sub>max</sub>

Type de la MO	Variation de T <sub>max</sub>
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 <sub>max</sub> > 500°C



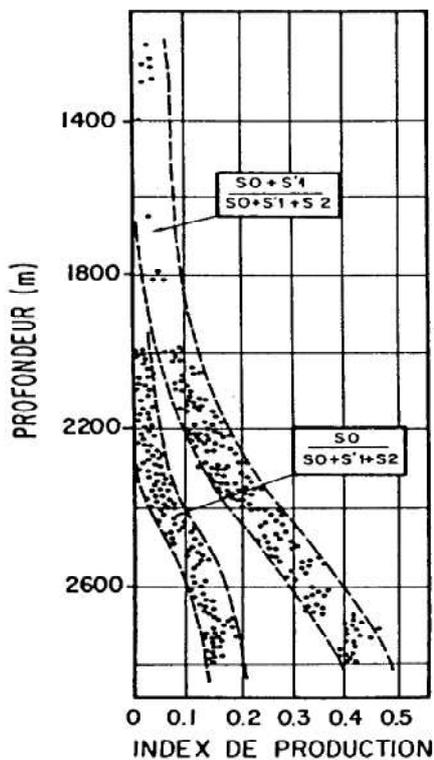
Utilisation de  $T_{max}$  pour la détermination des principales zones de formation du pétrole et du gaz.

### Index de Production IP

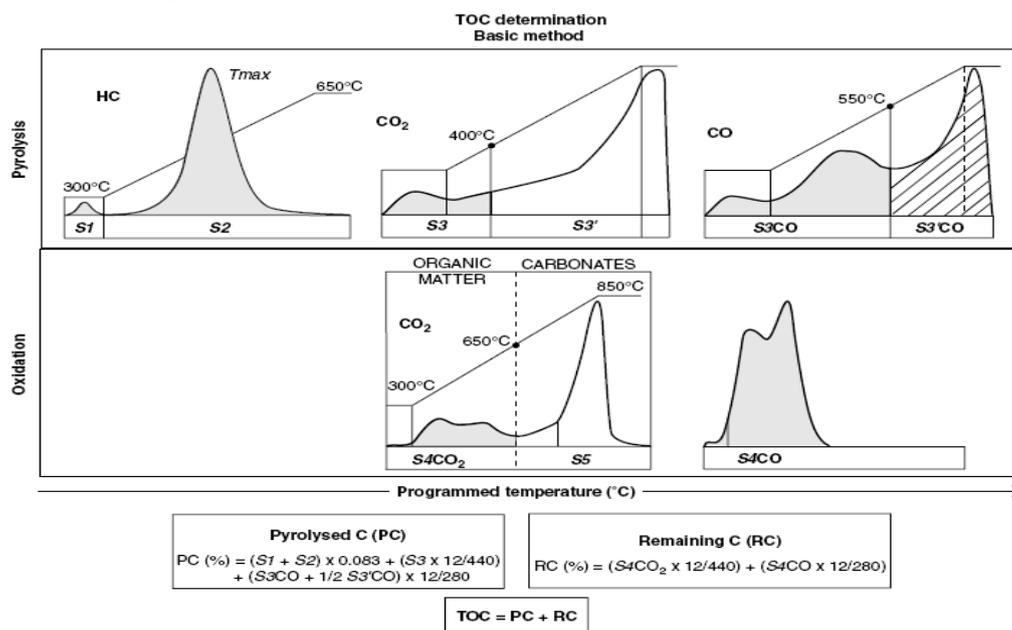
• représente le pétrole produit par la roche mère au cours de son évolution mais en absence de migration. Il augmente en fonction de la profondeur.

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

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

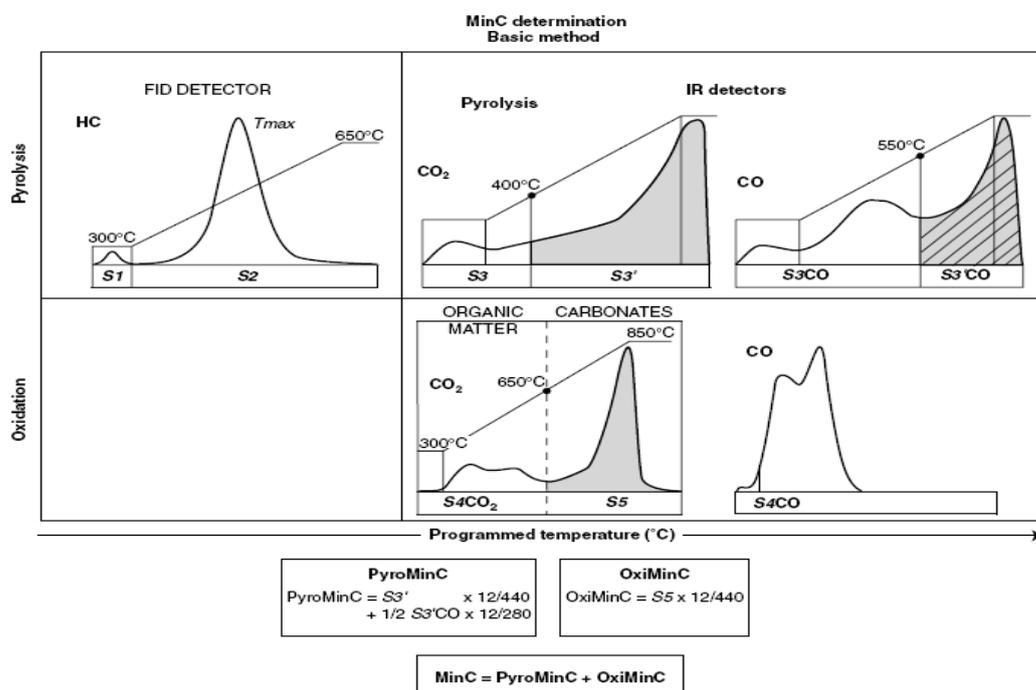


## Carbone Organique Total (COT)



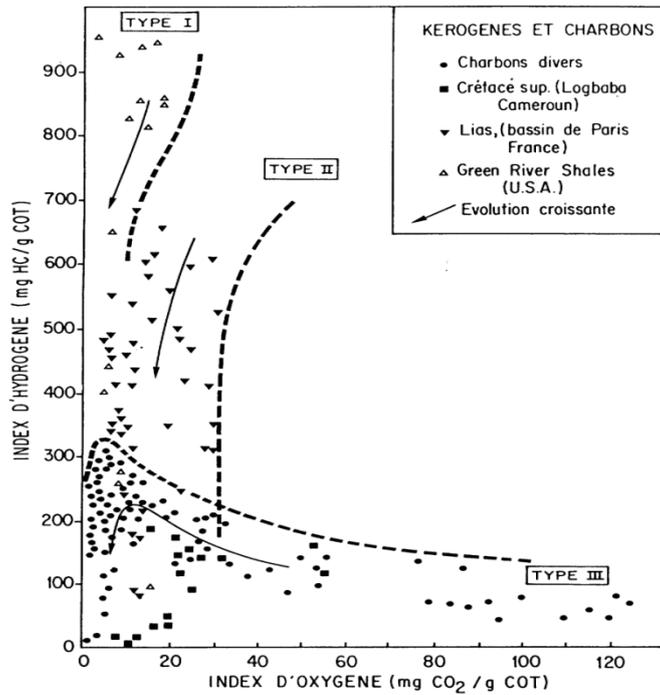
## Carbone Minéral (CM)

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.

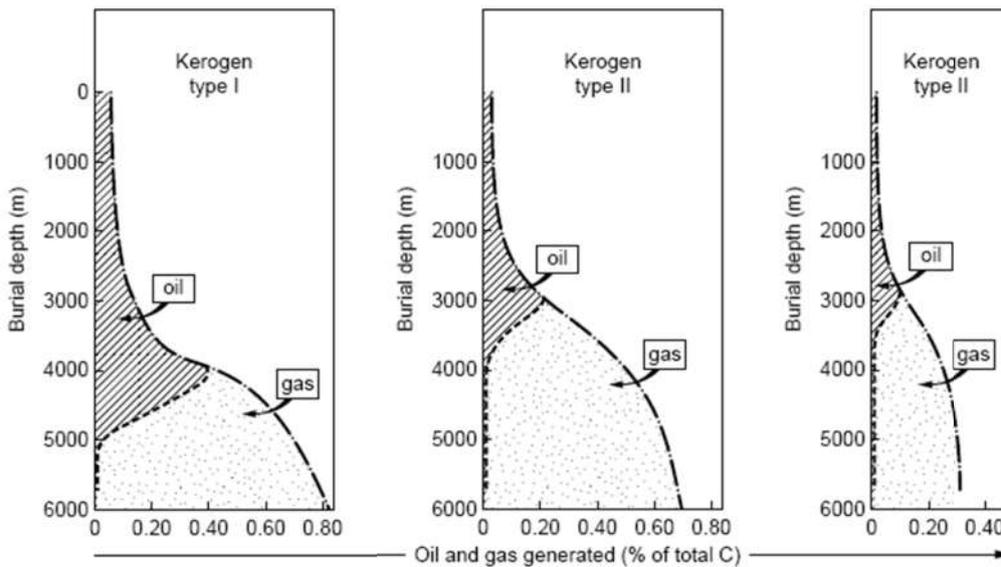
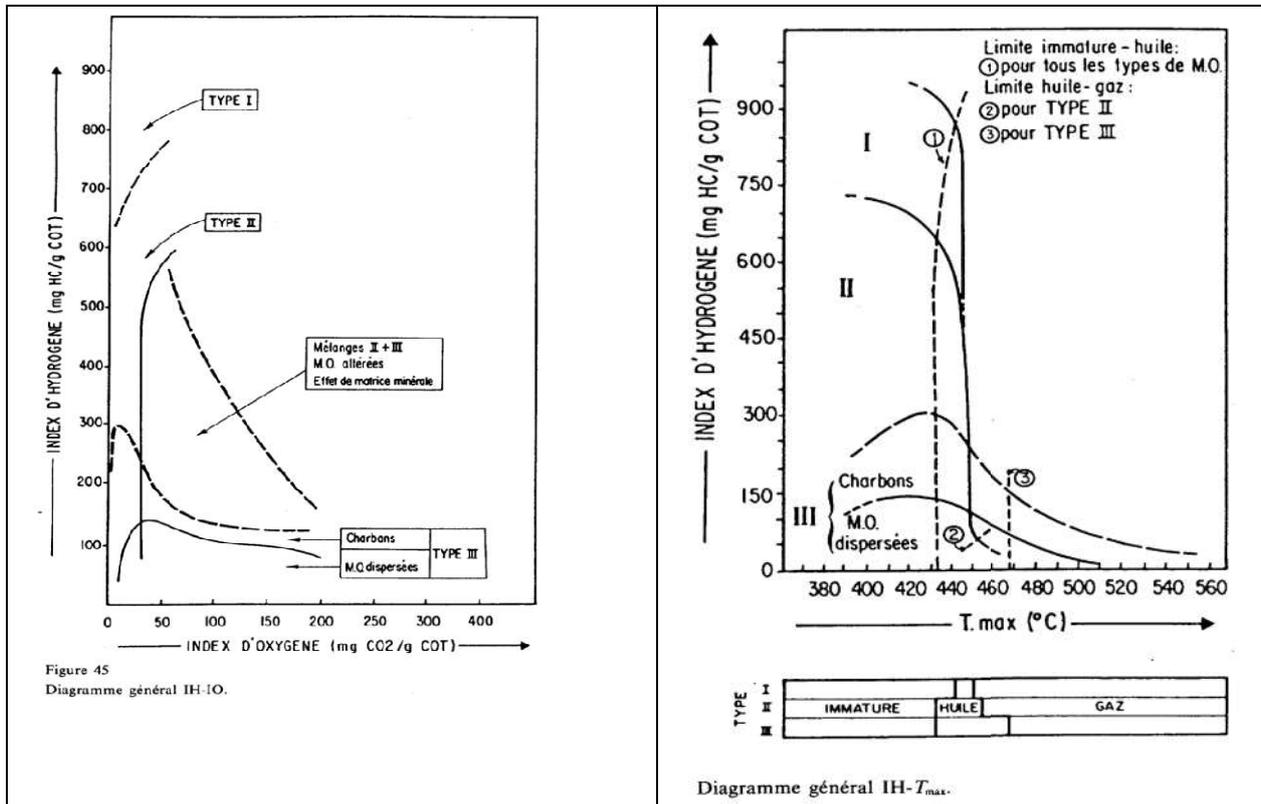
**b. Potentiel pétrolier de la roche mère**

- 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			Schistes Bitumineux
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.

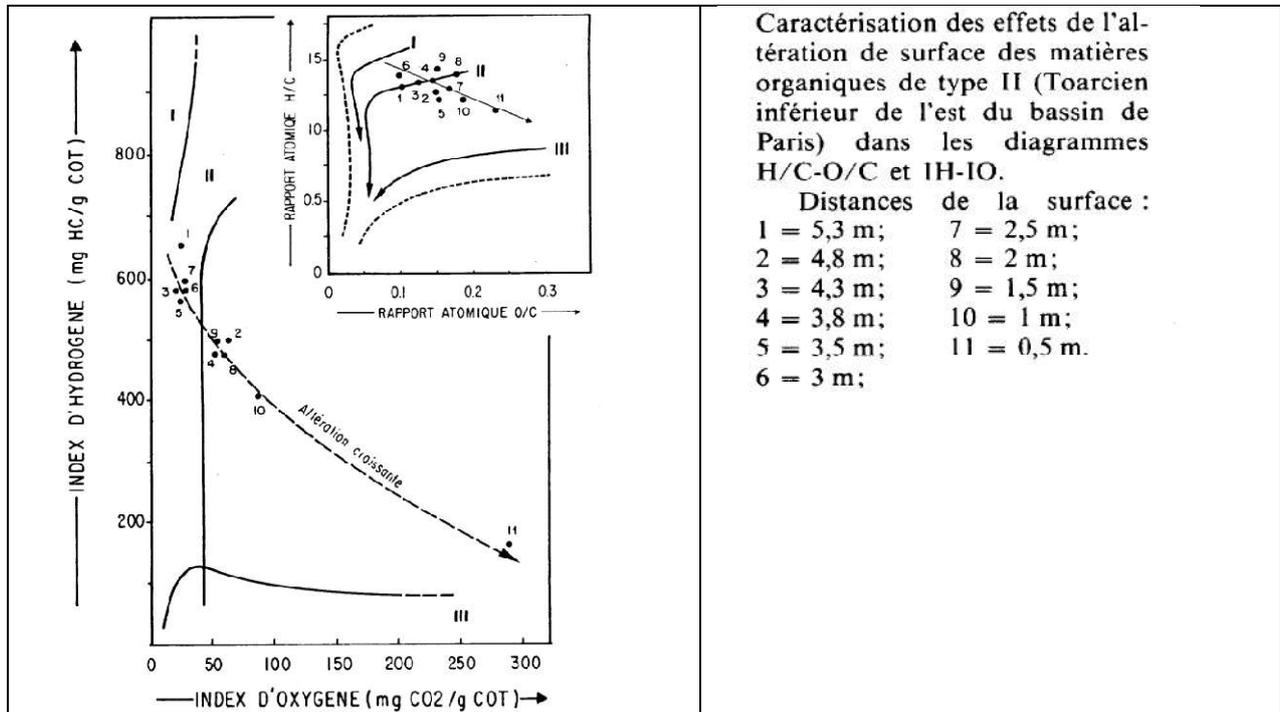
**c. Type de matière organique et son degré de maturation**



#### 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

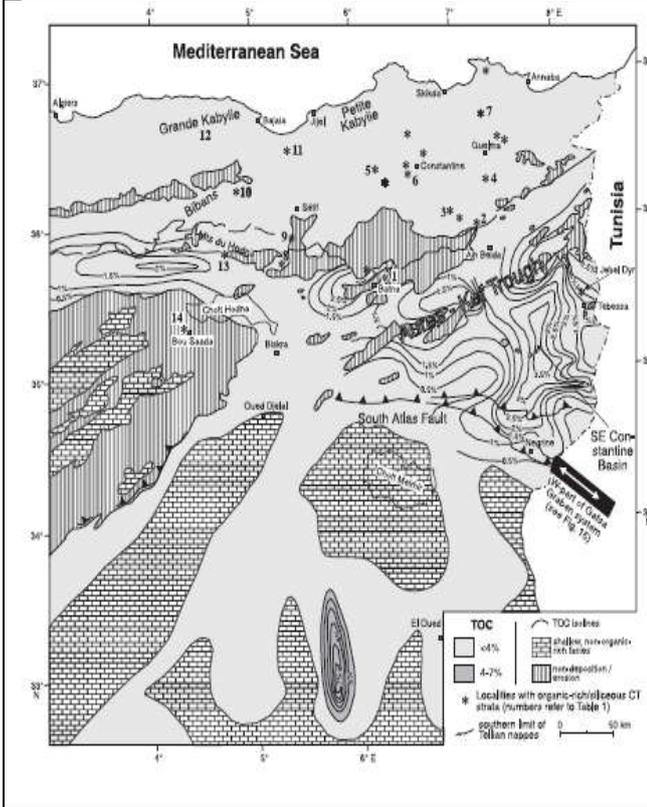
En utilisant un cycle de pyrolyse dit Pollut-Eval de 30min.

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

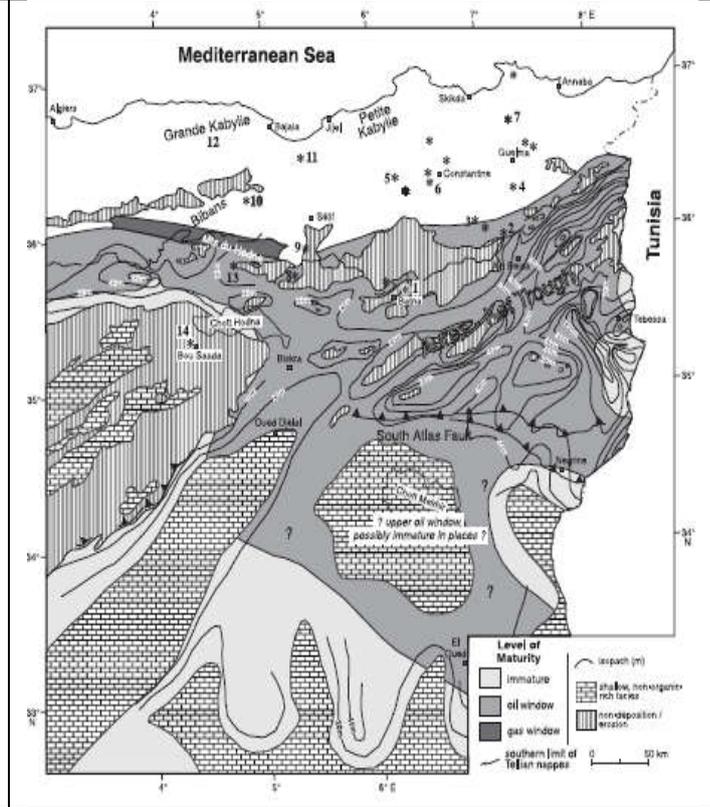
### Informations pouvant être obtenues

- 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).**