

5. ETUDE GEOCHIMIQUE

Les seuls échantillons (cuttings) disponibles concernent seulement trois puits, les puits réalisés par Crux en mer. Ces trois puits - Arcadines-1, Artibonite-1, Cul-de-Sac-1 - ont donc été échantillonnés en vue d'une étude géochimique basée sur la méthode C.O.T - Rock Eval, c'est à dire la détermination de la teneur en carbone organique et l'analyse par pyrolyse programmée Rock-Eval.

Un total de 101 échantillons a été analysé : 26 échantillons dans Arcadines-1, 15 dans Artibonite-1, et 60 dans Cul-de-sac-1.

Ils concernent la série Paléocène à Pliocène, aucun forage n'ayant atteint le Crétacé.

5.1. Méthodes d'analyses et définitions - Traitement et présentation des résultats

La teneur en carbone organique des échantillons est au préalable déterminée à l'aide de l'appareil LECO. Par la suite, la caractérisation des roches-mères se fait à partir d'une pyrolyse programmée des roches, à l'aide d'un appareil ROCK-EVAL.

Cette pyrolyse permet de déterminer à la fois la nature de la matière organique, ses états de maturation et ses potentiels pétroliers (exprimés en Kg d'hydrocarbures par tonne de roche).

Les différents paramètres pris en compte sont :

- La teneur en carbone minéral (en pourcentage du poids de roche),
- La teneur en carbone organique (en pourcentage du poids de roche),
- S1 (en Kg d'HC par tonne de roche) représentant la quantité d'hydrocarbures, liquides et gazeux à l'état libre dans la roche,
- S2 (en Kg d'HC par tonne de roche) représentant la quantité d'HC libérée le par le kérogène au cours de la pyrolyse,
- Les températures de pyrolyse (T° max.) : il s'agit de la température expérimentale atteinte au maximum du pic S2 du programme.
- S3 (en Kg de CO2 par tonne de roche) qui est la quantité de gaz carbonique libérée par le kérogène au cours de la pyrolyse,

- Le potentiel pétrologène (PP) en Kg d'hydrocarbures par tonne de roche, représenté par $S1 + S2$ lorsque $S1$ est issu du kérogène in situ. Lorsque $S1$ est constitué d'hydrocarbures migrants, le PP doit être calculé en prenant en considération le niveau de maturité de la roche.
- L'index de production (IP) exprimant le rapport des HC libres aux HC totaux, à savoir $S1/(S1 + S2)$. Il permet de reconnaître les accumulations c'est à dire les HC libres qui ne sont pas issus du kérogène in situ,
- L'index d'hydrogène (IH) correspondant à $S2$ rapporté au carbone organique,
- L'index d'oxygène (IO) correspondant à $S3$ rapporté au carbone organique.

Traitement et présentation des résultats

l'IFP-BEICIP ont élaboré un programme permettant de dessiner automatiquement, pour chaque puits ou coupe de surface les documents suivants :

- a) un log géochimique montrant les différents paramètres ainsi que les profondeurs et les âges des formations analysées.
- b) un diagramme montrant une corrélation entre le potentiel pétrolier des différents échantillons (exprimé en Kg d'hydrocarbures/tonne de roche) et la teneur en carbone organique.
- c) un diagramme montrant une corrélation entre les Index d'Hydrogène et les Index d'Oxygène. Ce diagramme permet de déterminer le type de Matière Organique, pourvu que les roches-mères ne soient pas trop évoluées.

Trois lignées principales d'évolution sont tracées sur le diagramme (diagramme de VAN KREVELLEN). D'après la position des échantillons reportés sur le diagramme, on peut reconnaître les trois types principaux de Matière Organique (M.O) I, II, III. UN quatrième type (type détritique ou résiduel) peut aussi être reconnu :

TYPE I : matière organique aquatique enrichie en lipides, avant son enfouissement, par une activité microbiologique. Cette matière montre des Index d'Hydrogène forts et possède un potentiel pétrolier très élevé.

TYPE II : matière organique aquatique possédant un potentiel pétrolier élevé mais moindre que celui du type I. Ses index d'hydrogène sont moyens à fort.

TYPE III : matière organique formée essentiellement par des débris de végétaux supérieurs possédant un potentiel en gaz plus élevé que celui des types I et II. Ses index d'hydrogène sont faibles à moyens.

TYPE IV : (TYPE DETRITIQUE OU RESIDUEL) : matière organique altérée ou remaniée avant son enfouissement ou ayant déjà exprimé la plupart de son potentiel pétrolier. Cette matière est caractérisée par des index d'Hydrogène très faibles et par des index d'Oxygène variables : elle possède un potentiel pétrolier négligeable.

d) un diagramme montrant une corrélation entre les Index d'Hydrogène et les Températures maximales de pyrolyse. Trois lignées principales d'évolution ainsi que trois courbes indiquant les valeurs de réflectance 0,5%, 1% et 1,5% de la vitrinite sont reportées sur ce diagramme. Ces courbes de réflectance ont été établies par les laboratoires IFP après corrélation d'un grand nombre de réflectances Vitrinite (Ro) avec un grand nombre de températures maximales de pyrolyse. Le diagramme permet de déterminer le degré de l'évolution de la Matière Organique.

- les échantillons situés à la gauche de la courbe de réflectance 0,5% sont immatures,
- les échantillons situés entre les courbes 0,5% et 1,0% sont dans la "fenêtre à huile",
- les échantillons situés entre les courbes 1,0% et 1,5% se trouvent dans la zone à condensats et ceux qui se trouvent au-delà de 1,5% dans la zone à gaz.

Les lignées d'évolution permettent de déterminer les différents types de M.O. Ceci permet de contrôler utilement le diagramme c.

La figure 24 rend compte des différentes classes de valeurs utilisées à propos des principaux paramètres de l'étude.

5.2. Résultats de l'analyse

- 26 échantillons ont été prélevés dans le puits Arcadines-1. Leur répartition stratigraphique est la suivante :
 - Pliocène supérieur : 1 échantillon à 1159 m
 - Pliocène inférieur : 12 échantillons 1226-1580 m
 - Miocène supérieur : 5 échantillons 1629-1745 m
 - Miocène moyen : 8 échantillons 1760-1961 m.

PARAMETRES LIES A LA PYROLYSE ET ECHELLE DES VALEURS

1) S1 + S2 POTENTIEL PETROLIER (kg Hydro/T. de roche)

TRES FAIBLE	FAIBLE	MOYEN	BON	TRES BON
0,01 - 0,50	0,51 - 2,00	2,01 - 5,00	5,01 - 20,00	> 20

2) CARBONE ORGANIQUE (% poids de roche)

TRES PAUVRE	PAUVRE	MOYEN	RICHE	TRES_RICHE
0,01 - 0,20	0,21 - 0,50	0,51 - 1,00	1,01 - 3,00	> 3

3) CARBONE MINERAL (% poids de roche)

TRES FAIBLE	FAIBLE	MOYEN	FORT	TRES FORT
0,01 - 1,00	1,01 - 4,00	4,01 - 8,00	8,01 - 11,00	11,01-12,00

EQUIVALENT CARBONATES

0,08 - 8,00	8,01 - 33,00	33,01 - 66,00	66,01 - 92,00	92,01-100,00
-------------	--------------	---------------	---------------	--------------

50

4) (I H) INDEX D'HYDROGENE (S2/Carbone organique)

FAIBLE	MOYEN	FORT	TRES FORT
0 - 100	101 - 300	301 - 600	> 600

5) (I O) INDEX D'OXYGENE (S3/Carbone organique)

TRES FAIBLE	FAIBLE	MOYEN	FORT	TRES FORT
0 - 50	51-100	100-200	200-400	> 400

- 15 échantillons ont été prélevés dans le puits Artibonite-1 :
 - . Eocène : 11 échantillons 1016-1732 m
 - . Paléocène supérieur : 4 échantillons 1742-1848 m
- 60 échantillons ont été prélevés dans le puits Cul-de-Sac-1 :
 - . Miocène moyen/sup. : 17 échantillons 952-1571 m
 - . Eocène sup. à moyen : 43 échantillons 1610-2943 m

5.2.1 PUITS ARCADINES-1 (fig.25 à 29)

Les résultats obtenus dans ce puits sont à peu de chose près semblables pour tous les échantillons analysés, excepté en ce qui concerne leur richesse organique (C.O.T.).

- Carbone Organique Total (C.O.T)

Généralement très pauvre ou pauvre (0,08 - 0,46%), moyen à riche (0,53 - 1,2%), entre 1159-1281 m (Pliocène inférieur à supérieur).

- Carbone minéral

Moyen à très fort (4.1 - 11% : marnes à carbonates) excepté à 1549 m (Pliocène inférieur), où il est très faible (0.7%).

- Potentiel pétrologène (PP)

Très pauvre à pauvre (0,11 - 1,6 Kg HC/t roche).

- Index de production (IP)

Généralement sans signification en raison de la petitesse des pics S1 et S2.

- Type de matière organique

- . Index d'hydrogène (IH) : faibles à moyens en général (28 - 278)
- . Index d'Oxygène (IO) : généralement forts ou très forts (200 -680) probablement en raison de la dissociation thermique de minéraux carbonatés.

PAGE 1

RESULTATS DE L'ANALYSE ROCK EVAL

ARCADINES 1

NUM.	I N.C	I PROF	I C.MIN	I C.ORG I	S1	S2	TEMP C.	I.H	I.O	P.P	S3	C.P %	I.P
4782	0	1159.00	4.29	0.67	0.07	0.23	0	34	133	0.30	0.89	2.9	0.23
4783	0	1226.00	4.62	0.53	0.08	0.27	0	51	172	0.35	0.91	4.3	0.24
4784	0	1260.00	4.15	1.16	0.16	0.33	0	28	79	0.49	0.92	2.4	0.33
4785	0	1281.00	4.11	0.96	0.64	0.95	0	99	440	1.59	4.22	8.3	0.41
4786	0	1308.00	5.07	0.33	0.24	0.57	0	173	676	0.81	2.23	14.5	0.30
4787	0	1345.00	5.59	0.39	0.07	0.19	0	49	213	0.26	0.83	4.1	0.27
4788	0	1373.00	4.98	0.29	0.03	0.08	0	28	228	0.11	0.66	2.3	0.30
4789	0	1418.00	5.02	0.46	0.12	0.28	0	61	459	0.40	2.11	5.1	0.30
4790	0	1437.00	6.25	0.21	0.12	0.88	0	419	276	1.00	0.58	35.2	0.12
4791	0	1482.00	8.44	0.15	0.03	0.19	0	127	240	0.22	0.36	10.6	0.14
4792	0	1513.00	6.72	0.21	0.06	0.35	0	167	262	0.41	0.55	14.0	0.15
4793	0	1549.00	0.69	0.08	0.06	0.11	0	138	150	0.17	0.12	11.6	0.37
4794	0	1580.00	7.96	0.18	0.08	0.17	0	94	289	0.25	0.52	7.9	0.33
4795	0	1629.00	6.75	0.12	0.04	0.09	0	75	492	0.13	0.59	6.3	0.33
4796	0	1641.00	5.82	0.11	0.05	0.23	0	209	545	0.28	0.60	17.6	0.18
4797	0	1674.00	9.04	0.15	0.02	0.19	0	127	267	0.21	0.40	10.6	0.10
4798	0	1702.00	9.37	0.20	0.03	0.18	0	90	230	0.21	0.46	7.6	0.15
4799	0	1745.00	9.55	0.31	0.10	0.45	425	145	313	0.55	0.97	12.2	0.19
4800	0	1760.00	10.42	0.31	0.16	0.80	425	258	313	0.96	0.97	21.7	0.17
4801	0	1778.00	7.96	0.22	0.03	0.40	0	182	264	0.43	0.58	15.3	0.07
4802	0	1809.00	11.07	0.32	0.12	0.89	433	278	213	1.01	0.68	23.4	0.12
4803	0	1836.00	10.87	0.31	0.10	0.84	430	271	206	0.94	0.64	22.8	0.11
4804	0	1870.00	8.86	0.21	0.03	0.21	431	100	267	0.24	0.56	8.4	0.12
4805	0	1906.00	9.72	0.35	0.12	0.49	426	140	357	0.61	1.25	11.8	0.20

Pliocene
supérieur

Pliocene inférieur

Miocene
supérieur

Miocene
moyen

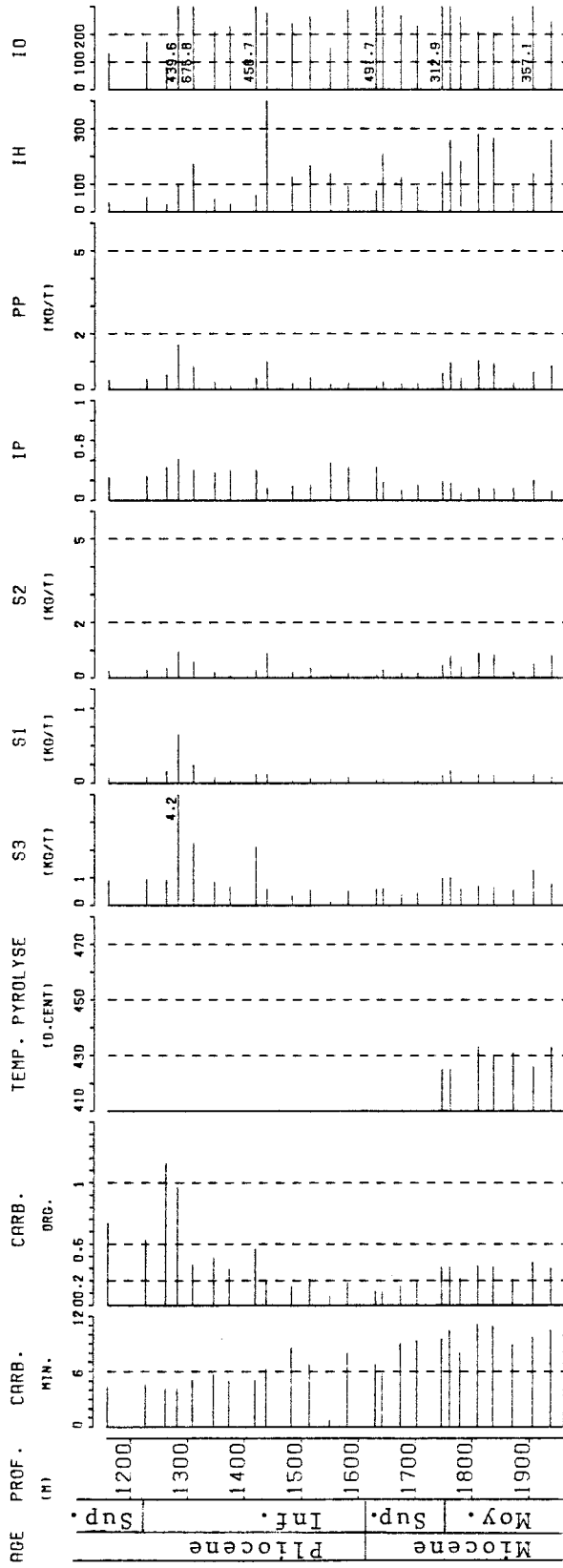
RESULTATS DE L'ANALYSE ROCK-EVAL

Miocene
moyen

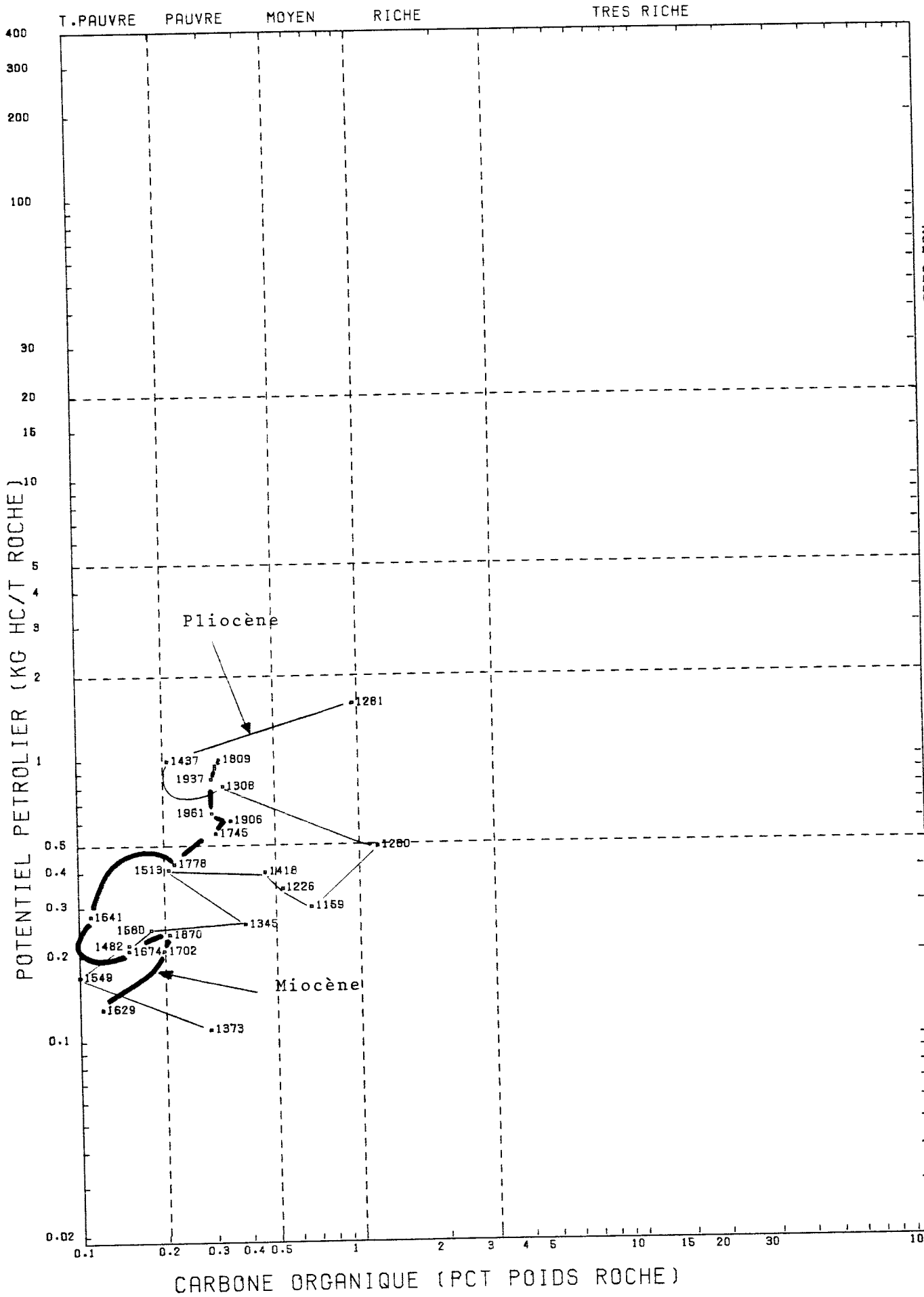
ARCADINES 1

NUM.	I	N.C	I	PROF	I	C.MIN	I	C.ORG	I	S1	I	S2	I	TEMP	C	I	I.H	I	I.O	I	P.P	I	S3	I	C.P	%	I	I.P
4806	I	0	I	1937.00	I	10.50	I	0.30	I	0.08	I	0.78	I	433.	I	260.	I	253.	I	0.86	I	0.76	I	21.8	I	0.09		
4807	I	0	I	1961.00	I	9.97	I	0.30	I	0.11	I	0.54	I	435.	I	180.	I	270.	I	0.65	I	0.81	I	15.1	I	0.17		

ARCADINES 1

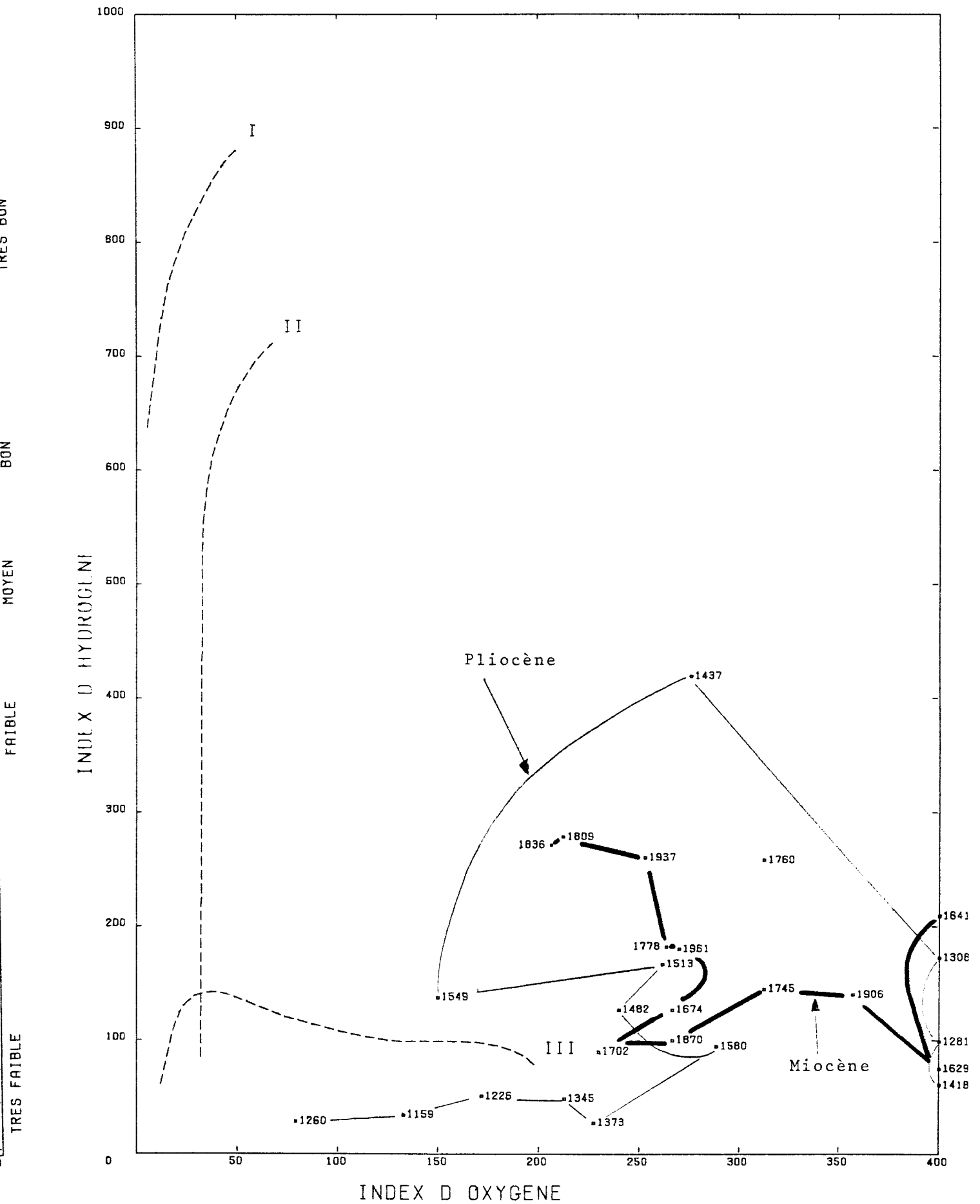


ARCADINES 1

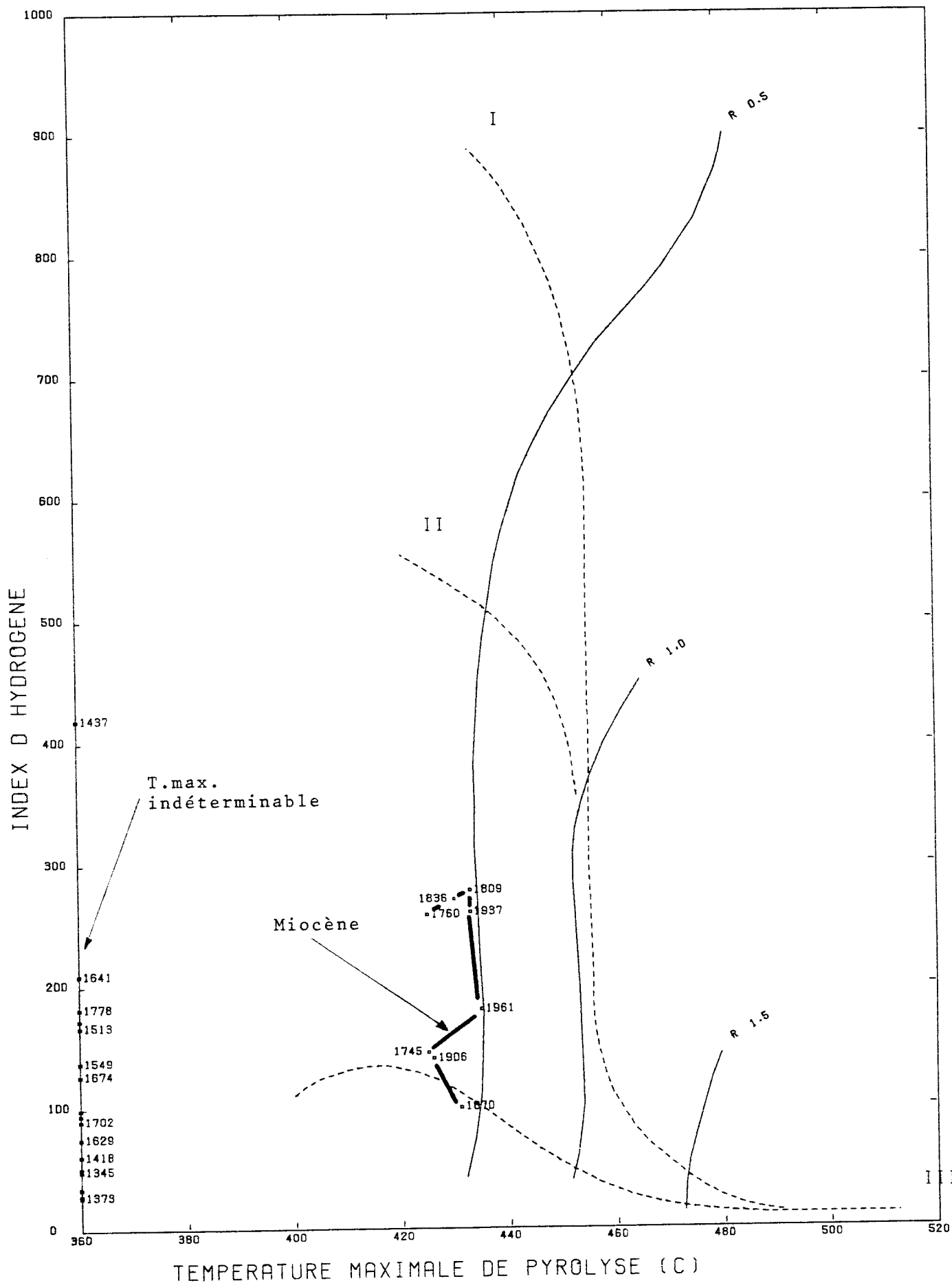


ARCADINES 1

VALEURS EN MG / G CARBONE ORGANIQUE



ARCADINES 1



En raison de la faiblesse de PP et des IO très élevés dus à la dissociation de minéraux carbonatés, ces index sont peu significatifs.

La forme des pyrogrammes suggère que la matière organique est essentiellement du type altéré-détritique (type IV) jusqu'à 1778 m, associé localement au type continental III et à de faibles quantités (environ 25 %) de type II marin.

- Degré de maturité

Les Tmax ne sont pas déterminables jusqu'à 1700 m en raison de l'absence ou de la forme mal définie du pic S2. Entre 1745 et 1961 m, les Tmax varient de 425° à 435° C et montrent une tendance à augmenter avec la profondeur. La série étudiée serait donc immature jusqu'à 1950 m et serait à la limite de la zone mature vers 1960 m.

5.2.2 PUITS ARTIBONITE-1 (fig.30 à 34)

Dans ce puits, les résultats de la pyrolyse sont semblables pour tous les échantillons analysés, quel que soit leur âge :

- Carbone organique total (C.O.T)

Très pauvre (0,06 - 0,2%)

- Carbone Minéral

Très faible à faible en général (0,8 - 1% : argiles), moyen à fort au toit de la série analysée, entre 1016-1103 m (4,1 - 9,2% : marnes à carbonates).

- Potentiel pétrologène (PP)

Négligeable (0,02 - 0,36 Kg HC/t roche)

- Index de production (IP)

Sans signification en raison de la petitesse des pics S1 et S2.

- Type de matière organique

Index d'Hydrogène (IH) : faibles ou moyens (13-250)

RESULTATS DE L'ANALYSE ROCK-EVAL

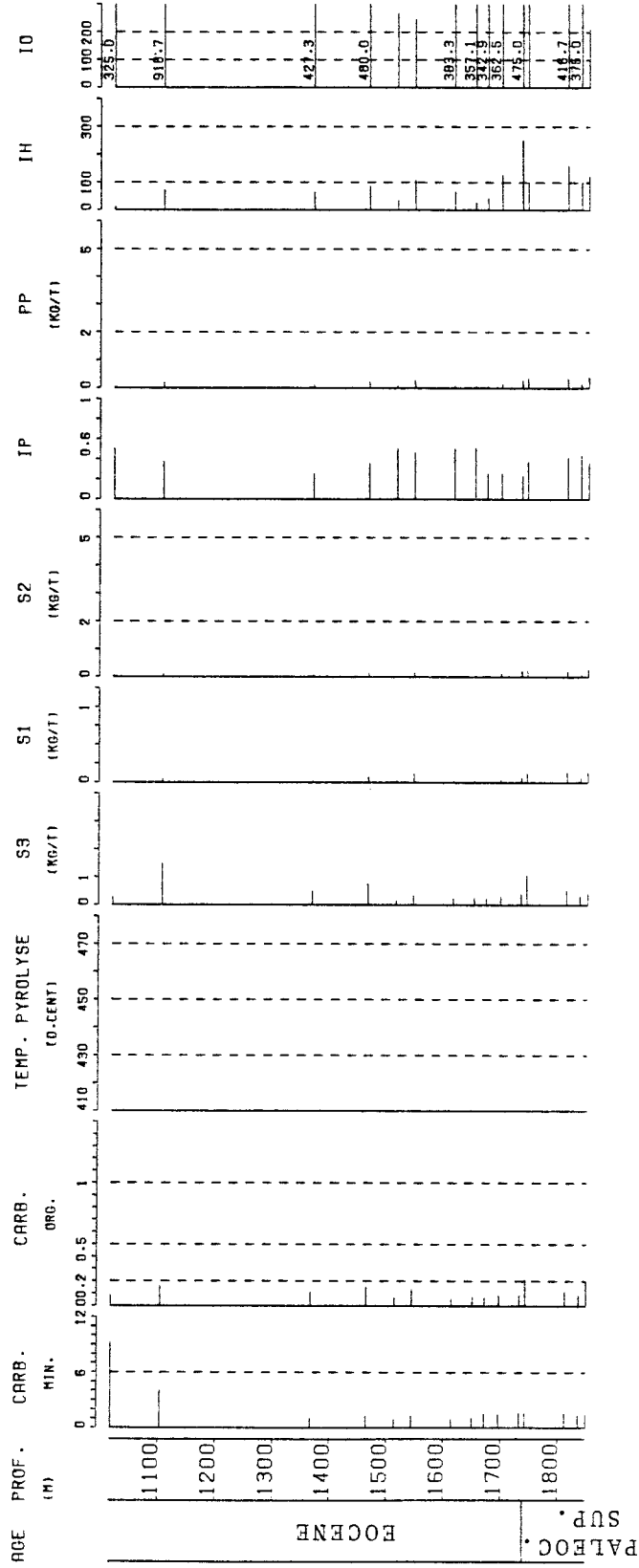
ARTIBONITE 1

NUM.	I	N.C	I	PROF	I	C.MIN	I	C.ORG	I	S1	I	S2	I	TEMP	I	C.	I	I.H	I	I.O	I	P.P	I	S3	I	C.P	I	I.P
4767	0	1016.00	0	9.18	0.08	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	325.	0.02	0.02	0.26	13.	325.	0.02	0.02	0.26	1.47	1.47	5.8	1.0	0.50	
4768	0	1103.00	0	4.09	0.16	0.06	0.11	0.06	0.11	0.06	0.11	0.06	0.11	919.	0.17	0.17	1.47	69.	919.	0.17	0.17	1.47	1.47	5.8	1.0	0.37		
4769	0	1366.00	0	1.00	0.11	0.02	0.07	0.02	0.07	0.02	0.07	0.02	0.07	427.	0.09	0.09	0.47	64.	427.	0.09	0.09	0.47	0.47	5.3	1.0	0.25		
4770	0	1464.00	0	1.26	0.15	0.07	0.13	0.07	0.13	0.07	0.13	0.07	0.13	480.	0.20	0.20	0.72	87.	480.	0.20	0.20	0.72	0.72	7.3	1.0	0.35		
4771	0	1513.00	0	0.84	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	267.	0.04	0.04	0.16	33.	267.	0.04	0.04	0.16	0.16	2.8	1.0	0.50		
4772	0	1543.00	0	1.23	0.13	0.11	0.14	0.13	0.11	0.14	0.13	0.11	0.14	246.	0.25	0.25	0.32	108.	246.	0.25	0.25	0.32	0.32	9.0	1.0	0.46		
4773	0	1613.00	0	0.87	0.06	0.03	0.04	0.06	0.03	0.04	0.06	0.03	0.04	383.	0.07	0.07	0.23	67.	383.	0.07	0.07	0.23	0.23	5.6	1.0	0.50		
4774	0	1650.00	0	1.08	0.07	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	0.07	0.01	0.02	357.	0.03	0.03	0.25	29.	357.	0.03	0.03	0.25	0.25	2.4	1.0	0.50		
4775	0	1671.00	0	1.50	0.07	0.01	0.03	0.07	0.01	0.03	0.07	0.01	0.03	343.	0.04	0.04	0.24	43.	343.	0.04	0.04	0.24	0.24	3.6	1.0	0.25		
4776	0	1696.00	0	1.44	0.08	0.03	0.10	0.08	0.03	0.10	0.08	0.03	0.10	363.	0.13	0.13	0.29	125.	363.	0.13	0.13	0.29	0.29	10.5	1.0	0.25		
4777	0	1732.00	0	1.53	0.08	0.06	0.20	0.08	0.06	0.20	0.08	0.06	0.20	475.	0.26	0.26	0.38	250.	475.	0.26	0.26	0.38	0.38	21.0	1.0	0.23		
4778	0	1742.00	0	1.57	0.21	0.12	0.21	0.21	0.12	0.21	0.21	0.12	0.21	505.	0.33	0.33	1.06	100.	505.	0.33	0.33	1.06	1.06	8.4	1.0	0.37		
4779	0	1812.00	0	1.54	0.12	0.13	0.19	0.12	0.13	0.19	0.12	0.13	0.19	417.	0.32	0.32	0.50	158.	417.	0.32	0.32	0.50	0.50	13.3	1.0	0.41		
4780	0	1836.00	0	1.26	0.08	0.06	0.08	0.08	0.06	0.08	0.08	0.06	0.08	375.	0.14	0.14	0.30	100.	375.	0.14	0.14	0.30	0.30	8.4	1.0	0.43		
4781	0	1848.00	0	1.39	0.19	0.13	0.23	0.19	0.13	0.23	0.19	0.13	0.23	211.	0.36	0.36	0.40	121.	211.	0.36	0.36	0.40	0.40	10.2	1.0	0.36		

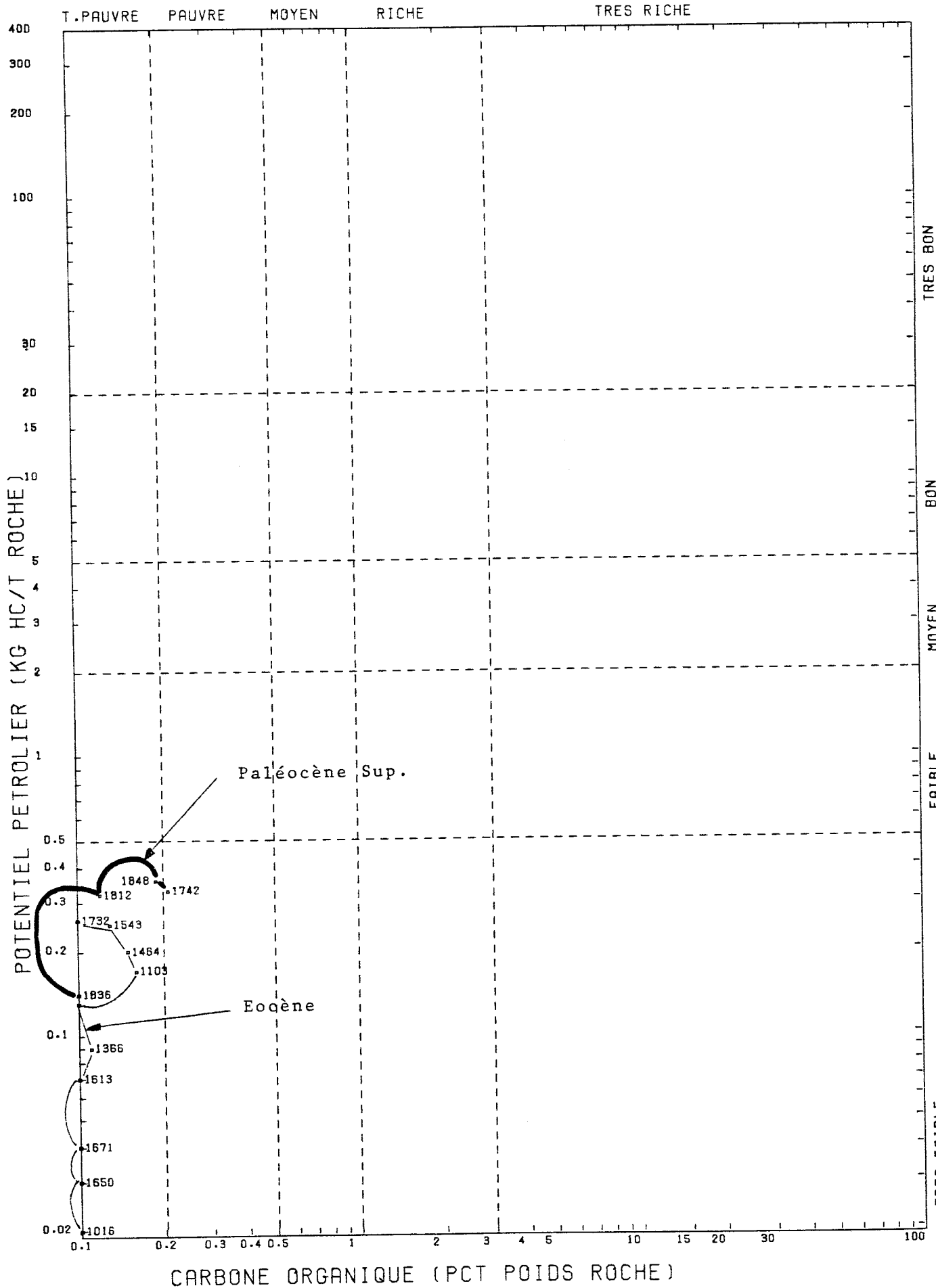
Eocene

Paleocene supérieur

ARTIBONITE 1

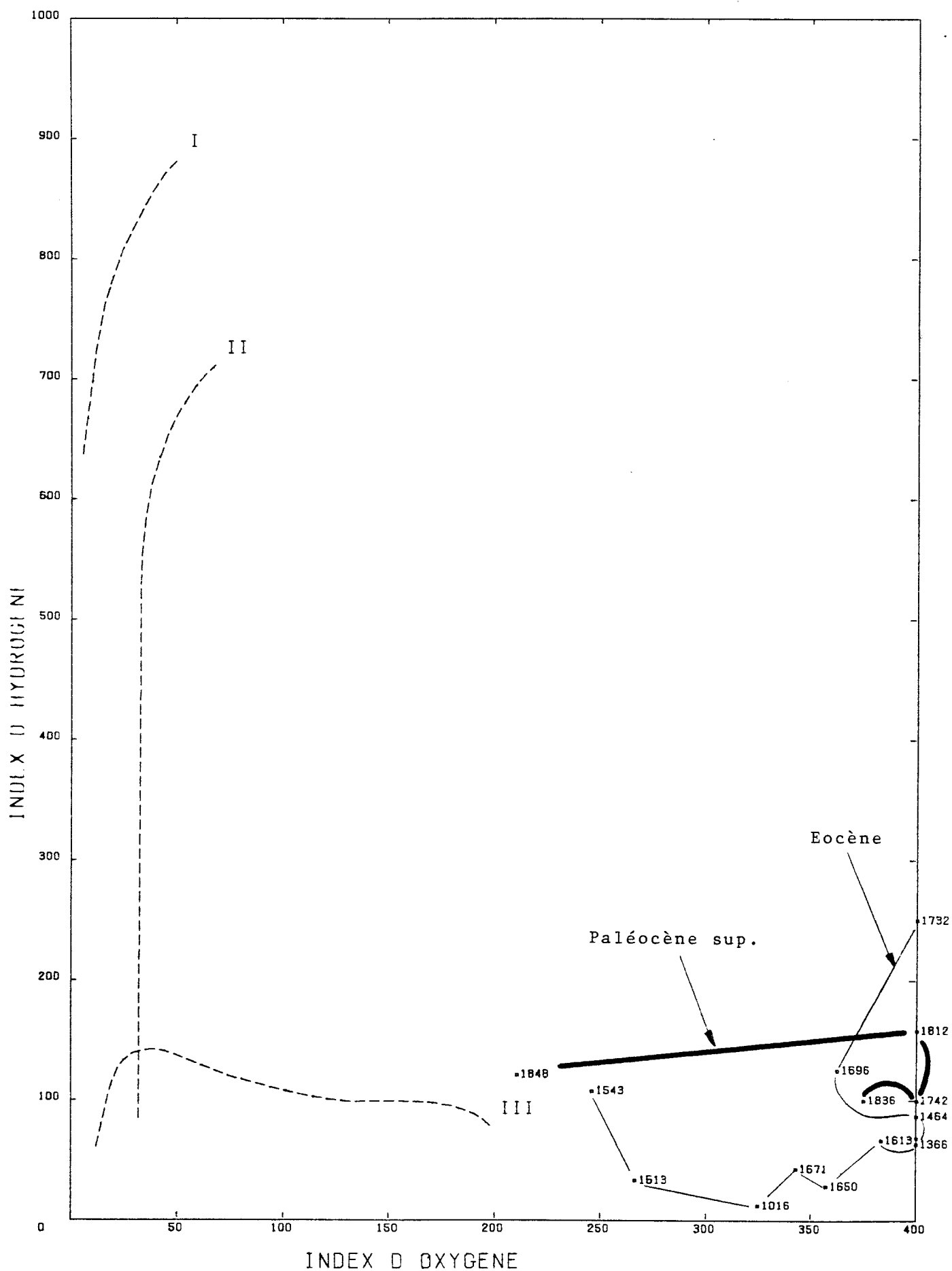


ARTIBONITE 1

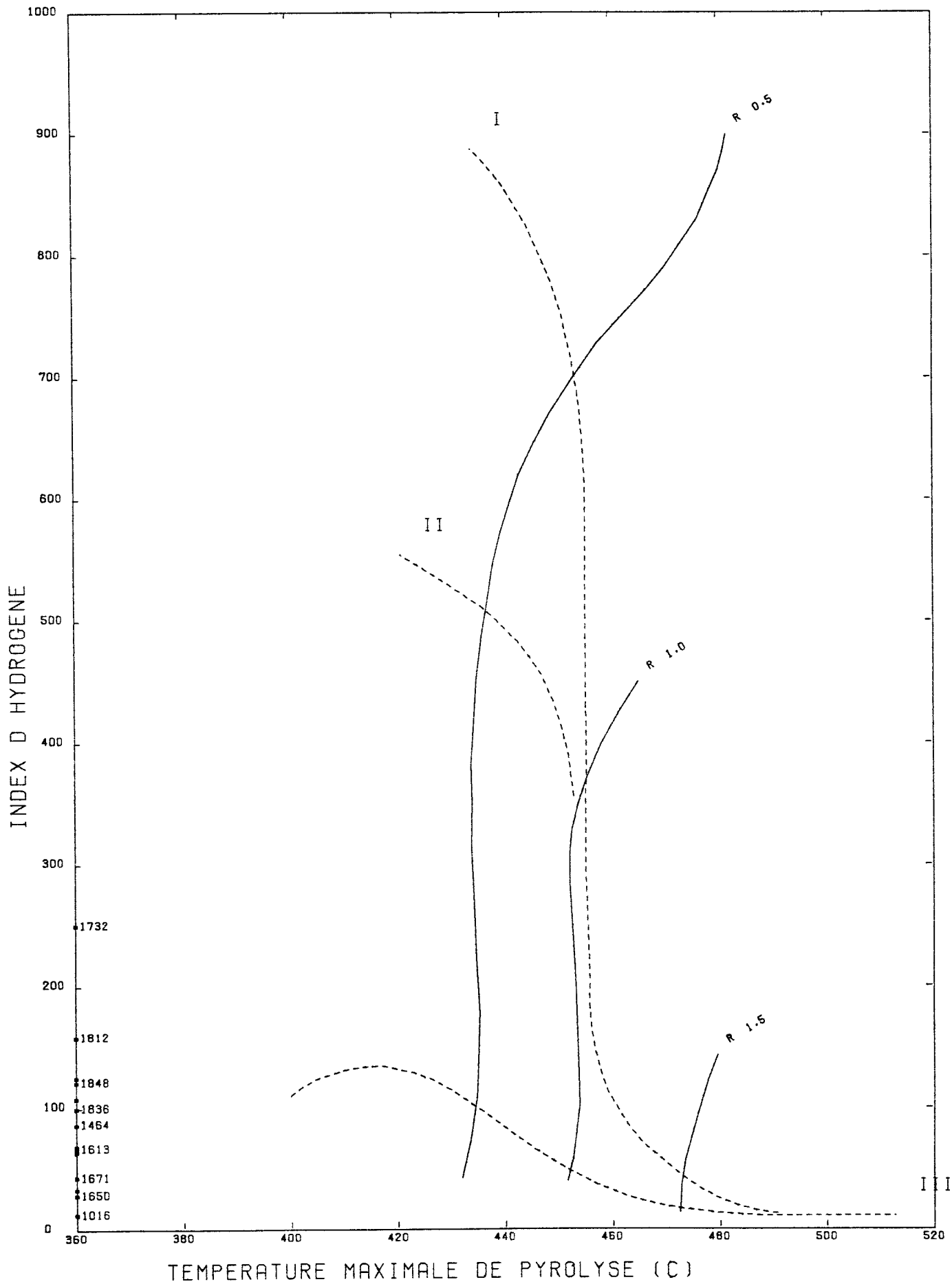


ARTIBONITE 1

VALEURS EN MG / G CARBONE ORGANIQUE



ARTIBONITE 1



Index d'Oxygène (IO) : forts à très forts (211-919)

Ces index ne sont pas significatifs pour les mêmes raisons discutées au sujet d'Arcadines-1.

La forme des pyrogrammes suggère que la faible quantité de matière organique contenue dans les échantillons analysés est surtout du type détritique altéré (type IV).

- Degré de maturité

En raison de l'absence ou de la forme très irrégulière des pics S2, les Tmax n'ont pas pu être déterminées. Le degré de maturité de la série analysée n'a pu donc être établi.

5.2.3 PUITS CUL-DE-SAC 1 (fig.35 à 39)

Les résultats de l'analyse de ce puits sont assez semblables pour tous les échantillons analysés.

- Carbone Organique Total

Généralement très pauvre ou pauvre (0,08 - 0,5%), localement et rarement moyen (0,53 - 0,84%), riche à 2117 m (1,45% : Eocène).

- Carbone minéral

Fort à très fort en général (8,4 - 12% : carbonate), souvent moyen dans le Miocène supérieur (5,6 - 7,3 : marnes), très rarement moyen dans l'Eocène (7,3 - 7,7%).

- Potentiel pétrologène (PP)

Nul à pauvre (0 - 1,4 Kg HC/t. roche).

- Index de production (IP)

En général sans signification en raison de la petitesse des pics S1 et S2.

- Type de matière organique

• Index d'Hydrogène : de nuls à moyens (0 - 250)

• Index d'Oxygène : très variables : généralement faibles à moyens (53 - 192), ou forts (200 - 375), rarement très faibles (13) ou très forts (540 - 580).

RESULTATS DE L'ANALYSE ROCK-EVAL

CUL DE SAC 1 (CRUX)

NUM.	I.N.C	PROF	C.MIN	C.ORG	S1	S2	TEMP	C.	I.H	I.O	P.P	S3	C.P	I.P
4707	0	952.00	5.83	0.77	0.06	0.14	0	0	18.	140.	0.20	1.08	1.5	0.30
4708	0	973.00	10.71	0.58	0.11	0.40	0	0	69.	205.	0.51	1.19	5.8	0.22
4709	0	1025.00	9.09	0.19	0.08	0.19	0	0	100.	579.	0.27	1.10	8.4	0.31
4710	0	1052.00	7.31	0.43	0.05	0.11	0	0	26.	230.	0.16	0.99	2.1	0.31
4711	0	1071.00	7.20	0.44	0.10	0.21	0	0	48.	309.	0.31	1.36	4.0	0.33
4712	0	1098.00	5.59	0.49	0.10	0.41	427.	0	84.	188.	0.51	0.92	7.0	0.20
4713	0	1125.00	11.59	0.12	0.04	0.04	0	0	33.	258.	0.08	0.31	2.8	0.50
4714	0	1159.00	11.53	0.10	0.09	0.23	430.	0	230.	340.	0.32	0.34	19.3	0.28
4715	0	1226.00	12.00	0.08	0.04	0.06	0	0	75.	63.	0.10	0.05	6.3	0.40
4716	0	1318.00	12.00	0.09	0.06	0.01	0	0	11.	200.	0.07	0.18	0.9	1.00
4717	0	1354.00	12.00	0.11	0.07	0.02	0	0	18.	127.	0.09	0.14	1.5	0.87
4718	0	1391.00	11.77	0.17	0.20	0.14	0	0	82.	324.	0.34	0.55	6.9	0.59
4719	0	1427.00	11.98	0.14	0.22	0.25	0	0	179.	543.	0.47	0.76	15.0	0.48
4720	0	1473.00	11.91	0.21	0.25	0.25	0	0	119.	338.	0.50	0.71	10.0	0.50
4721	0	1479.00	11.97	0.12	0.06	0.23	0	0	192.	192.	0.29	0.23	16.1	0.21
4722	0	1528.00	12.00	0.17	0.07	0.03	0	0	18.	65.	0.10	0.11	1.5	0.70
4723	0	1571.00	12.00	0.08	0.07	0.04	0	0	50.	13.	0.11	0.01	4.2	0.70
4724	0	1610.00	11.91	0.36	0.52	0.54	0	0	150.	322.	1.06	1.16	12.6	0.49
4725	0	1641.00	12.00	0.18	0.12	0.28	0	0	156.	172.	0.40	0.31	13.1	0.30
4726	0	1678.00	11.76	0.48	0.18	1.18	418.	0	246.	98.	1.36	0.47	20.6	0.13
4727	0	1726.00	12.00	0.13	0.06	0.09	0	0	69.	185.	0.15	0.24	5.8	0.43
4728	0	1751.00	12.00	0.35	0.10	0.82	421.	0	234.	143.	0.92	0.50	19.7	0.11
4729	0	1793.00	12.00	0.24	0.14	0.39	425.	0	163.	117.	0.53	0.28	13.6	0.27
4730	0	1830.00	12.00	0.26	0.10	0.42	422.	0	162.	196.	0.52	0.51	13.6	0.19

Miocène supérieur

Miocène moyen

Eocène supérieur

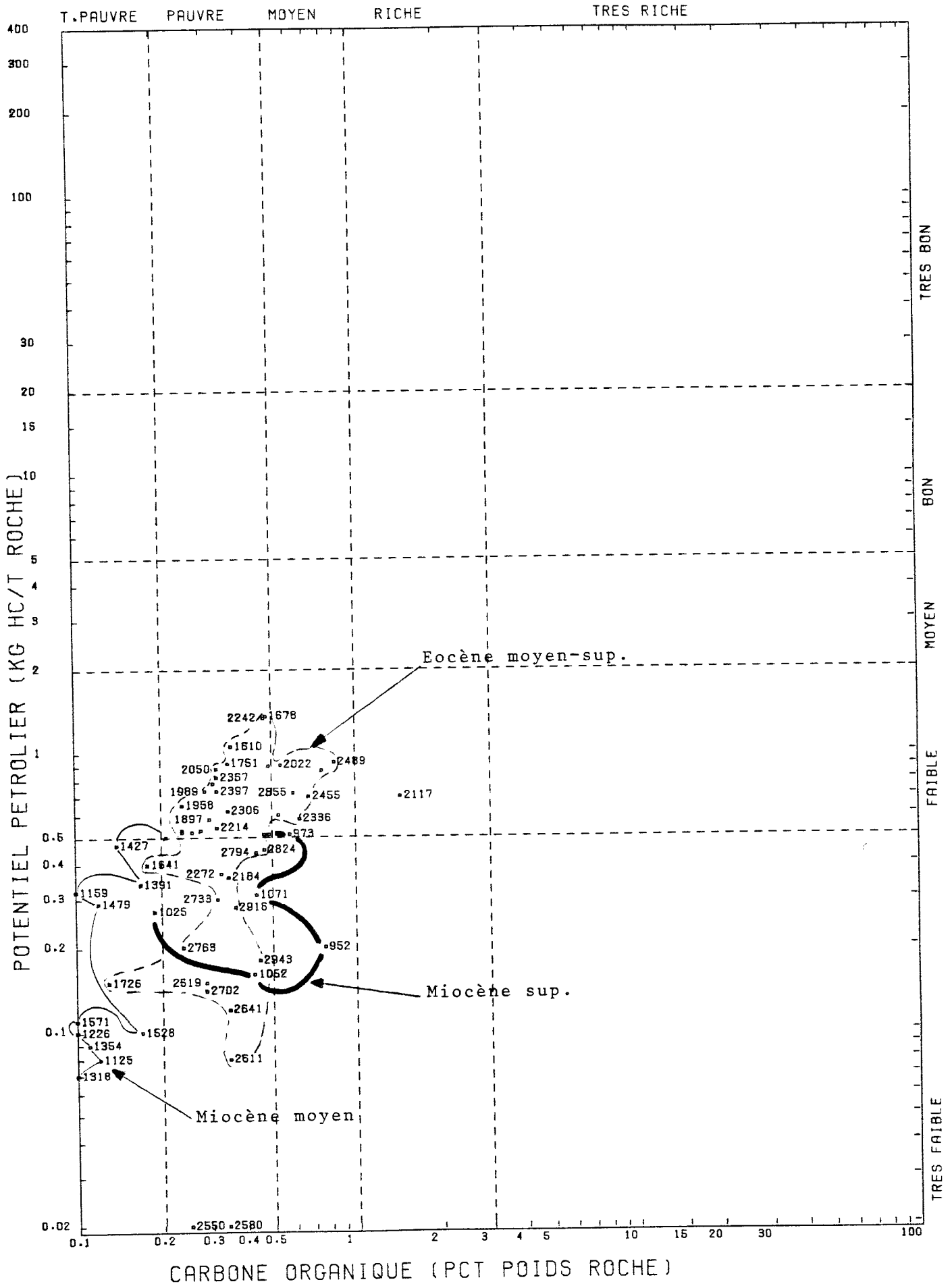
RESULTATS DE L'ANALYSE ROCK-EVAL

CUL DE SAC 1

NUM.	I	N.C	I	PROF	I	C. MIN	I	C. ORG	I	S1	I	S2	I	TEMP	C	I	I.H	I	I.O	I	P.P	I	S3	I	C.P	%	I	I.P
4731	I	0	I	1867.00	I	12.00	I	0.24	I	0.19	I	0.33	I	429.	I	138.	I	208.	I	0.52	I	0.50	I	11.6	I	0.37		
4732	I	0	I	1897.00	I	11.88	I	0.30	I	0.10	I	0.48	I	428.	I	160.	I	87.	I	0.58	I	0.26	I	13.4	I	0.17		
4733	I	0	I	1928.00	I	12.00	I	0.28	I	0.12	I	0.41	I	434.	I	146.	I	132.	I	0.53	I	0.37	I	12.3	I	0.23		
4734	I	0	I	1958.00	I	11.35	I	0.24	I	0.13	I	0.52	I	426.	I	217.	I	96.	I	0.65	I	0.23	I	18.2	I	0.20		
4735	I	0	I	1989.00	I	11.46	I	0.29	I	0.19	I	0.54	I	425.	I	186.	I	234.	I	0.73	I	0.68	I	15.6	I	0.26		
4736	I	0	I	2022.00	I	10.06	I	0.54	I	0.17	I	0.74	I	424.	I	137.	I	356.	I	0.91	I	1.92	I	11.5	I	0.19		
4737	I	0	I	2050.00	I	10.48	I	0.32	I	0.23	I	0.65	I	425.	I	203.	I	375.	I	0.88	I	1.20	I	17.1	I	0.26		
4738	I	0	I	2086.00	I	8.61	I	0.31	I	0.17	I	0.61	I	425.	I	197.	I	326.	I	0.78	I	1.01	I	16.5	I	0.22		
4739	I	0	I	2117.00	I	7.30	I	1.44	I	0.11	I	0.59	I	417.	I	41.	I	126.	I	0.70	I	1.82	I	3.4	I	0.16		
4740	I	0	I	2153.00	I	7.72	I	0.47	I	0.18	I	0.33	I	0.	I	70.	I	336.	I	0.51	I	1.58	I	5.9	I	0.36		
4741	I	0	I	2184.00	I	8.41	I	0.35	I	0.16	I	0.20	I	0.	I	57.	I	317.	I	0.36	I	1.11	I	4.8	I	0.44		
4742	I	0	I	2214.00	I	9.54	I	0.32	I	0.26	I	0.28	I	0.	I	88.	I	288.	I	0.54	I	0.92	I	7.3	I	0.48		
4743	I	0	I	2242.00	I	10.86	I	0.47	I	0.34	I	1.00	I	418.	I	213.	I	187.	I	1.34	I	0.88	I	17.9	I	0.25		
4744	I	0	I	2272.00	I	8.88	I	0.33	I	0.07	I	0.30	I	423.	I	91.	I	94.	I	0.37	I	0.31	I	7.6	I	0.19		
4745	I	0	I	2306.00	I	11.53	I	0.35	I	0.12	I	0.50	I	432.	I	143.	I	91.	I	0.62	I	0.32	I	12.0	I	0.19		
4746	I	0	I	2336.00	I	11.25	I	0.63	I	0.18	I	0.40	I	431.	I	63.	I	75.	I	0.58	I	0.47	I	5.3	I	0.31		
4747	I	0	I	2367.00	I	11.44	I	0.32	I	0.13	I	0.69	I	428.	I	216.	I	138.	I	0.82	I	0.44	I	18.1	I	0.16		
4748	I	0	I	2397.00	I	11.31	I	0.32	I	0.11	I	0.62	I	430.	I	194.	I	206.	I	0.73	I	0.66	I	16.3	I	0.15		
4749	I	0	I	2428.00	I	11.23	I	0.49	I	0.11	I	0.79	I	429.	I	161.	I	98.	I	0.90	I	0.48	I	13.5	I	0.12		
4750	I	0	I	2455.00	I	10.74	I	0.68	I	0.13	I	0.57	I	431.	I	84.	I	113.	I	0.70	I	0.77	I	7.0	I	0.19		
4751	I	0	I	2489.00	I	11.05	I	0.84	I	0.25	I	0.68	I	429.	I	81.	I	111.	I	0.93	I	0.93	I	6.8	I	0.27		
4752	I	0	I	2519.00	I	11.29	I	0.29	I	0.08	I	0.07	I	0.	I	24.	I	166.	I	0.15	I	0.48	I	2.0	I	0.57		
4753	I	0	I	2550.00	I	11.70	I	0.25	I	0.01	I	0.00	I	0.	I	0.	I	68.	I	0.01	I	0.17	I	0.0	I	1.00		
4754	I	0	I	2580.00	I	11.47	I	0.34	I	0.02	I	0.00	I	0.	I	0.	I	53.	I	0.02	I	0.18	I	0.0	I	1.00		
4755	I	0	I	2611.00	I	11.59	I	0.35	I	0.04	I	0.04	I	0.	I	11.	I	71.	I	0.08	I	0.25	I	1.0	I	0.50		

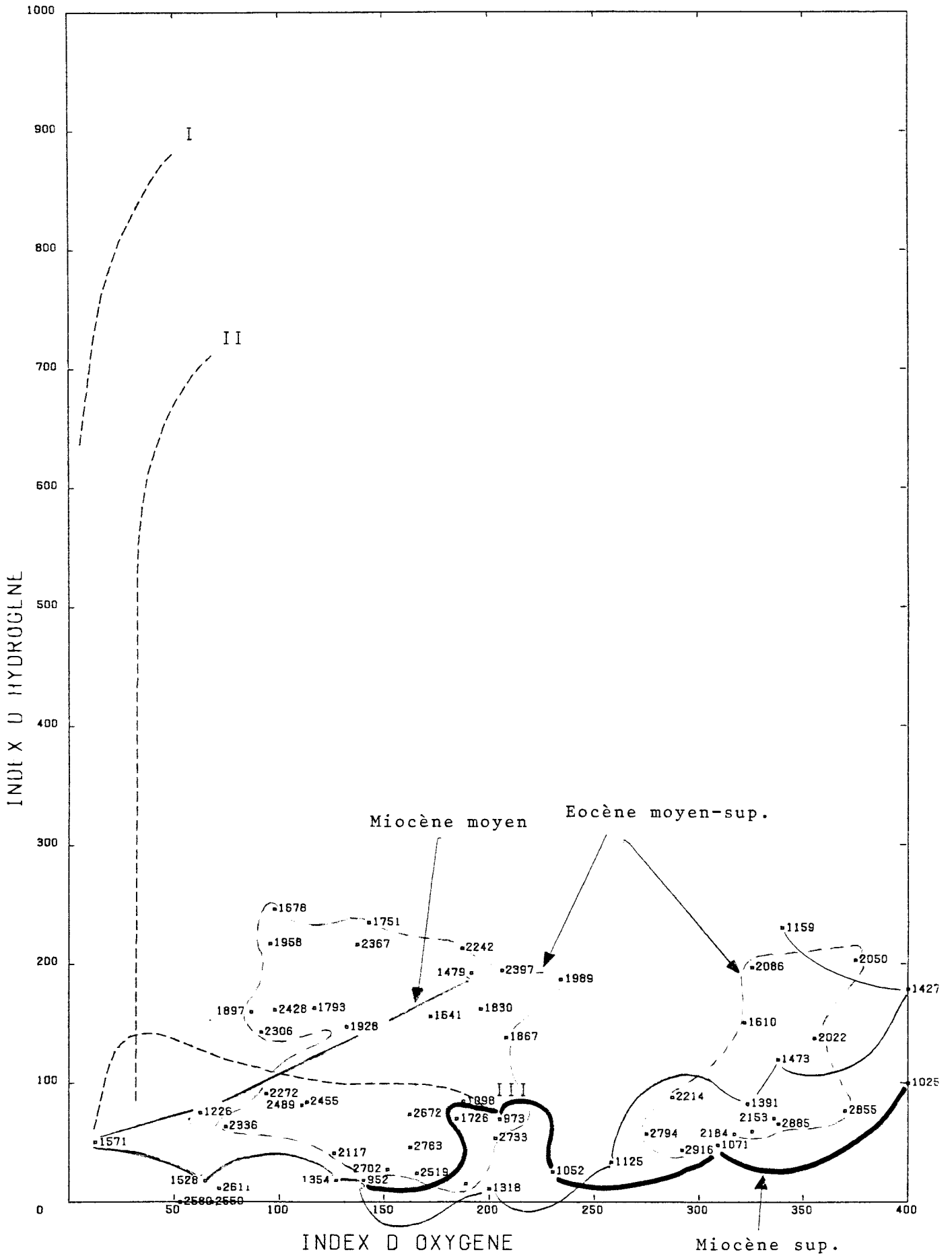
Focène moyen à supérieur

CUL DE SAC 1

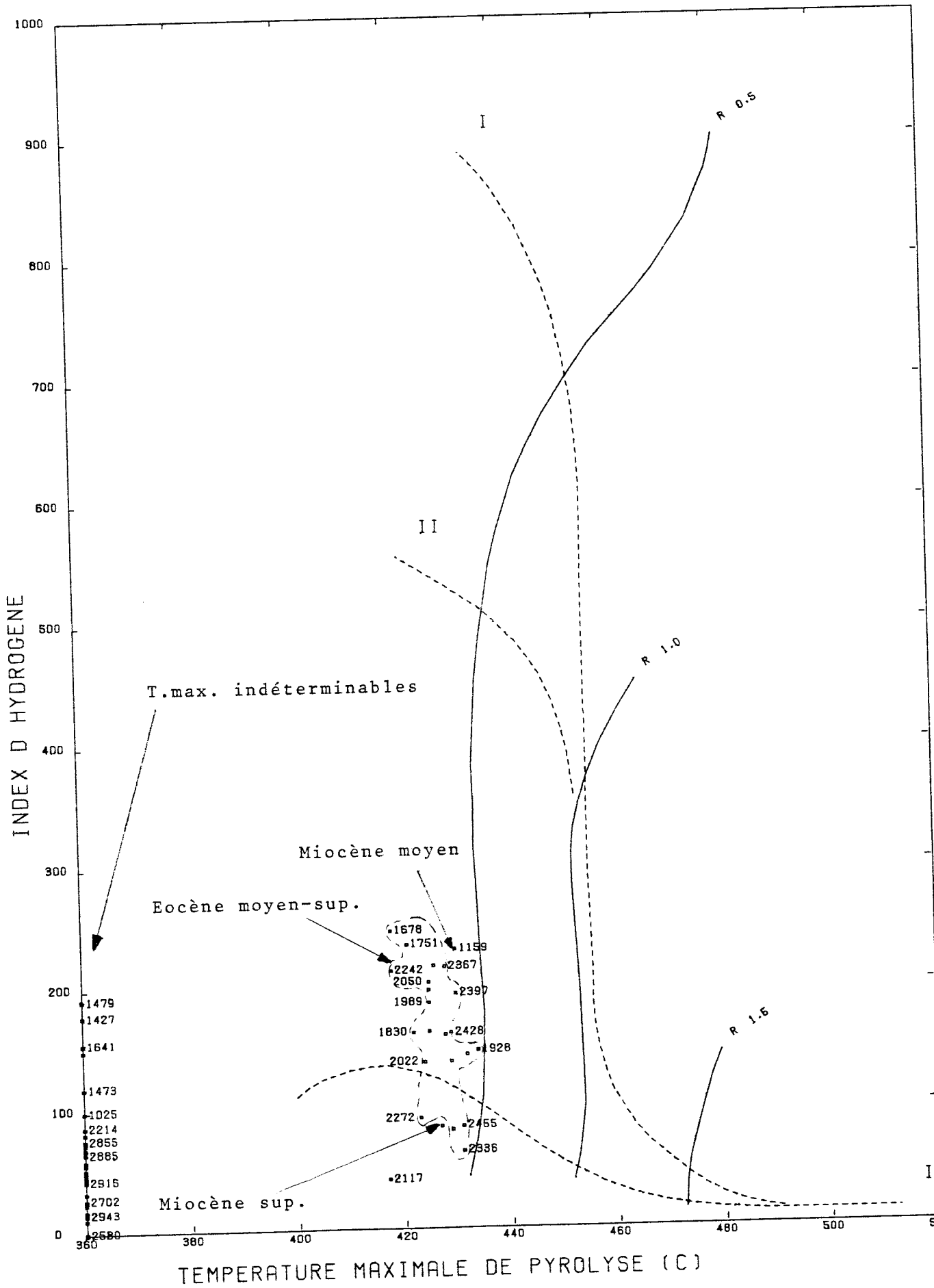


CUL DE SAC 1

VALEURS EN MG / G CARBONE ORGANIQUE



CUL DE SAC 1



En raison de la petitesse des pics S1 et S2, ces index ne sont souvent pas significatifs. La forme des pyrogrammes suggère que la matière organique est essentiellement du type altéré détritique (type IV) de 952 à 1641, associé localement avec du type continental III.

Entre 1678 et 2490 m, le type IV est toujours prédominant mais associé à des pourcentages variables (4 - 25%) de type marin II, et localement, à quelque peu de type III.

Au-dessous de 2500 m, le type IV représente la presque totalité de la matière organique ; seulement localement de faibles pourcentages de type III (6-8%) et peut-être II, sont aussi présents.

- Degré de maturité

Les Tmax ont pu être définies seulement entre 1678 et 2490 m : elles sont de l'ordre de 418 - 434 °C et indiquent que l'intervalle est immature.

Au-dessus et au-dessous de cet intervalle, les Tmax n'ont pu être définies en raison de l'absence ou de la forme aplatie des pics S1.

5.2.4 CONCLUSIONS

L'analyse C.O.T - Rock-Eval des trois puits (Arcadines-1, Artibonite-1, Cul-de-Sac-1) dans des terrains Tertiaires allant du Paléocène supérieur au Pliocène supérieur n'ont pas mis en évidence de roches-mères : les potentiels pétrologènes sont toujours inférieurs à 2 kg HC/t. roche et le plus souvent inférieurs à 1 Kg HC/t.

Le contenu en matière organique est à quelques exceptions près faible (C.O.T inférieur à 0,5%) et le kérogène est essentiellement détritico-altéré, associé localement à de faibles pourcentages (inférieurs à 25%) de type marin II, ou de type continental III.

Lorsque déterminables, les Tmax indiquent une immaturité des séries étudiées. Ainsi la zone immature à Arcadines-1 s'étend au moins jusqu'à 1960 m, et à Cul-de-Sac-1 au moins jusqu'à 2500 m ; le degré de maturité d'Artibonite-1 étant indéterminable.

5.3. Comparaison entre l'étude BEICIP des puits Artibonite-1 et Cul de Sac-1 et les études précédentes

En 1977, Corelab a préparé deux rapports : l'un sur le puits Artibonite-1 et l'autre sur Cul-de-Sac-1.

Le rapport sur Artibonite-1 relate les résultats de l'analyse C.O.T et optique de 78 échantillons :

- entre 311 et 1070 m, l'intervalle analysé présente des teneurs en carbone organique très faibles, incompatibles avec celles d'une roche-mère. La faible quantité de matière organique observée est du type marin (surtout Alginite). Son degré de maturité est faible (Index d'Altération Thermique I.A.T 1 à 1,5, Réflectance de la Vitrinite Ro (0,18 - 0,32%).
- entre 1070 et 2034 m l'intervalle est pratiquement dépourvu de matière organique et ne présente donc aucune qualité de roche-mère. Son degré de maturité est inconnu mais, par projection des valeurs de Ro obtenues dans l'intervalle précédent, il est vraisemblablement immature.

Le rapport sur Cul-de-Sac-1 relate les résultats de l'analyse optique et C.O.T de 97 échantillons et 3 carottes de paroi. Neuf de ces échantillons ont été extraits, et deux des extraits organiques obtenus ont été analysés par chromatographie en phase gazeuse des hydrocarbures saturés. Les résultats de ces analyses montrent :

- entre 238 - 1226 m, les teneurs en C.O.T sont généralement très pauvres à pauvres (inférieures à 0,4%), très rarement moyennes (supérieures à 0,5%). Les I.A.T et Ro disponibles entre 970 et 1226 m sont faibles (I.A.T 1,2 et Ro 0,19 - 0,23%).
La matière organique est essentiellement du type détritique altéré IV, associée localement à du type continental III.
Dans l'ensemble l'intervalle est très pauvre en contenu organique et ne peut pas être considéré comme une roche-mère.

- entre 1926-2520 m, les teneurs en C.O.T sont aussi très pauvres à pauvres (inférieures à 0,3%). Les rares I.A.T disponibles sont de l'ordre de 1,5 et les Ro varient entre 0,22 et 0,37% et augmentent avec la profondeur : ces valeurs indiquent que l'intervalle est immature.
La matière organique inclue du type marin II (Alginite en général), mais est très peu abondante ; l'intervalle ne représente donc pas une roche-mère.
- entre 2520-2754 m, les C.O.T sont faibles à très faibles (inférieurs à 0,24%). En raison de la pauvreté de l'intervalle en matière organique, aucun IAT n'a pu être déterminé. Les Ro sont de l'ordre de 0,56 - 0,53% et indiquent que l'intervalle est immature (maturité : Ro = 0,6%)

La matière organique est essentiellement du type IV (détritique) : l'intervalle n'inclue donc aucune roche-mère.

- entre 2754-2950 m, les C.O.T sont toujours pauvres ou très pauvres (inférieurs à 0,24%). Aucun IAT n'a donc été mesuré, tandis que deux Ro ont pu être déterminés. Ils sont de l'ordre de 0,59% et indiquent que l'intervalle est tout à fait au début de la fenêtre à huile. En raison de la pauvreté de son contenu organique et du type de sa matière organique (surtout du type IV), l'intervalle ne représente pas une roche-mère.

Neuf échantillons ont été extraits entre 900 et 2950 m. La teneur en matière organique extractable (MOE) est très faible dans tous ces échantillons (51 à 145 PPM), confirmant que le puits Cul-de-Sac-1 ne contient pas de roches-mères. Cependant, sur deux des extraits provenant d'échantillons prélevés à 2318 et 2455 m, on a pu effectuer des analyses par chromatographie en phase gazeuse des hydrocarbures saturés : ces chromatogrammes prouvent que les extraits sont très immatures car ils montrent une résolution très faible surtout dans les hydrocarbures les plus légers, confirmant ainsi les résultats des autres analyses géochimiques.

Comparaison avec les analyses BEICIP

Les résultats de Corelab sont cohérents avec ceux du BEICIP : dans les deux puits considérés, aucune roche-mère n'a été identifiée et le degré de maturation est faible.

Toute la série analysée d'Artibonite-1 est immature et dans Cul-de-Sac-1 seulement la base de la série se trouve au commencement de la fenêtre à huile (à partir de 2750 m).

5.4. Comparaison avec quelques résultats de République Dominicaine

5.4.1 Les résultats du puits Charco Largo (1981), localisé à l'Est du Lac Enriquillo, qui a atteint une profondeur finale de 4830 mètres (forage le plus profond de l'île d'Hispaniola), sont les suivants :

- les analyses géochimiques montrent des valeurs de carbone organique très faibles (inférieures à 1%), excepté entre 3660 et 4115 mètres où quelques niveaux argileux sont plus riches : en particulier entre 3920 et 3930 mètres (C.O.T = 4,44%) et entre 3910 et 3920 mètres (C.O.T = 4,95%), niveaux situés dans la formation évaporitique d'Angostura (Burdigalien) qui n'existe d'ailleurs pas en Haïti. Ces argiles ont généré des produits d'expulsion précoce à fort contenu sulfureux dont le matériel n'a pas pu donner d'hydrocarbures (matière organique amorphe).
- Toute la section du puits est immature avec un gradient de réflectance de 0,02% Ro pour 1000 pieds, ce qui indique, avec une valeur de réflectance de 0,34% Ro en fin de trou, que la maturité thermique nécessaire à une génération d'hydrocarbures serait seulement atteinte entre 6400 et 8230 mètres (d'après Superior Oil).

Il faut noter que les valeurs du gradient géothermique sont faibles.

5.4.2 D'après une expertise de l'Organisation latino-américaine de l'Energie (1983) sur le bassin de San Juan où ont été faites les deux seules "découvertes" de la République Dominicaine, les meilleures roches-mères du bassin sont des lutites marines intercalées dans les formations Sombrerito et Trinchera (Oligo-Miocène) mais sans preuves basées sur des analyses géochimiques. La maturité serait très faible. La présence d'hydrocarbures à Higuero et Maleno serait due à une augmentation de la maturité thermique de la matière organique provoquée par une possible activité volcanique/ignée profonde en relation avec le système de failles de la ride de Beata (?). Le potentiel est cependant très faible, avec possibilités de découverte commerciale très limitées.

5.4.3. Les résultats de Candelon-1 (1982) situé près de la frontière, dans le Plateau Central, et qui a atteint une profondeur finale de 3948 mètres, sont les suivants :

- de 2255 à 2590 mètres (Miocène inf/moyen), matière humique, C.O.T très faible (0,3 à 0,5%), aucune maturité.
- de 2740 à 2900 mètres (Miocène basal), faibles C.O.T (0,5), IAT (1), et Ro (0,46 à 0,53)
- de 2950 à 3948 mètres (Eocène-Oligocène), faibles C.O.T (0,1 à 0,4), IAT (2- /2) et Ro. Matière organique primaire amorphe (70 à 90%) et immature.

En résumé, toute la section ne contient aucune roche-mère (C.O.T inférieur à 0,5), aucune maturité. Superior Oil prévoit le toit de la zone à huile à 7000 mètres, en désaccord avec RRI qui le situe à 3500 mètres où une Tmax de 345° C est atteinte, mais avec cependant un très faible pic S2 (?).

5.5. Aperçu sur la géochimie du Crétacé

La série crétacée n'a jamais été pénétrée par les forages pétroliers réalisés en Haïti. Les seuls éléments d'appréciation de son potentiel géochimique sont apportés par des observations de terrain (analyses géochimiques sur échantillons de surface effectuées par l'IFP, description des séries à matériel organique de Nan Pourcine par Maurrasse) et par des analyses effectuées sur les sites du D.S.D.P. dans les bassins océaniques de Colombie et du Venezuela.

5.5.1 Suite à une mission de coupes de terrain entreprise par l'IFP en 1979, les analyses géochimiques réalisées sur quelques échantillons du Crétacé de la route de Jacmel et du Tombeau Cheval ont montré localement d'excellents potentiels pétroliers :

- sur la route de Jacmel un niveau de marne noirâtre du Senonien inférieur (?) a un carbone organique de 1,77% et un potentiel pétrolier de 7,4 Kg d'hydrocarbures par tonne de roche ; d'après l'étude optique, il correspond à une matière organique de type sapropélique.
- dans la coupe de Tombeau Cheval (Ouest de la presqu'île du Sud), un seul échantillon d'argile noire charbonneuse est riche en matière organique : il s'agit de Maestrichtien, avec un carbone organique de 4,57% et un potentiel pétrolier de 3,2 Kg d'hydrocarbures par tonne de roche ; la pyrolyse et l'étude optique attribuent une origine humique à ce matériel.

5.5.2 Il faut rappeler également les affleurements de Nan Pourcine décrits par Maurrasse. Située au NW du Pic de Macaya dans l'extrémité Ouest de la Presqu'île du Sud, cette localité est caractérisée par des affleurements de pélites sableuses à lamination très fines, imbibées de matière bitumineuse amorphe ("shales noirs riches en matière organique et hydrocarbures légers"). Surmontés par des calcaires à silex d'âge Maestrichtien, ils pourraient appartenir au Sénonien inférieur (voir le chapitre sur les indices d'hydrocarbures).

5.5.3 Dans les forages du DSDP situés dans les bassins océaniques de Colombie et du Venezuela, des sédiments crétacés riches en matière organique ont été décrits, en particulier sur le site 146-149 localisé à l'Est de la Ride de Beata.

La base du forage, de 692 à 721 mètres, correspond à des calcaires à Radiolaires intercalés de niveaux de cherts et de cendre volcanique et surmontant les basaltes tholéitiques. Leur âge est Turonien-Coniacien (Santonien ?). Ils contiennent d'abondants niveaux noirs riches en matière organique de type sapropélique dont le pourcentage en carbone organique est supérieur à 2,5%, deux échantillons donnant même un pourcentage de 6,3 et de 11,2. Ces sédiments riches en matière organique sont associés à de la glauconite, de la pyrite et un contenu phosphoreux relativement élevé, ceci suggérant un milieu réducteur avec une circulation limitée.

Ces niveaux, inégalement répartis sur une trentaine de mètres, ont une puissance réduite mais une extension certainement très vaste. Leur profondeur d'enfouissement n'est évidemment pas suffisante pour qu'ils aient atteint une quelconque maturation dans les bassins océaniques de Colombie et du Venezuela ; mais on peut raisonnablement penser qu'ils sont également présents dans la Presqu'île du Sud (preuve en est les analyses de l'IFP et les affleurements de Nan Pourcine) et surtout dans les profonds bassins situés entre la Gonave et la Presqu'île du Sud, où leur enfouissement est suffisant pour qu'ils soient matures et peut-être même "over-mature". (Rappelons que le Turonien constitue la principale roche-mère des hydrocarbures Vénézuéliens).

- 5.5.4 En conclusion, vu la pauvreté du potentiel pétrolier des séries plus récentes (Tertiaire en général), si roche-mère il y a en Haïti, elle ne peut être que Crétacée, au moins là où les calcaires à Globotruncana sont présents (moitié sud du pays).

Ailleurs, le Crétacé étant de faciès volcano-sédimentaire ou flyscholite (moitié nord), la roche-mère, si elle existe, doit être recherchée dans d'autres séries, mais aucun faciès favorable n'a été rencontré ; ceci limite considérablement les possibilités pétrolières de cette partie nord, et en particulier du Plateau Central malgré les faibles indices rencontrés dans les forages de Maissade et de Jurinet.

D'un point de vue géochimique, la région la plus favorable (présence possible de roches-mères Crétacées, maturation probable) se situerait donc entre la Presqu'île du Sud et la Chaîne des Matheux, en particulier dans les profonds bassins du Canal de la Gonave.

5.6. Modèles mathématiques et interprétation géochimique

5.6.1. PRINCIPES

5.6.1.1. Modèles Backstripping

Ces modèles ont pour but principal mais non exclusif :

- la reconstitution de l'évolution des bassins sédimentaires,
- l'analyse de la formation des structures (âge de formation des pièges...),
- la caractérisation des rythmes de dépôt et des quantités d'érosion au niveau des discordances.

Deux programmes Backstripping sont couramment utilisés :

- Backstripping puits, réalisé sur un puits ou sur une section verticale,
- Backstripping coupe, réalisé sur une coupe géologique.

Ces programmes sont utilisés, de préférence, dans des régions peu tectonisées.

5.6.1.1.1. Données nécessaires aux programmes "Backstripping"

Les paramètres géologiques et physiques requis pour l'application des modèles sont ceux généralement disponibles pour toute étude pétrolière :

- nombre d'unités lithostratigraphiques,
- nombre et proportion des lithologies pour chaque unité,
- âge et profondeur des limites de chaque unité lithostratigraphique,
- paléobathymétrie concernant chaque unité (d'après étude sédimentologique et/ou biostratigraphique),

D'autres valeurs sont prises en compte comme :

- variations eustatiques du niveau de la mer,
- nombre et âges des érosions, quantité de sédiments érodés,
- données de porosité en fonction de la profondeur pour chaque lithologie,
- densité de la mer, de la lithosphère (généralement 3,3.) et de l'eau de formation,
- densité de matrice de chaque composant lithologique.

5.6.1.1.2. Principes de fonctionnement

Les programmes "Backstripping" déchargent le substratum de chaque unité lithostratigraphique, de la plus récente à la plus ancienne, l'une après l'autre.

Les unités sont décompactées en fonction de la décharge, la subsidence tectonique est calculée et permet dans certains cas de déterminer le coefficient d'étirement B, notamment dans les cas de marges passives (Mc. Kenzie D.P. et al. - Some remarks on the development of sediment basins - Earth Planet. Sci. Lett.v.40, pp.25-32).

5.6.1.1.3. Résultats des programmes

Les résultats des programmes sont présentés sous forme de listing et de graphiques. Ces graphiques présentent :

- pour le modèle "Backstripping puits" un graphique de la subsidence tectonique et de la subsidence totale,
- pour le modèle "Backstripping coupe" des graphiques de subsidence, semblables à ceux du modèle "Backstripping puits" en différents points de la coupe.

Un ensemble de coupes montrant des étapes de compaction et l'évolution géologique au cours du temps.

5.6.1.1.4. Utilisation des modèles Backstripping

Modèle Backstripping puits

Ce programme permet de déterminer la courbe locale de subsidence tectonique afin d'estimer le paramètre B de Mac Kenzie (1978) éventuellement utilisé dans le modèle Matoil.

Modèle Backstripping coupe

Le "Backstripping" d'une coupe permet :

- l'évaluation de B en différents points choisis,
- la reconstitution le long d'une coupe, de l'évolution géologique au cours du temps,
- la reconstitution de l'évolution structurale d'un piège en considérant les phénomènes de compaction,
- le test rapide d'hypothèses de travail (présence d'érosions, importance de ces érosions...).

5.6.1.2. Modèle géochimique Matoil

Matoil peut être employé pour des puits isolés ou sur des sections stratigraphiques verticales. Son objectif principal est l'estimation du degré de maturation des roches mères.

De plus, lorsque les teneurs en carbone organique de ces roches mères sont connues, Matoil permet d'évaluer la quantité d'hydrocarbures (huile et gaz) générés.

5.6.1.2.1. Données nécessaires au modèle

Les paramètres géologiques et géophysiques nécessaires au modèle Matoil sont sensiblement les mêmes que ceux utilisés dans Backstripping.

Toutefois un certain nombre de données supplémentaires sont prises en compte telles que les paramètres cinétiques définis par Tissot B. et Espitalié J. (1975) ou ceux calculés par le programme Optim (optimisation des paramètres cinétiques pour chaque roche mère) et les données permettant de reconstituer l'évolution thermique.

5.6.1.2.2. Principes

Matoil est basé sur :

- la décompaction des formations du puits étudié,
- les équations de transformation de la matière organique (Tissot B.P - Espitalié J. - l'évolution thermique de la matière organique -Revue IFP - Vol. XXX, n°5, pp 743-777; 1975).
- le modèle thermodynamique de Mac Kenzie qui a été établi essentiellement pour les marges passives.

D'après cet auteur, le flux thermique traversant la lithosphère (substratum) est lié à son étirement. Cet étirement peut être estimé par l'intermédiaire du coefficient B obtenu à partir de courbes de subsidence tectonique.

En conséquence, en incorporant au modèle ce facteur B, préalablement déterminé, il est possible de calculer le flux thermique affectant le sommet de la lithosphère à tout moment.

Si B est inconnu, le modèle Matoil peut être utilisé avec un flux constant au cours du temps, calculé à partir des données thermiques actuelles.

5.6.1.2.3. Résultats de Matoil

Les résultats de Matoil se présentent sous la forme suivante :

- listing rappelant les données d'entrée et fournissant tous les paramètres calculés suivant un pas de temps choisi (profondeur, températures et proportion de matière organique transformée en hydrocarbure).
- sorties graphiques montrant :
 - . la position des unités lithologiques et horizons choisis,
 - . une courbe de porosité/profondeur,
 - . le gradient géothermique actuel,
 - . l'enfouissement des horizons choisis au cours du temps,
 - . l'évolution de la température affectant ces horizons au cours du temps,
 - . l'évolution du flux thermique à la base des sédiments au cours du temps,
 - . le pourcentage de transformation de la matière organique transformable en fonction du temps pour chaque horizon choisi,
 - . l'évolution au cours du temps de la position des différentes zones de maturation (fenêtre à huile, zone de transition, fenêtre à gaz),
 - . l'évolution au cours du temps de la génération des hydrocarbures.

5.6.1.2.4. Utilisation du modèle Matoil

L'utilisation du modèle se pratique généralement en différentes étapes :

- 1) Calibration du modèle dans les puits où les analyses géochimiques ont permis d'identifier les roches-mères et leur degré de maturation.
- 2) L'estimation du degré de maturité des roches-mères dans les puits pour lesquels il n'a pas été réalisé d'analyse géochimique ou dans les régions non forées, en respectant les paramètres établis dans l'étape précédente (évolution des températures, importance des érosions, type de matière organique).
- 3) A partir de cette estimation, le positionnement sur des coupes géologiques des zones remarquables de maturation (fenêtre à huile, fenêtre à gaz...),
- 4) Enfin l'évaluation des quantités d'hydrocarbures générés par les roches-mères dont le potentiel pétrolier est connu et par conséquent l'estimation du volume d'hydrocarbures pouvant être expulsé de la roche-mère.

5.6.2. "BACKSTRIPPING - PUIITS"

5.6.2.1. Objet de la modélisation Backstripping - puits

Ce modèle permet de déterminer, pour chacun des puits, un diagramme de subsidence faisant la part entre la subsidence tectonique et la subsidence totale.

Le paramètre B de Mac Kenzie, coefficient d'étirement de la lithosphère, n'est pas ici exploitable, aucune période de rifting n'étant connue depuis le Crétacé supérieur jusqu'à l'actuel.

5.6.2.2. Choix des données

Trois puits ont été sélectionnés pour cette modélisation :

- CUL DE SAC-1 (Crux)
- CUL DE SAC-1 (Atlantic)
- MAISSADE-1 (Atlantic)

Les logs disponibles pour chacun des trois puits, les connaissances géologiques régionales et les résultats de l'interprétation sismique fournissent les données stratigraphiques nécessaires au fonctionnement du modèle (cote et âge de la base de chaque formation, proportion des différents types lithologiques de base pour chaque formation, périodes d'érosion et quantités érodées).

Dans le puits CUL DE SAC-1 (Crux), deux phases d'érosion sont considérées :

- érosion à 52 M.A (base Eocène moyen) : érosion des séries Eocène inférieur et Paléocène.
- érosion à 18 M.A (intra-Burdigalien) : érosion de la base du Miocène et de l'Oligocène.

Dans le puits MAISSADE-1, une lacune de non-dépôt est considérée à l'Oligocène supérieur entre 30 M.A et 23,7 M.A (Chattien).

Des données écologiques permettent d'estimer les paléobathymétries du bassin aux différentes époques de dépôt considérées.

Les variations eustatiques au cours du temps sont tirées des travaux de B.U.HAG, I.HARDENBOL et P.VAIL (Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic - Preprint July 1986).

Les courbes de porosité en fonction de la profondeur pour chaque type lithologique (sable, argile et carbonate) sont déterminées au moyen des valeurs standards suivantes :

Profondeur	Sables	Argiles	Carbonates
0	45	65	43
100	42	58	41
200	39.5	53	39.5
300	37	48.5	38
400	35	45	36.5
500	33	42	35
750	28.5	36	32
1000	24.5	31.5	29
1500	19.5	26	24
2000	15.5	22	20
2500	12.5	19	16.5
3000	10.5	17	13
4000	8.5	14	7.5
5000	7.5	13.5	3.5
8000	5	10	2.8
12000	1	1	1

5.6.2.3. Résultats

Les diagrammes d'évolution de la subsidence en fonction du temps en chacun des trois puits (figures 40 à 42) constituent le résultat de la modélisation BACKSTRIPPING-PUITS. Sur ces diagrammes, les courbes de subsidence tectonique et de subsidence totale sont distinguées.

La courbe de subsidence tectonique représente la part de subsidence due au comportement de la lithosphère en réponse aux variations thermiques qu'elle subit.

La subsidence totale reflète l'effet cumulé de la subsidence tectonique et de la subsidence engendrée par la charge sédimentaire.

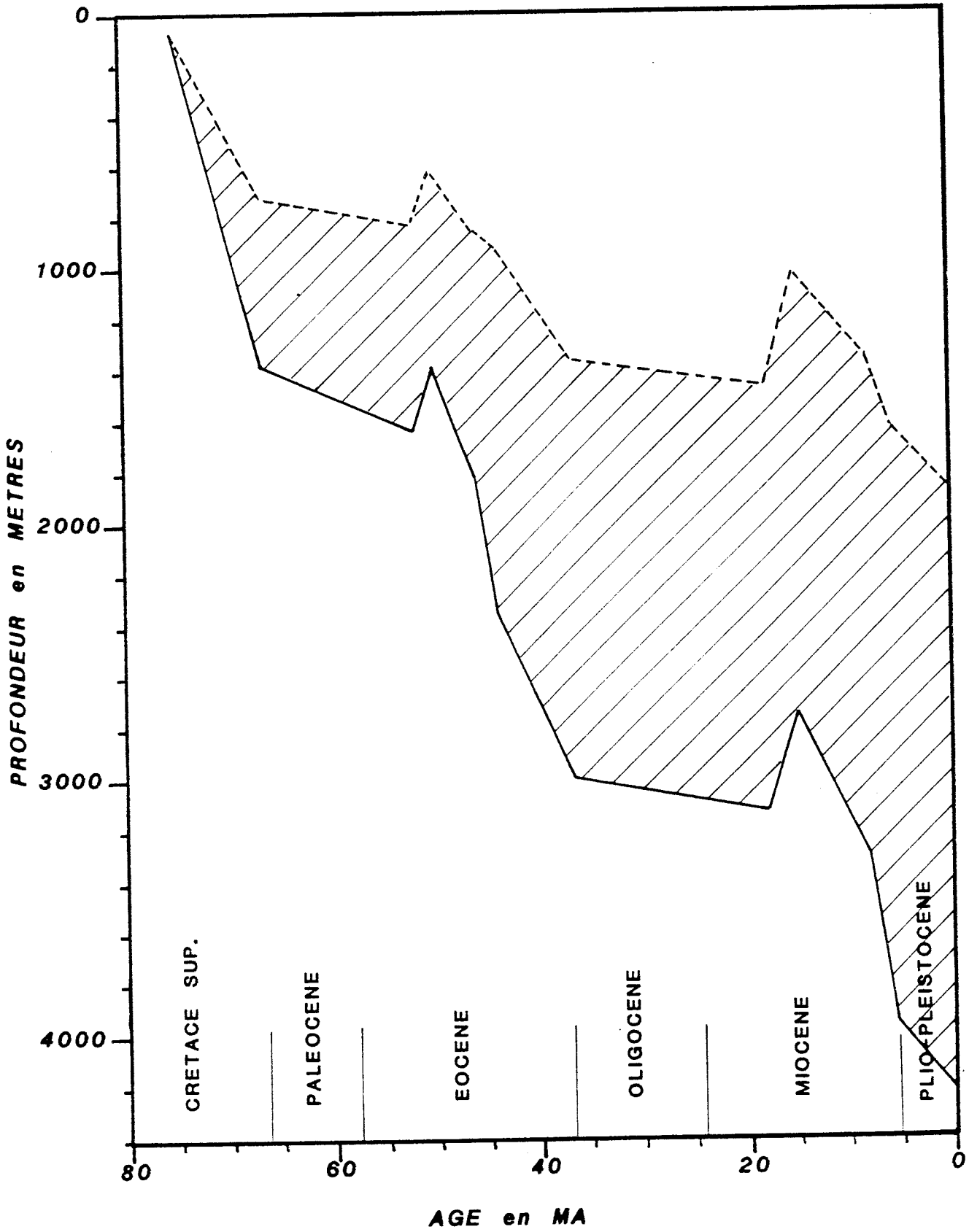
Sur ces diagrammes, le niveau actuel de la mer constitue la référence de l'échelle des profondeurs.

La remontée des courbes à deux époques différentes sur le diagramme du puits CUL DE SAC-1 (Crux) correspond aux deux phases érosives enregistrées à ces époques.

La lacune de non-dépôt considérée dans le puits MAISSADE-1 entre 30 M.A et 23.7 M.A se traduit par un ralentissement du taux de subsidence à cette époque.

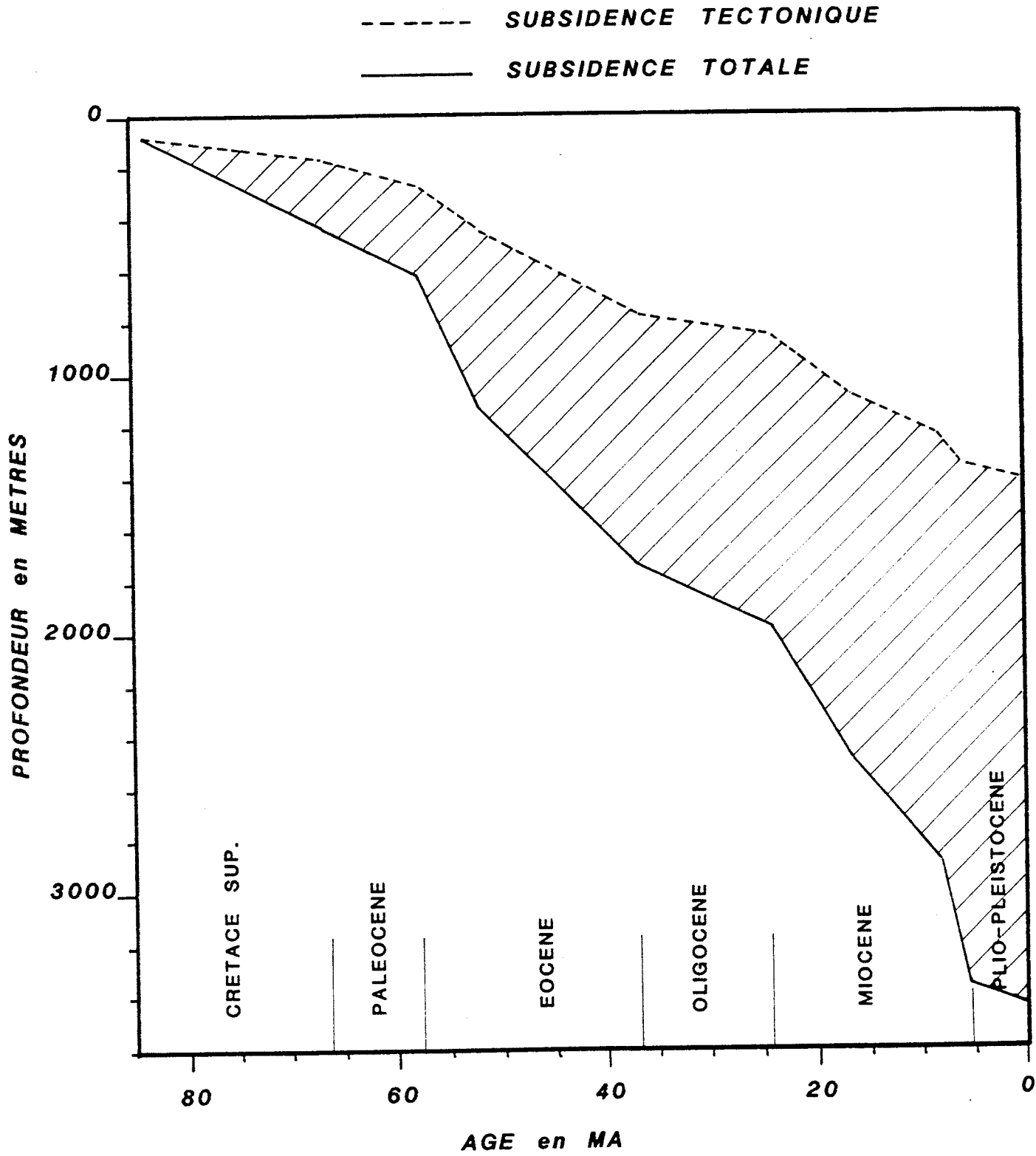
BACKSTRIPPING

----- SUBSIDENCE TECTONIQUE
 ———— SUBSIDENCE TOTALE



CUL de SAC -1 (CRUX) .

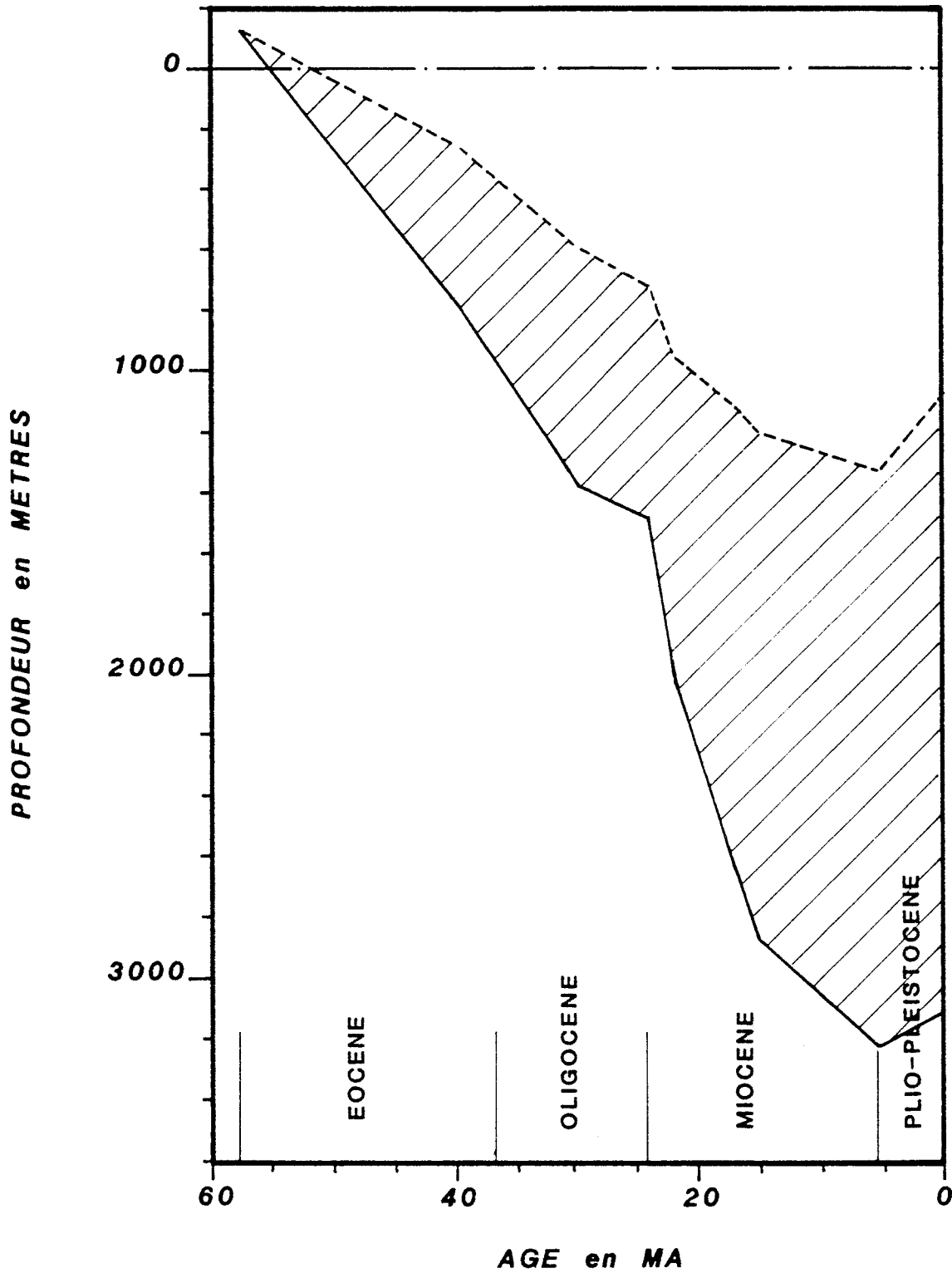
EVOLUTION de la SUBSIDENCE .



CUL de SAC - 1 (ATLANTIC) .

EVOLUTION de la SUBSIDENCE .

----- **SUBSIDENCE TECTONIQUE**
————— **SUBSIDENCE TOTALE**



MAISSADE -1 .

EVOLUTION de la SUBSIDENCE .

Certains paramètres, en particulier les paléobathymétries, ont une grande influence sur les courbes de subsidence. Or, il subsiste une incertitude assez grande quant aux valeurs de paléobathymétries utilisées, étant donné le manque d'informations permettant de les déterminer.

Les deux périodes d'érosion considérées dans le puits de CUL DE SAC-1 (Crux) pourraient également correspondre à des périodes de non-dépôt ; de plus l'âge de ces deux périodes est supposé, les deux marqueurs sismiques suivis, non traversés par les forages, ne sont pas datés.

Aussi, les diagrammes ne prétendent pas fournir une allure exhaustive des courbes de subsidence, ces dernières étant donc à utiliser avec prudence.

5.6.3. MODELE GEOCHIMIQUE : "MATOIL"

5.6.3.1. Objet de la modélisation Matoil

Les différentes études géochimiques menées en Haïti montrent que le potentiel pétrolier des séries cénozoïques est faible (à nul) et que les seuls bons indices pouvant caractériser une roche-mère sont ceux rencontrés dans des niveaux crétacés supérieurs.

Ainsi, l'évaluation du degré de maturation des niveaux crétacés supérieurs constitue l'objectif principal de cette modélisation.

Or, la série crétacée n'a jamais été atteinte par les forages pétroliers réalisés en Haïti. Trois puits ont été sélectionnés pour la modélisation Matoil et la succession stratigraphique traversée a été étendue jusqu'au Crétacé supérieur.

5.6.3.2. Choix des données - Calibration du modèle

Les trois puits sélectionnés sont les suivants :

- CUL DE SAC-1 (Crux)
- CUL DE SAC-1 (Atlantic)
- ARCADINES-1 (Crux)

Parmi ceux-ci, CUL DE SAC-1 (Crux) et ARCADINES-1 ont été échantillonnés afin de réaliser des études géochimiques basées sur la méthode COT - ROCK EVAL. Les résultats de ces études géochimiques nous permettent de discuter la valeur du gradient géothermique et de calibrer le modèle Matoil.

Après plusieurs tests, une valeur du gradient géothermique de 28°C/Km permet une calibration satisfaisante du modèle appliqué au puits CUL DE SAC-1 (Crux).

En effet, un échantillon daté de l'Eocène moyen et situé à 2450 m dans le puits fournit à l'analyse Rock-Eval une T_{max} de 430°C . La valeur du taux de transformation de la matière organique calculée par le modèle pour ce niveau, soit 6,3%, se corrèle bien avec la T_{max} obtenue par analyse Rock-Eval.

En revanche, l'utilisation de la même valeur du gradient géothermique, 28°C/Km , pour le puits ARCADINES-1 ne permet pas une bonne corrélation entre les résultats du modèle et ceux fournis par les analyses géochimiques Rock-Eval. Ces analyses donnent pour un échantillon Miocène moyen prélevé à la côte 1950 m. une T_{max} de 435°C correspondant à un taux de transformation (TR) d'environ 10%. Or la valeur de TR calculée pour le modèle reste inférieure à 2%. Seule, l'utilisation d'un gradient géothermique de l'ordre de 40°C/Km permettrait d'atteindre une valeur de TR proche de 10%. Une telle valeur est en désaccord avec le gradient déterminé à CUL DE SAC-1 (Crux) d'une part, et d'autre part avec les estimations que l'on peut faire à partir des températures de fond de puits.

Un gradient géothermique de 28°C/Km semble donc raisonnable. Cette valeur a été utilisée pour la modélisation des trois puits sélectionnés. De plus, en l'absence de données précises concernant l'histoire tectonique du bassin depuis le Crétacé supérieur jusqu'à l'actuel, nous avons supposé ce gradient constant au cours du temps.

Les données stratigraphiques utilisées sont tirées d'une part des logs de puits disponibles (cote et âge de la base de chaque formation, composition lithologique), d'autre part des connaissances géologiques régionales et des résultats de l'interprétation des documents sismiques.

Ainsi, deux phases d'érosion sont considérées dans le puits CUL DE SAC-1 (Crux) :

- érosion à 52 M.A (base Eocène moyen) : érosion des séries Eocène inférieur et Paléocène
- érosion à 18 M.A (intra-Burdigalien) : érosion de la base du Miocène et de l'Oligocène.

La composition lithologique de chaque formation est fournie au modèle sous forme de pourcentages en trois types lithologiques de base (sables, argiles, carbonates). Le modèle prend automatiquement en compte les caractéristiques pétrophysiques de chaque formation à partir de ces pourcentages (porosité, conductivité thermique, capacité calorifique).

Dans chacun des trois puits le degré de maturation est calculé pour un marqueur choisi dans le Crétacé supérieur, à 3500 m. dans CUL DE SAC-1 (Crux) et CUL DE SAC-1 (Atlantic), à 3600 m dans ARCADINES-1 (d'après la sismique).

En outre, les degrés de maturation pour un marqueur Eocène moyen dans CUL DE SAC-1 (CRUX) et Miocène moyen dans ARCADINES-1 ont été calculés pour les besoins de la calibration du modèle.

Pour l'ensemble de ces marqueurs, les paramètres cinétiques standards de Tissot-Espitalié pour la matière organique de type II ont été utilisés.

Enfin, en l'absence de données précises concernant le potentiel pétrolier des séries Crétacées supérieures, nous avons choisi une valeur de teneur en carbone organique total de 25 Kg par tonne de roche mère.

5.6.3.3. Résultats de la modélisation Matoil

Les résultats de la modélisation Matoil sont présentés essentiellement sous forme graphique et concernent :

- l'évolution au cours du temps de la position de la fenêtre à huile (figures 43 et 45). Sur ce type de graphique sont reportées les courbes d'enfouissement des différents marqueurs ainsi que celle de la base du puits.
- l'évolution au cours du temps du taux de transformation de la matière organique en hydrocarbures (figures 46 à 48). L'entrée d'un marqueur dans la fenêtre à huile est repérée sur ces graphiques par un seuil correspondant à un taux de transformation de 10%.
- l'évolution au cours du temps de la génération des hydrocarbures (fig.49 à 51)

Le niveau de référence de l'échelle des profondeurs correspond à la surface topographique (onshore) ou au fond de la mer (offshore).

De plus, la figure 52 résume les principaux résultats pour chacun des puits choisis :

- valeur du taux de transformation à l'époque actuelle pour chaque marqueur
- position du toit de la fenêtre à huile à l'époque actuelle
- âge d'entrée du marqueur Crétacé dans la fenêtre à huile.

Les figures 53, 54 et 55 constituent un résumé pour les puits Cul de Sac-1 (Crux) Arcadines-1 et Cul de Sac-1 (Atlantic) respectivement, des principales données d'entrée (histoire sédimentaire et éventuellement érosion) et des résultats importants du modèle.

GRADIENT GEOTHERMIQUE 28 ° C/KM	CUL de SAC CRUX	ARCADINES	CUL de SAC ATLANTIC
MARQUEUR	2450 m. Eocene Moyen	1950 m. Miocene Moyen	
CENOZOIQUE	TR 6.3 %	1.6 %	
MARQUEUR	3500 m.	3600 m.	3500 m.
CRETACE	TR 43.3 %	44.2 %	42.8 %
TOIT de la FENETRE à HUILE	2738 m.	2882 m.	2758 m.
Age d'entrée dans la fenêtre à huile du marqueur crétacé	24 MA	4 MA	11 MA


```

$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
S
S          MATOIL          S
S
S
S          WELL :  ARCADINES  S
S
S
S
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
    
```

 * SEDIMENTATION HISTORY *

FORMATIONS

Number	Name	Period m.y.	Depths m	Uncompacted	Solid
				Deposition rate m /m.y.	Deposition rate m /m.y.
1	PLIO-PLEIS	0.0- 3.0	0.0- 547.0	237.20	120.50
2	UP. PLIO	3.0- 4.0	547.0- 1147.0	952.18	483.71
3	LOW. PLIO	4.0- 5.3	1147.0- 1567.0	546.98	277.87
4	UP. MIOCENE	5.3- 11.2	1567.0- 1697.0	38.09	19.35
5	LOW.MIOCENE	11.2- 23.7	1697.0- 2147.0	63.24	32.13
6	OLIGOCENE	23.7- 36.6	2147.0- 2347.0	27.62	14.03
7	UP.EOCENE	36.6- 52.0	2347.0- 2847.0	58.52	29.73
8	LOW.EOCENE	52.0- 58.0	2847.0- 3347.0	152.11	77.27
9	PALEOCENE	58.0- 66.4	3347.0- 3497.0	32.81	16.67
10	UP.CRETAC.	66.4- 84.0	3497.0- 3697.0	20.94	10.64

 * SOURCE ROCKS MARKERS *

Number	Name	Depth	Age
		m	m.y.
1	MID.MIOCENE	1950.0	18.2
2	UP.CRETACE	3600.0	75.5

 * OIL WINDOW EVOLUTION *
 * FOR STANDARD ORGANIC MATTER 2 *

Age m.y.	Bottom	Bottom	Bottom	Top	Top	Top
	Depth m	Temperature °C	Heat flow mwatt/sq.m	Oil window m	Transition zone m	Gas window m
0.0	3697.	129.3	65.55	2882.	0.	0.

```

*****
*
*      SOURCE ROCK  2      *
*
*****
*  NAME   :  UP.CRETACE  *
*****
*  DEPTH  : 3600.0 m    *
*****
*  AGE   :   75.5 m.y.  *
*****
*  T.O.C.: 25.0 kgOC/tSR *
*****
*  ORGANIC MATTER  2  *
*****
    
```

Age m.y.	Depth m	Temp. °C	Transf. Ratio	Gas/HC Ratio	Transformed O.M.		Oil		Gas	
			%	%	mg/gOC	kg/tSR	mg/gOC	kg/tSR	mg/gOC	kg/tSR
0.0	3600.	126.7	44.2	0.1	307.	7.7	307.	7.7	0.	0.0

Les âges d'entrée dans la fenêtre à huile du marqueur Crétacé s'étagent de 24 M.A (Oligocène terminal) pour CUL DE SAC-1 (Crux), à 11 M.A (base du Miocène supérieur) pour CUL DE SAC-1 (Atlantic) et 4 M.A (Pliocène inférieur) pour ARCADINES-1. Cet étalement est essentiellement dû aux différences de vitesse d'enfouissement du marqueur Crétacé d'un puits à l'autre.

Sur la figure 46, Taux de transformation en fonction du temps du puits CUL DE SAC-1 (Crux), le replat vers 18 M.A de la courbe associée au marqueur Crétacé supérieur correspond à la phase érosive qui affecte les séries oligomiocènes à cette époque. Ce replat traduit un ralentissement brutal de la maturation dû à la remontée des séries. Cette érosion provoque également une remontée de la fenêtre à huile (figure 43).

A l'époque actuelle, la série crétacée supérieure est située dans la fenêtre à huile. Les marqueurs correspondants ont atteint une valeur de taux de transformation sensiblement égale d'un puits à l'autre, de l'ordre de 43%. Cette valeur de taux de transformation nous permet de situer les marqueurs crétacés dans la zone de génération maximale de l'huile. A ce stade, le craquage secondaire de l'huile en gaz débute lentement, la proportion de gaz représentant 0.1% du total des hydrocarbures générés.

5.6.3.4. Conclusion

L'utilisation du modèle Matoil montre que d'éventuelles roches mères situées au niveau du Crétacé supérieur dans les trois puits étudiés seraient matures. La génération de l'huile a pu commencer dès la fin de l'Oligocène pour CUL DE SAC-1 (Crux) mais seulement au Pliocène inférieur pour ARCADINES-1.

Actuellement situées dans une zone de maturation où la génération de l'huile atteint son maximum, les saturations en huile au sein de la roche mère sont susceptibles d'avoir largement dépassé le seuil au-delà duquel l'expulsion des hydrocarbures vers des drains potentiels est possible.

Une meilleure connaissance géologique de la région aurait permis une calibration du modèle plus précise. Cependant, les résultats des études géochimiques et ceux de la modélisation Matoil présentent une convergence satisfaisante illustrée, par exemple, par la côte du toit de la fenêtre à huile dans CUL DE SAC-1 (Crux) respectivement fournie par les études géochimiques (2750 m.) et le modèle Matoil (2738 m.).