

A. BONTE

Sondage de RATTE (Saône & Loire)
Essais d'épuisement 1946-47

Octobre 1951

- ANNEXES -

ANNEXE I

PROGRAMME D'EQUIPEMENT DU FORAGE DE RATTE EN VUE D'ESSAIS A LA PRODUCTION

Compte-Rendu de la Conférence tenue le 17 Septembre 1946
au B.R.G.G.

Etaient présents :

MM. DARBOUX
NIEDERGANG
BEAULATON
LOPARD
GUILLAUME

Ingénieur à la R.A.P.
Directeur de la Sté B.E.
Ingénieur de la Sté B.E.
Ingénieur aux M.D.P.A.
Ingénieur-Géologue en chef B.R.G.G.

I - CONSTITUTION DU TUBAGE -

Le fond du trou étant à 1.246 m.70, le pied du tubage est prévu à 1.240 pour raison de sécurité. La zone intéressante est supposée de 1.160 m. à 1.220 m.

a) Tubage - colonne complète 3 " - 3 " 1/2 - 4 " 1/4 - 6 " - au maximum, jusqu'au jour (résistance minimum de la colonne garantie par B.E. : 120 kgs).

Le tubage 3 " sera crépiné de 1.240 à 1.145 m. en trous de 5 mm. espacés de 10 cm. suivant 3 génératrices. Un bouchon de ciment de 1m. sera logé au-dessus de 1.145 m. assis sur un rétreint. Au-dessus du bouchon, le 3 " sera crépiné sur une hauteur de 1m. en trous de 10 mm. pour l'injection du ciment.

Le 3 " remontant vers 1.010 m. une plaque de cimentation en bronze est prévue dans le 3 " 1/2 à 1.000 m. L'injection de ciment sera telle qu'elle doit remonter à l'extrados de la colonne de captage (3 " - 3 " 1/2) jusqu'à 900 m. garantis.

b) quantité de ciment estimée à

Durée de prise du ciment : 6 à 8 jours.

II - ESSAIS DU TUBAGE - Pression à 100 kgs.

III - ESSAIS D'ÉTANCHEITÉ DU TUBAGE -

Le trou sera vidé jusqu'à 300 m. et son niveau observé pendant 12 heures.

IV - ESSAIS D'ÉTANCHEITÉ DE LA CIMENTATION - prévus en 2 phases

a) On reforera la plaque de cimentation et le ciment intérieur jusqu'à la tête du bouchon : 1.145 m.

Essai de pression à 20 kgs. pour vérification de la cimentation à hauteur du trou d'injection.

b) Reforage du bouchon, et nettoyage du trou jusqu'au fond.

Forage rempli à l'eau claire - essai de pression à 20 kgs.

Dans le cas où dans l'une de ces deux opérations, la circulation se rétablirait avec le jour, c'est que l'anneau de ciment compris entre le 3 " et le terrain n'est pas étanche.

Pour y remédier, il est prévu une cimentation sous pression, qui se fera de la façon suivante ;

Bouchon de boue jusqu'à 1.140 m.

Bouchons de ciment de 1.140 m. à 1.100 m.

Remontée de la garniture à cette cote (1.100 m) et mise sous pression (Nota : Des précautions doivent être prises pour éviter de cimenter la garniture dans le tubage).

Nettoyage du trou, et nouvel essai de pression.

Ces opérations seront recommencées jusqu'à obtention d'un résultat satisfaisant, c'est-à-dire l'étanchéité complète de l'anneau de ciment.

V - VIDANGE DU TROU JUSQU'AU FOND - S'il y a venue d'eau, elle ne peut provenir que du fond. Dans ce cas, on bouchera le fond du trou par un bouchon de ciment jusqu'à 1.225 m. tête de l'albien.

(Rebouchage en 2 étapes : 1) du fond à 1.235 m.
2) de 1.235 à 1.225 m.)

(surtout ne pas remonter jusqu'à 1.220 m. où la prospection électrique indique une particularité intéressante).

La vidange du trou ne sera prévue, par précaution, que pendant le jour.

VI - Pour toutes les opérations d'essais de production, toutes précautions seront prises pour parer aux risques d'incendie, notamment l'usage de la chaudière sera interdit et la force motrice assurée, par exemple, par un moteur à explosions.

Dans le cas où il y aurait des manifestations de gaz, les essais devront être arrêtés immédiatement pour être repris suivant les règles de l'art.

La Société Bonne-Espérance est invitée à indiquer les garanties d'exécution et de délais qu'elle peut fournir pour ce travail.

Résumé d'un entretien au B.R.G.G. avec MM. Martin, Directeur et Béjun, Ingénieur à la Société Prosélec, le 8 Octobre 1946, à propos du repérage des venues aquifères dans le sondage de RATTE.

-:-:-

1°) - Détection des profondeurs des venues d'eau par résistivimétrie.-

M. MARTIN fait observer qu'étant données les conditions complexes des tubages non cimentés et en mettant les choses au mieux, la méthode par résistivimètre pourrait indiquer des points d'afflux dans le trou aux interstices entre les tubages, ceux-ci ne correspondant pas forcément à la profondeur réelle de l'horizon aquifère.

2°) - Thermométrie .-

On peut tenter une détermination du trajet des afflux d'eau derrière tubage entre le débouché de l'eau dans le trou et le niveau aquifère. Il faudrait introduire dans ce sondage une circulation d'eau froide aussi énergique que possible, de manière à établir des conditions thermiques aussi homogènes que possible dans le forage.

- Lavage à l'eau froide : 24 heures.
- Durée de retrait des tiges estimée à 6 heures.
- Sonde thermique : diamètre 42 m/m.

Première mesure faite après le retrait des tiges. Mesuration de la perturbation thermique créée par dépression causée dans le forage par ce retrait.

Premier diagramme sur l'observation duquel on décidera s'il y a lieu de continuer ou non à mettre en dépression.

Intérêt de plusieurs diagrammes successifs pour contrôle de l'évolution du phénomène avec épuisement successifs si nécessaire.

En résumé, on pourrait combiner les deux méthodes en deux groupes d'opération :

1°) Résistivimètre - Remplir forage d'eau aussi homogène que possible. Eau lourde préférable. Mise en dépression - Treuil à main disponible sur place. Treuil avec moteur électrique à PECHTELBRONN, devrait venir par la route.

2°) Thermométrie (voir plus haut pour méthode) - Eau lourde préférable également.

Gradient géothermique - Laisser le forage au repos. Série de mesures échelonnées de 48 heures. Possibilité de mesures par l'Ingénieur qui opérera à Vernantais Jeudi.

- Première mesure RATTE, vendredi,
- Deuxième mesure lundi.
- Pour les autres mesures, prévoir une semaine.

De toutes façons, problème très difficile et impossibilité de garantir que déterminations seront très précises .

PROCES-VERBAL

de la conférence tenue au B.R.G.G. le
25 Octobre 1946

au sujet de la suite à donner aux travaux du forage de RATTE

Etaient présents : MM. GOGUEL, Sous-Directeur du B.R.G.G.
GUILLAUME, Ing. Géologue en chef B.R.G.G.
DARBOUX, Ingénieur de la R.A.P.
LOPARD, Ingénieur M.D.P.A.
BEAULATON, de B.E.

Après examen de la situation, compte-tenu des résultats fournis par les mesures géophysiques de résistivimétrie et de thermométrie indiquant que l'afflux d'eau se produit dans le forage aux joints entre les colonnes 6 " et 8 ", à la profondeur de 566 m. et d'autre part que la courbe de thermométrie marque une pointe endothermique à la profondeur de 583 m. - également compte tenu des possibilités du chantier - il a été décidé ce qui suit sur la proposition de M. Darboux, reprenant une solution initialement proposée par M. Lopard.

Descente d'une colonne étanche dans le forage, avec dispositif de raccordement à la profondeur de 1.015 m. sur la tête du 3 " 1/2 en place dans le forage.

Réduction 3 " 1/2 x 3 " avec 2 m. de 3 " à la base, l'épaulement à angle vif étant muni d'une garniture : plomb caoutchouc destinée à assurer l'étanchéité par simple pression entre la colonne descendue et la colonne en place de 3 " 1/2 et si possible aussi de 4 " 1/4.

Dispositions supplémentaires : en attendant l'approvisionnement du chantier, avant de descendre la colonne mixte, B.E. retirera la partie supérieure de la colonne mixte 6 " x 5 ", le tube 6 " étant coupé vers 640.

Ensuite, la tête de la colonne perdue de 7 " sera repérée (cote attendue : 587.35) et passage de la fraise dans le tubage de 5 ".

La composition de la colonne étanche à descendre est prévue de la façon suivante :

- Réduction 7 " - 8 " (tête de captage).
- 570 m. environ de tubes 7 " - réduction 7 " x 6 ".
- Quelques mètres de tubes 6 " -réduction 6 " x 5 ".
- 140 mètres environ de tubes 5 " - réduction 5" x 4"1/4.
- 220 m. environ de tubes 4" 1/4 - réduction 4 " 1/4 x
3 " 1/2.
- 140 m. environ de tubes 3 " 1/2.
- 2 m. (ou plus) de tubes 3 " avec garnitures d'étanchéité à la partie contre 3 " 1/2.

Tous les tubes, ainsi que les réductions, sont neufs.

La réduction 3 " 1/2 - 3 " sera mise en construction immédiatement par BISCHWILIER avec bagues de caoutchouc (étanchéité 4 " 1/4 x 3 " 1/2) et joint de plomb (étanchéité 3 " 1/2 x 3 " 1/2).

M. FRIEDEL, mis au courant téléphoniquement par M. GOGUEL, donne son accord pour exécution.

La mise en place de la colonne étanche pourra avoir lieu dans le courant de la semaine du 4 au 10 Novembre.

Paris, le 29 Octobre 1946

E R R A T U M

au Procès-Verbal de la Conférence tenue
au B.R.G.G. le 25 Octobre 1946 au sujet
de la suite à donner aux travaux du fo-
rage de RATTE.

Il a été omis dans la première rédaction de
ce Procès-Verbal, de faire mention de la pose, entre
la colonne 9 " 1/4 en place et la colonne de 7 " à
descendre, d'un presse-étoupe afin d'assurer l'étanchéité
de l'intervalle entre ces deux colonnes au cours des
opérations d'épuisement.

Paris, le 25 Octobre 1946

A N N E X E

au Procs-Verbal de la CONFERENCE du 25 Octobre 1946

Vers la fin de l'après-midi, M. BEAULATON, accompagné de M. LEHMANN, dessinateur de B.E. est venu soumettre le projet de garniture pour le raccordement de la colonne étanche avec le 3 " 1/2 en place dans le forage.

Ce projet a été examiné par MM. GUILLAUME & LOPARD qui ont présenté quelques observations de détails et demandé notamment, afin d'assurer un meilleur centrage du tube de 3 " à la partie inférieure de la colonne de 3 " 1/2, de placer sur le 3 " et à une vingtaine de centimètres au-dessous de la base de l'anneau de plomb, des renflements par soudure électrique, suivant 3 génératrices. Diamètre de ces renflements : 30 mm. environ donnant au tubage de 3 " une surépaisseur de 2 mm. environ. Il serait à craindre, en effet, que si le jeu du 3 " dans le 3 " 1/2 est trop grand, l'anneau de plomb soit sectionné sur un côté et ne puisse, de ce fait, assurer l'étanchéité cherchée.

ANNEXE IV

Analyses des eaux prélevées au Sondage de Vincelles

Le premier prélèvement a été effectué au niveau des calcaires lacustres du Stampien, traversés à Vincelles, de 243 à 360 et à Ratte de 294 à 403. L'analyse correspond donc à l'eau de notre niveau 313.

Le deuxième prélèvement a été effectué dans les calcaires lacustres du Sannoisien, traversés à Vincelles de 566 à 605 et à Ratte de 704 à 705. Ce deuxième horizon aquifère ne semble pas avoir été remarqué à Ratte, au cours du forage.

	I	II
	:Prélèvement à 340m.:	:Prélèvement à 566.40
Degré hydrotimétrique total	: 30°	: 42°
" " permanent	: 20°	: 23°
Matières organiques	: 1,5 gr./lit/	: 1,875 gr/lit.
Sulfures	:)	: néant
Nitrites	:) néant	: présence
Nitrates	:)	: néant
Chlorures : Cl	: 259 mg/lit.	: 689 mg/lit.
Sulfates : SiO^3	: 274 "	: 1029 "
Chaux : Ca	: 78 "	: 26 "
Magnésie : Mg	: 94 "	: 11 "
Température	: 24°	: 31°
	: ferrugineuse	:

Annexe V

Analyses des eaux prélevées au sondage de Ratte au cours des essais d'épuisement

N°	Marques	Niveau	Date et heure	Essai
1	Ratte-vi- dange	210	11.IX.46 (16h 30)	2 (3° jour)
2	RE. 1	161	5.X.46 (17 h)	3 (3° jour)
3	RE. 2	150	15.X.46 (16h 36 à 43)	4
4	RE. 3	364	15.11.46 (16h 43)	} 5 (4° jour)
5	RE. 4	600	15.XI.46 (17 h 05)	
non analysés	RE. 5	554	12.III.47 (16h 45)	6 (3° jour)
	RE. 6	546	18.III.47 (15 h 30)	7 (2° jour)
			1 2 3 4 5	
Aspect après filtration			pp ^{té} Fe : pp ^{té} Fe : clair : clair : ppté Fe :	
Résistivité électrique (en ohms à 18°)			22.3 : 22.4 : 26.4 : 12.7 : 12.3	
p H			7.2 : 7.1 : 11.3 : 6.8 : 7.	
Alcalinité (en CaO)			65 : 85 : 174 : 38 : 54	
Chlore des chlorures (en Cl)			20800 : 20200 : 16.100 : 42.300 : 42.800	
Acide sulfurique (en SO ³)			3030 : 3100 : 2150 : 2180 : 1890	
Chaux (en CaO)			2500 : 2340 : 3020 : 4760 : 4800	
Magnésie (en Mg O)			1200 : 1200 : 50 : 2060 : 2140	
Fer (en Fe) en solution			15 : 5 : 0,05 : traces : 5	
Sodium			11500 : 11500 : 9125 : 21840 : 22800	
Potassium			700 : 700 : 850 : 1200 : 1100	

	1	2	3	4	5
Degré Hydrotimétrique total	730	700	550	1340	1370
Résidu à 110°	41.200	40.830	31.240	78.160	82.750
Résidu à 180°	39.600	39.200	31.000	73.200	75.840
Résidu rouge	37.600	36.000	30.900	69.700	70.800
			après		
			claquage		Eaux du fond
			et		
			lavage		

Analyses du Service du Contrôle des
Eaux de la Ville de Paris
Observatoire de Montsouris

17.2.47

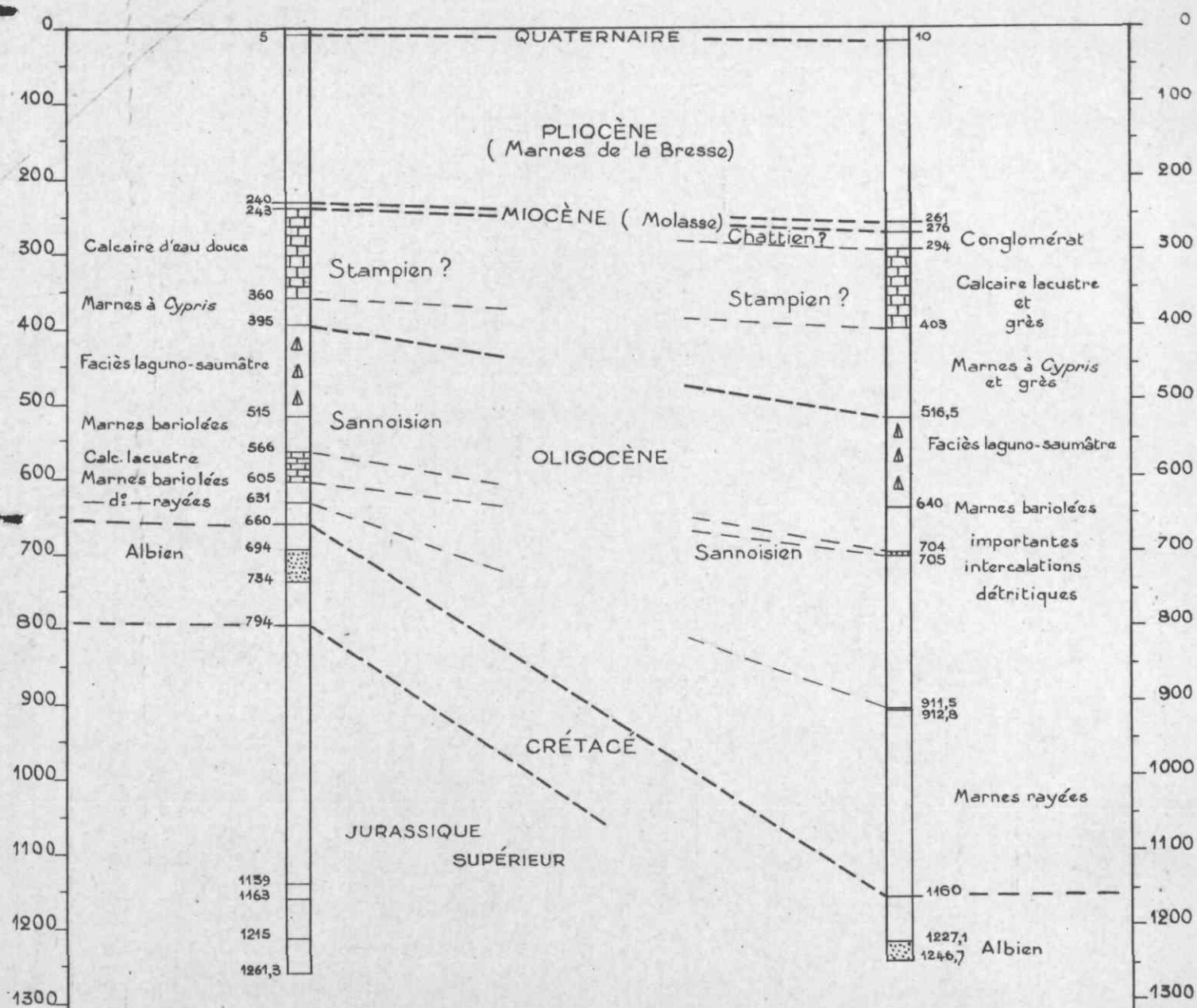
Signé : Le Strat.

Interprétation de M. Montagne, Chef du
Laboratoire de Chimie du B.R.G.G. -

Les eaux ci-dessus se classent dans la catégorie des
eaux perconnées de Delecourt; leurs titres spécifiques
sont en effet :

	1	2	3	4	5	
CO ³	: 0,16	: 0,22	: 0,55	: 0,05	: 0,07	:
Cl	: 44.14	: 43.82	: 42.88	: 47.77	: 48.05	:
SO ⁴	: 5.70	: 5.96	: 5.08	: 2.18	: 1.88	:
OH	: "	: "	: 1.49	: "	: "	:
Ca	: 6.69	: 6.32	: 10.19	: 6.78	: 6.60	:
Mg	: 4.50	: 4.53	: 0.24	: 4.11	: 4.12	:
Na	: 37.46	: 37.79	: 37.51	: 37.88	: 38.19	:
K	: 1.35	: 1.36	: 2.06	: 1.23	: 1.09	:
Résidu sec	:	:	:	:	:	:
Equivalence	:	:	:	:	:	:
moyenne	: 61.9	: 62.3	: 59.1	: 62.5	: 64.8	:
TH	: 55.95	: 54.25	: 52.15	: 54.45	: 53.60	: titre hydrotimétrique
TA	: 0.8	: 1.10	: 2.75	: 0.25	: 0.35	: alcalinité
T SO ⁴	: 28.5	: 29.8	: 25.4	: 10.9	: 9.41	: titre en SO ⁴
TC	: 220.7	: 219.1	: 214.4	: 238.85	: 240.25	: titre chloruré.
TN	: -26.65	: -23.35	: -16.55	: -43.30	: -43.85	: titre natronique
TB	: 4.15	: 0.70	: 22.80	: 22.75	: 23.25	: Salinité calcique
	:	:	:	:	:	: (CaCl ₂ - MgCl ₂)

RATTE



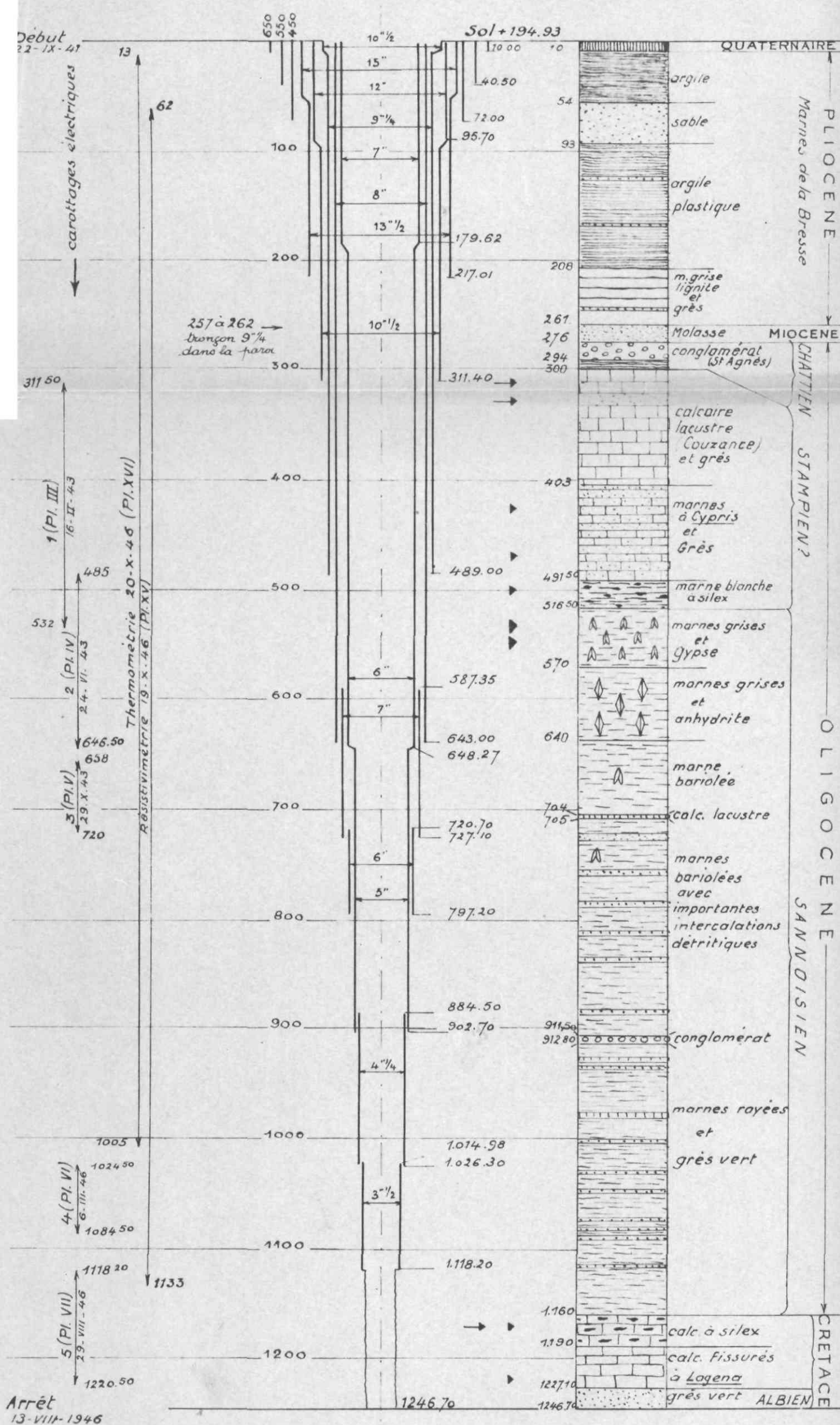
Echelle des profondeurs : 1/8.000^e

PLAN GENERAL

Opérations Schlumberger

Tubage complet
au 2-IX-46
avant essais

Coupe géologique provisoire
(A. Lefavrais) oct. 1946



Echelle des profondeurs 1/4.000
2.5mm. p.10m.

Indices de Gaz ►
Venues d'eau →

DISPOSITIF

DIAGRAMMES ÉLECTRIQUES SCHLUMBERGER

B 5,26 M 0,24 A
B 4,52 M 0,98 A
M 4,52 A 0,98 B

MINES
COMPAGNIE: DOMANIALES DATE : 16/2/43
CHAMP : RATTE POSITION :
SONDAGE : 1 COTE : m.

CAROTTAGE N° 1

MINES
DOMANIALES DE
POTASSE
RATTE 1

PROBLÈME : Etude du découvert

RÉSULTATS : V. diagramme et rapport

Profondeur du tubage	Sondeur : 311,40 m.	Carottage commencé à	9 h.
	Schlumberger : 311,50 m.	Carottage terminé à	20 h.
Profondeur du fond	Sondeur : 549 m.	Durée d'occupation du sondage	12 h.
Profondeur atteinte par élect. inf.	532 m.	Durée d'attente au sondage	1 h.
Découvert max. mesuré (2 ou P.S.)	220,50 m.	Distance parcourue	- k.
Découvert non mesuré	17 m.	Durée d'immobilisation de l'équipe	- h.

CARACTÉRISTIQUES DE LA BOUE

NATURE : naturelle VISCOSITÉ : - NIVEAU : 0
DENSITÉ : - RÉSISTIVITÉ : 7,4 DIAMÈTRE DU TROU : 6" col 10 ½

DÉTAILS SUR LA DESCENTE

Descentes normales

MATÉRIEL

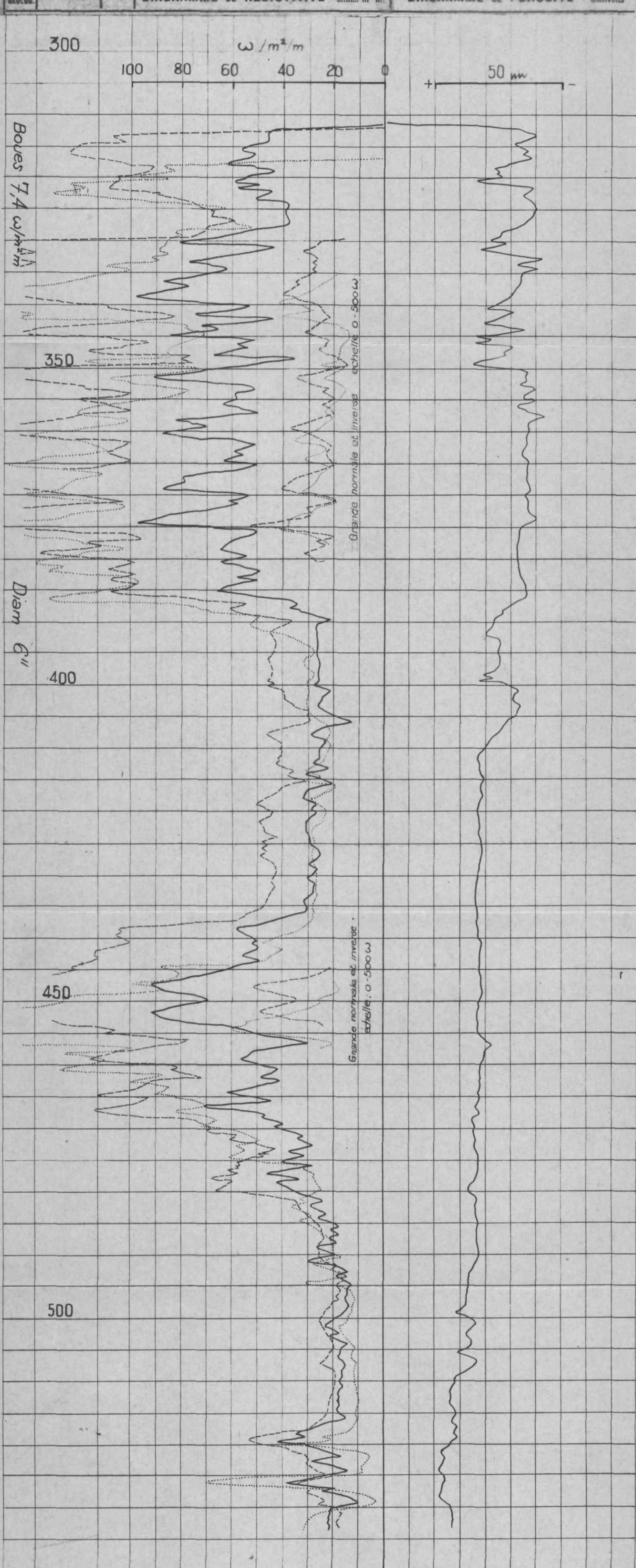
Sonde souple
1 lest en dessous 40 m/m (20 kgs)
Enregistreur à main

REMARQUES ET INTERPRÉTATION

— Sonde normale courte
- - - " " longue
..... " inverse

LES OPÉRATEURS : R. SCHAAK

COUPE GÉOLOG. REMARQUES PROFOND. DIAGRAMME DE RÉSISTIVITÉ - ohms. m²/m DIAGRAMME DE POROSITÉ - millivolts



DISPOSITIF	DIAGRAMMES ÉLECTRIQUES SCHLUMBERGER		CAROTTAGE N° 2	MINES DE POTASSE RATTE
B 5,26 M 0,24 A				
B 4,52 M 0,28 A	COMPAGNIE: MINES DE POTASSE	DATE : 24/6/43		
M 4,52 B 0,98 A	CHAMP : RATTE	POSITION :		
	SONDAGE : 1	COTE : m.		

PROBLÈME : Etude du découvert

RÉSULTATS : Voir rapport joint

Profondeur du tubage	Sondeur : 485 m.	Carottage commencé à	1 h.
	Schlumberger : 485 m.	Carottage terminé à	6 h.
Profondeur du fond : Sondeur :	648 m.	Durée d'occupation du sondage	5 h.
Profondeur atteinte par élect. inf. :	646,50 m.	Durée d'attente au sondage	0 h.
Découvert max. mesuré (p ou P.S.) :	161,50 m.	Distance parcourue	k.
Découvert non mesuré :	1,50 m.	Durée d'immobilisation de l'équipe	h.

CARACTÉRISTIQUES DE LA BOUE

NATURE : Naturelle	VISCOSITÉ : faible	NIVEAU : 0
DENSITÉ :	RÉSISTIVITÉ : 3,3	DIAMÈTRE DU TROU : 230 m/m
		Col : 9 1/4

DÉTAILS SUR LA DESCENTE

Descentes normales

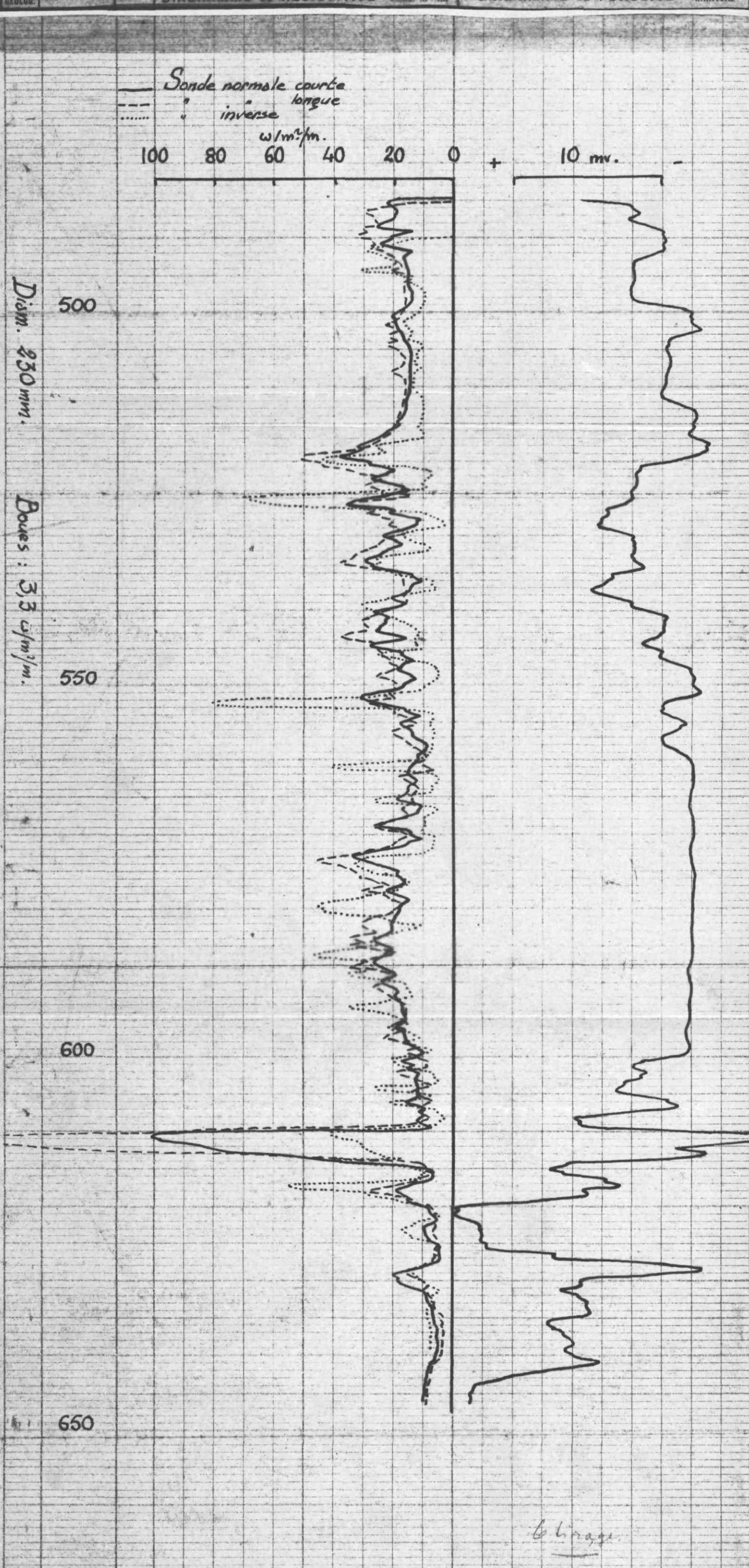
MATÉRIEL

Enregistreur à main
Sonde souple "Gulf Coast"
1 lest en-dessous 20 Kgs - 1 m -
treuil 0 m³150

REMARQUES
ET
INTERPRÉTATION

LES OPÉRATEURS : R. SCHAAK

BOUPE GÉOLOG.	REMARQUES	PROFOND	DIAGRAMME DE RÉSISTIVITÉ - $\omega/m^2/m$	DIAGRAMME DE POROSITÉ - millivolts
---------------	-----------	---------	---	------------------------------------



DISPOSITIF

DIAGRAMMES ÉLECTRIQUES SCHLUMBERGER

CAROTTAGE N° 3

MINES DE POTASSE
RATTE

B 5,26 M 0,24 A

B 4,52 M 0,98 A

M 4,52 B 0,98 A

COMPAGNIE : MINES DE POTASSE DATE 29/10/43

CHAMP : RATTE POSITION :

SONDAGE : 1 COTE : m.

PROBLÈME : Etude du découvert

RÉSULTATS : Voir rapport joint

Profondeur du tubage	Sondeur	: 660	m.	Carottage commencé à	: 14	h.
	Schlumberger	: 658	m.	Carottage terminé à	: 18	h.
Profondeur du fond	Sondeur	: 722	m.	Durée d'occupation du sondage	: 4	h.
Profondeur atteinte par élect. inf.		: 720	m.	Durée d'attente au sondage	: 0	h.
Découvert max. mesuré (p ou P.S.)		: 62	m.	Distance parcourue	:	k.
Découvert non mesuré		: 1,50	m.	Durée d'immobilisation de l'équipe	:	h.

CARACTÉRISTIQUES DE LA BOUE

NATURE :	Naturelle	VISCOSITÉ :	faible	NIVEAU :	0
DENSITÉ :		RÉSISTIVITÉ :	3,8	DIAMÈTRE DU TROU :	180 m/m

DÉTAILS SUR
LA DESCENTE

Le mauvais état du trou a proximité du sabot du tubage de 7" (643 m) a empêché le passage de notre instrument. Un tubage provisoire descendu à 658 m a permis ensuite des descentes faciles jusqu'au fond.

MATÉRIEL

Enregistreur à main
Sonde souple "Gulf Coast"
1 lest en-dessous 40 kgs - 1 m -
Treuil 0^{m3},150

REMARQUES
ET
INTERPRÉTATION

LES OPÉRATEURS : J.C. BELLICARD

COUPE
GÉOLOG.

REMARQUES

PROFOND

DIAGRAMME DE RÉSISTIVITÉ - ohms m²/m.

DIAGRAMME DE POROSITÉ - millivolts

Sonde normale courte
" " longue
" inverse

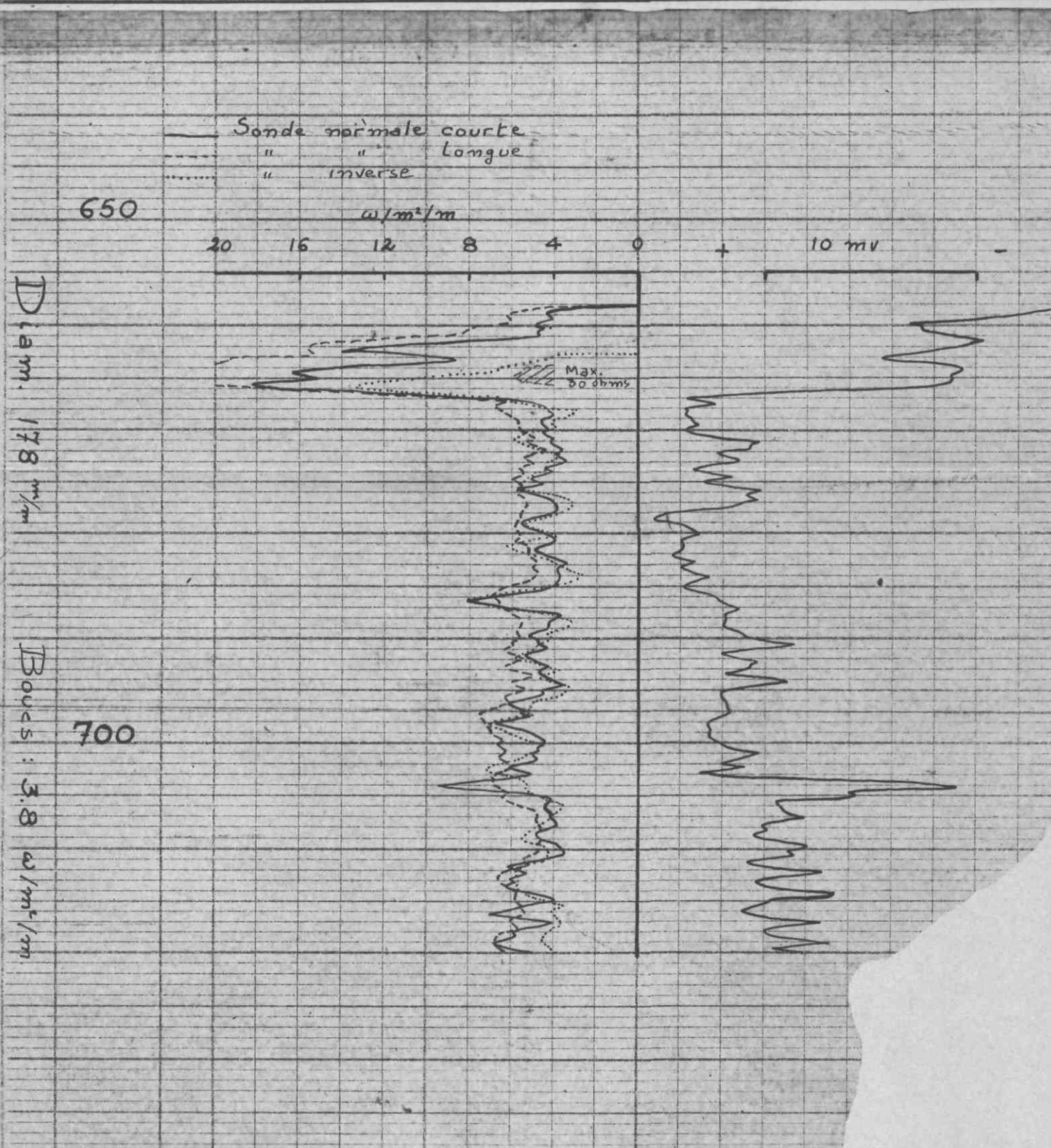
650

 $\omega/m^2/m$

20 16 12 8 4 0 + 10 mv

Diam.
178 m/mBoue : 3.8 $\omega/m^2/m$

700



DISPOSITIF	DIAGRAMMES ÉLECTRIQUES SCHLUMBERGER		CAROTTAGE N° 4	MINES DE POTASSE RATTE
B 5,26 A 0,24 M B 4,52 A 0,98 M M 4,52 A 0,98 B	MINES COMPAGNIE : DOMANIALES DATE : 6-3-46			
	CHAMP : RATTE	POSITION :		
	SONDAGE : 1	COTE : m.		

PROBLÈME : Etude du découvert - Echelle 1/500

RÉSULTATS : Voir rapport

Profondeur du tubage {	Sondeur	: 1026,3	m.	Carottage commencé à	:		h.
	Schlumberger	: 1024,5	m.	Carottage terminé à	:		h.
Profondeur du fond :	Sondeur	: 1093,6	m.	Durée d'occupation du sondage	:		h.
Profondeur atteinte par élect. inf.		: 1084,5	m.	Durée d'attente au sondage	:		h.
Découvert max. mesuré (p ou P.S.)		: 60	m.	Distance parcourue	:		k.
Découvert non mesuré		: 9,1	m.	Durée d'immobilisation de l'équipe	:		h.

CARACTÉRISTIQUES DE LA BOUE

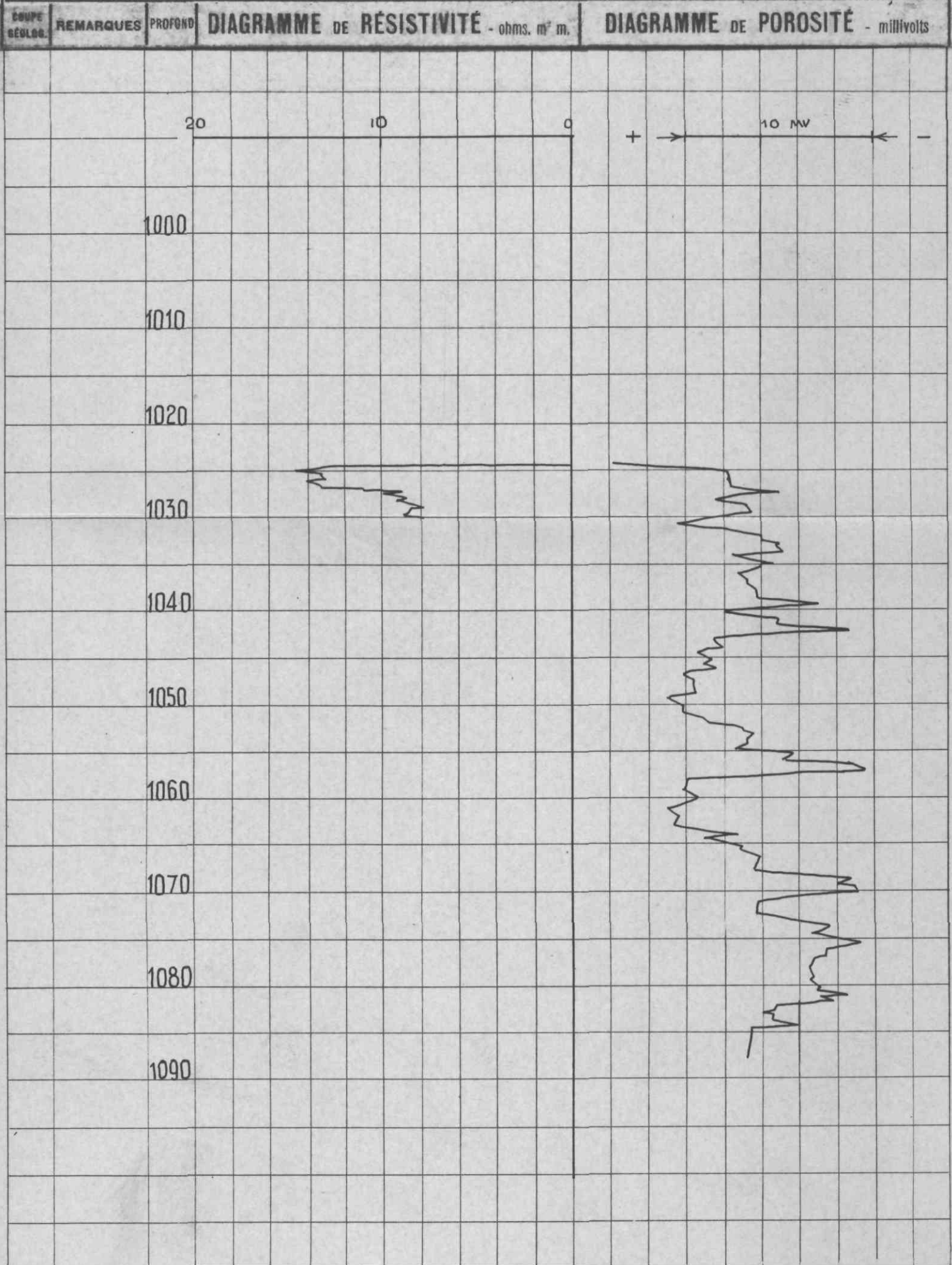
NATURE :	VISCOSITÉ :	NIVEAU :
DENSITÉ :	RÉSISTIVITÉ :	DIAMÈTRE DU TROU : 3" $\frac{1}{2}$

DÉTAILS SUR LA DESCENTE	1 ère descente lente sans incident jusqu'à 1084,50
	2 ème descente stoppée à 1030
	Enregistrement en bicable, electrode B au sol

MATÉRIEL	Un enregistreur à main
	Sonde souple Gulf-Coast
	Un lest en dessous en plomb - Poids 20 kg.

REMARQUES ET INTERPRÉTATION	L'absence de diagramme de résistivité rend toute interprétation impossible.
	Sur demande enregistrement du sabot de tubage.

LES OPÉRATEURS : SILLEVAERTS NOIK



DISPOSITIF	DIAGRAMMES ÉLECTRIQUES SCHLUMBERGER		CAROTTAGE N° 5	MIDOMA RATTE 1
N°1 SN 0,25	COMPAGNIE Mines Domaniales		DATE 28 - 29 Août 46	
N°3 SN 1.00	CHAMP : RATTE	POSITION :		
N°4 SI A05.00	SONDAGE : N° 1	COTE : m.		

PROBLÈME Étude du découvert de 1118,20 à 1246 mètres; détermination des venues de gaz.

RÉSULTATS Venues de gaz probables de 1154,50m à 1170m
et de 1214 m à 1220m

le 28/8 le 29/8

Profondeur du tubage {	Sondeur : 1118,20	m.	Carottage commencé à 9h45 :	10h	h.
	Schlumberger : 1118,20	m.	Carottage terminé à 11h45 :	16h	h.
Profondeur du fond :	Sondeur : 1246,70	m.	Durée d'occupation du sondage	2 h	6 h
Profondeur atteinte par élect. inf. :	1220,50	m.	Durée d'attente au sondage		h.
Découvert max. mesuré (p ou P.S.) :	102,30	m.	Distance parcourue		k.
Découvert non mesuré :	26	m.	Durée d'immobilisation de l'équipe	3 jours	h.

CARACTÉRISTIQUES DE LA BOUE

NATURE Arg. Bentonitique VISCOSITÉ : 1,07 NIVEAU : 29,50 m
DENSITÉ : 1,09 RÉSISTIVITÉ : 6,2 ohms m² DIAMÈTRE DU TROU : 76,5 mm

DÉTAILS SUR LA DESCENTE

Le 28 Août descente avec 2 lests plomb de 20 kgs. diam 40 mm impossible de passer le sabot du tubage.
Après circulation le 29 Août descente normale avec 2 lests plomb de 20 kgs diam. 40 mm

MATÉRIEL

Confection de nouvelles connexions par suite de la disparition des anciennes.

REMARQUES ET INTERPRÉTATION

Ce sondage se présente avec 2 colonnes perdues : l'une de 4 pouces 1/4 de 1015 m à 1026,30 m l'autre de 3 pouces 1/2 de 101 m à 1118,20 m. Un tube carottier a été abandonné dans la paroi du trou à la sortie du tubage sur une longueur de 6 m.
Le diagramme de sonde inverse met en évidence un banc résistant de marnes très calcaires entre 1142,50 et 1145 m. Les sondes normales montrent 2 ensembles résistants de 1154,50 à 1170 m et de 1214 m à 1220 m correspondant à des porosités moyennes favorables à des indices de gaz.

LES OPÉRATEURS : G. A. DELAOTTE - J. AUJER

Sonde normale 0,25

1,00

inverse 1,00

Résistivité en ohms m²m

P.S en millivolts

Sabot du tubage à 1118,2m

1^{re} Lecture à 1220,50

DISPOSITIF		DIAGRAMMES ÉLECTRIQUES SCHLUMBERGER		MINES DOMANIALES DE POTASSE	
B 5,26 M O,24 A		COMPAGNIE: MINES DOMANIA-DATE	: 31 Mars 1942	CAROTTAGE N°	1
B 4,52 M O,98 A		LES DE POSTASSE		VINCELLES	
B 4,76 A O,74 B		CHAMP : VINCELLES	POSITION:		
		SONDAGE : I	COTE :		m.
PROBLÈME : Etude du découvert					
RÉSULTATS : Voir rapport joint					
Profondeur du tubage	Sondeur : 587,50 m.	Carottage commencé à	:		h.
	Schlumberger : 559 m.	Carottage terminé à	:		h.
Profondeur du fond	Sondeur : 732 m.	Durée d'occupation du sondage	:		h.
Profondeur atteinte par élect. inf.	: 690 m.	Durée d'attente au sondage	:		h.
Découvert max. mesuré (p ou P.S.)	: 131 m.	Distance parcourue	:		k.
Découvert non mesuré	: 1,50 m.	Durée d'immobilisation de l'équipe	:		h.
CARACTÉRISTIQUES DE LA BOUE					
NATURE : Eau	VISCOSITÉ :	NIVEAU :	0		
DENSITÉ :	RÉSISTIVITÉ : 3	DIAMÈTRE DU TROU :	6"		
		Tubage	7"		
DÉTAILS SUR LA DESCENTE	Difficultés de descente à 600 m. Le sondage est cimenté à 700 mètres environ				
MATÉRIEL	Sonde souple 1 lest en dessous 40 m/m (20 Kgs.) Appareil à main				
REMARQUES ET INTERPRÉTATION	Le sondage débite constamment 40 m ³ /h. environ d'une eau claire venant de 580 m. Les caractéristiques indiquées ci-dessus pour la boue sont relatives à cette eau. Il est possible que de 580 m. jusqu'au fond, le liquide ait des caractéristiques différentes.				
LES OPÉRATEURS : R. SCHAAK					

RÉSISTIVITÉ

POROSITÉ

Sonde normale courte

longue

550

ω/m²/m. millivolts

200 160 120 80 40 0 + 50

600

650

ω/m²/m.

40 32 24 16 8

Profondeur atteinte : 690 + 1.50 = 691.50

550

ω/m²/m. millivolts

200 160 120 80 40 0 + 50

Sonde normale courte

inverse

600

650

ω/m²/m.

40 32 24 16 8

Profondeur atteinte : 690 + 1.50 = 691.50

Diam. 6"

Boues : 5 ω/m²/m.

DISPOSITIF		DIAGRAMMES ÉLECTRIQUES SCHLUMBERGER		MINES DOMANIALES de POTASSE	
B 5,26 M 0,24 A				CAROTTAGE N° 2	
B 4,52 M 0,98 A	COMPAGNIE MINES DE POTASSE	DATE : 11/3/43		VINCELLES	
B 4,52 M 0,98 A	CHAMP : VINCELLES	POSITION :			
	SONDAGE : 1	COTE :		m.	

PROBLÈME : Etude du découvert

RÉSULTATS : Voir rapport joint

Profondeur du tubage	Sondeur : 804 m.	Carottage commencé à	9 h.
	Schlumberger : 804 m.	Carottage terminé à	19 h.
Profondeur du fond	Sondeur : 1035,50 m.	Durée d'occupation du sondage	10 h.
Profondeur atteinte par élect. inf.	989 m.	Durée d'attente au sondage	0 h.
Découvert max. mesuré (p ou P.S.)	185 m.	Distance parcourue	k.
Découvert non mesuré	46,50 m.	Durée d'immobilisation de l'équipe	3 jours h.

CARACTÉRISTIQUES DE LA BOUE

NATURE : Eau	VISCOSITÉ :	NIVEAU :	0
DENSITÉ :	RÉSISTIVITÉ : 0,5	DIAMÈTRE DU TROU	132
		Col	152 ext.

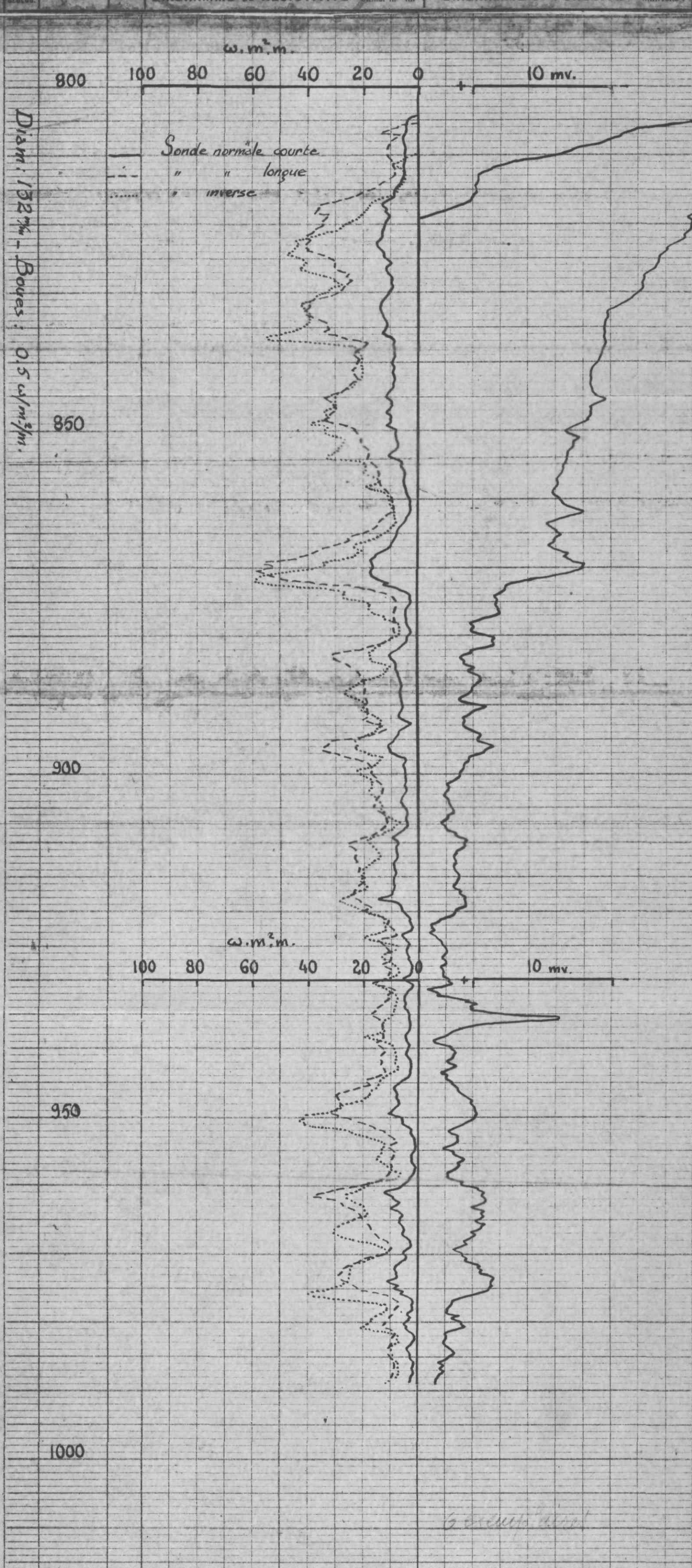
DÉTAILS SUR LA DESCENTE : Descente facile

MATÉRIEL : Sonde souple
1 lest en-dessous 20 kgs
Appareil à main

REMARQUES ET INTERPRÉTATION : Le sondage débite constamment environ 40 m³/h d'une eau calcaire venant d'une couche située derrière le tubage et remontant dans le puits en passant sous le sabot

LES OPÉRATEURS : R. SCHAAK

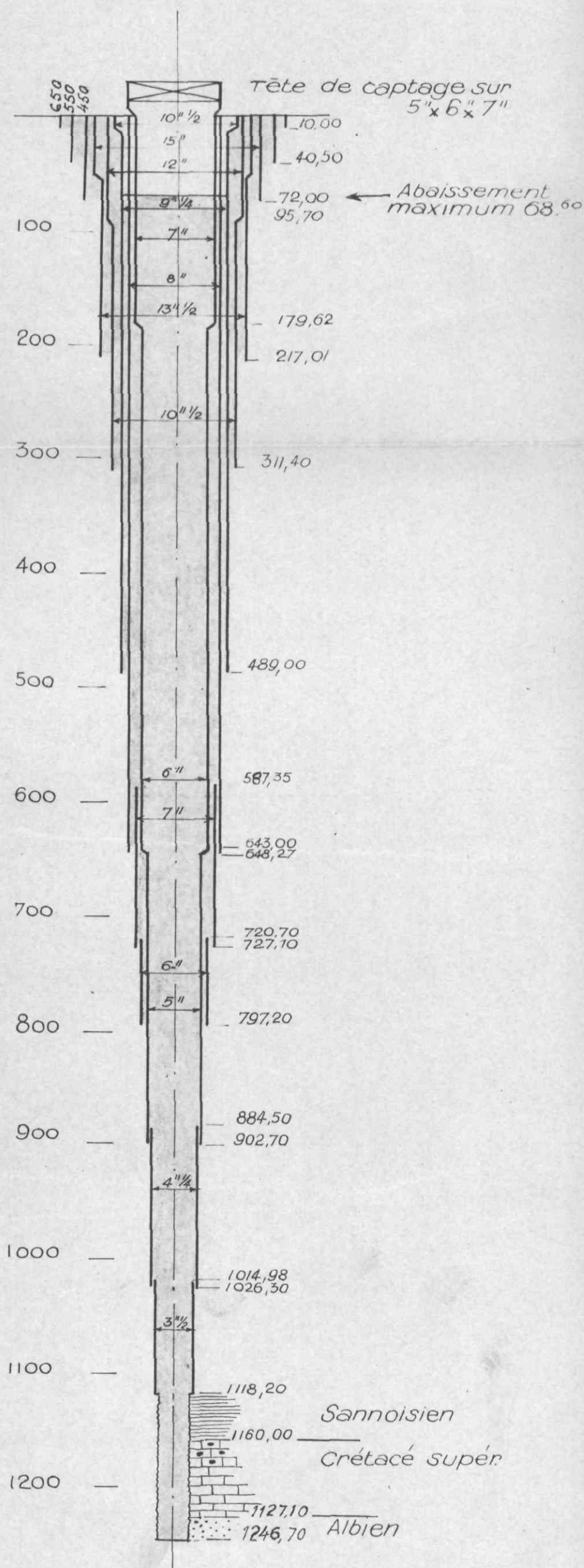
COUPE RÉGUL.	REMARQUES	PROFOND	DIAGRAMME DE RÉSISTIVITÉ - ohms. m ² .m.	DIAGRAMME DE POROSITÉ - millivolts
--------------	-----------	---------	---	------------------------------------



SONDAGE DE RATTE *Epuisements* A262 Pl. X

ESSAI 1 (2 Septembre 1946)

PLAN DU TUBAGE

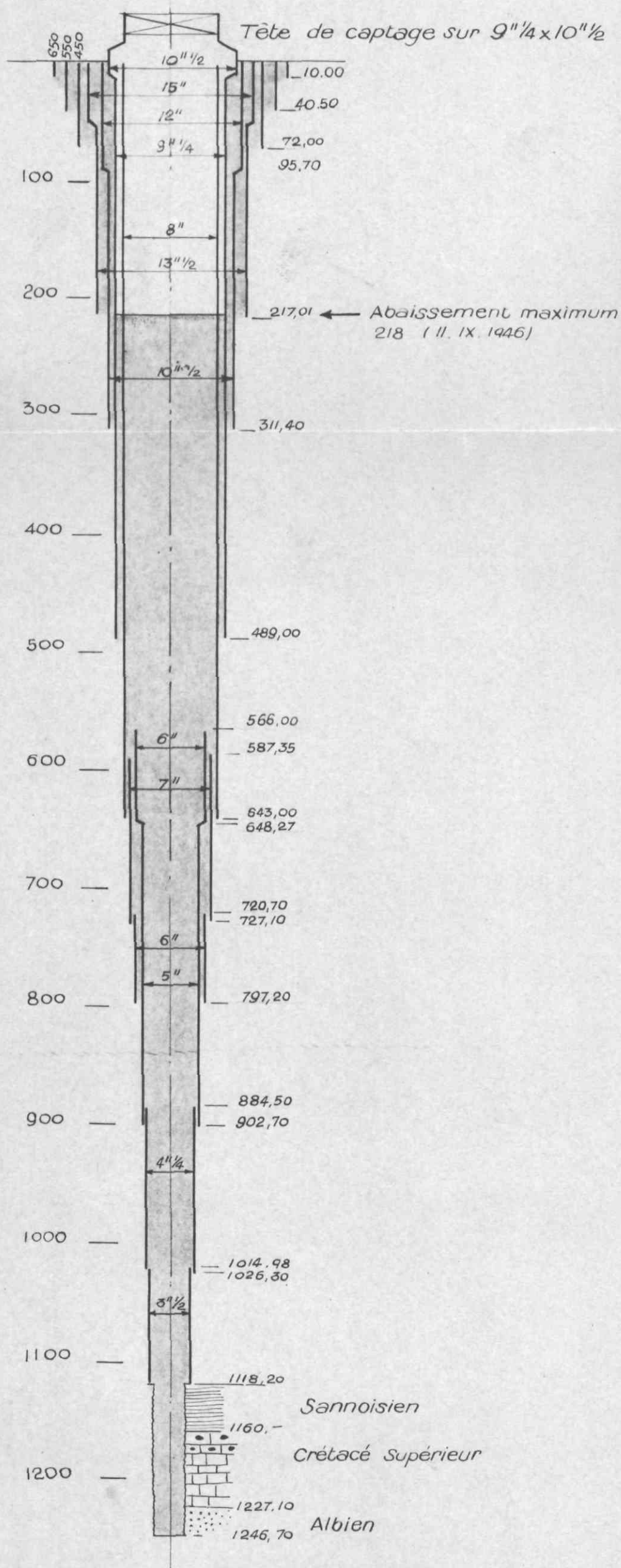


Ech. des prof.^{rs} 1/4000

Le 11-9-1951 B.R.G.G n° 1291 J.T

ESSAI 2 (9-11 Septembre 1946)

PLAN DU TUBAGE



Ech. des prof. $\frac{1}{4.000}$

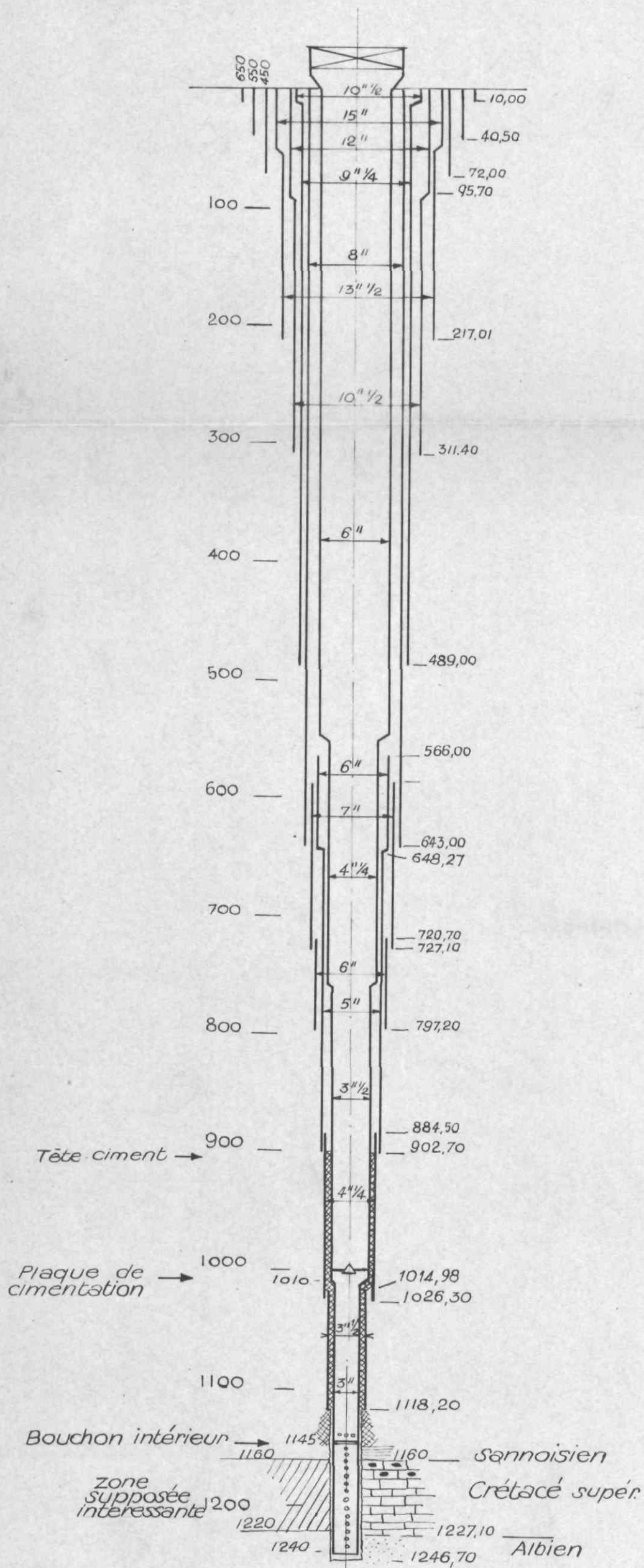
SONDAGE DE RATTE *Epuisements*

A 262 Pl.XII

Programme DARBOUX (R.A.P)

(17 et 23 Septembre 1946)

NON EXÉCUTÉ

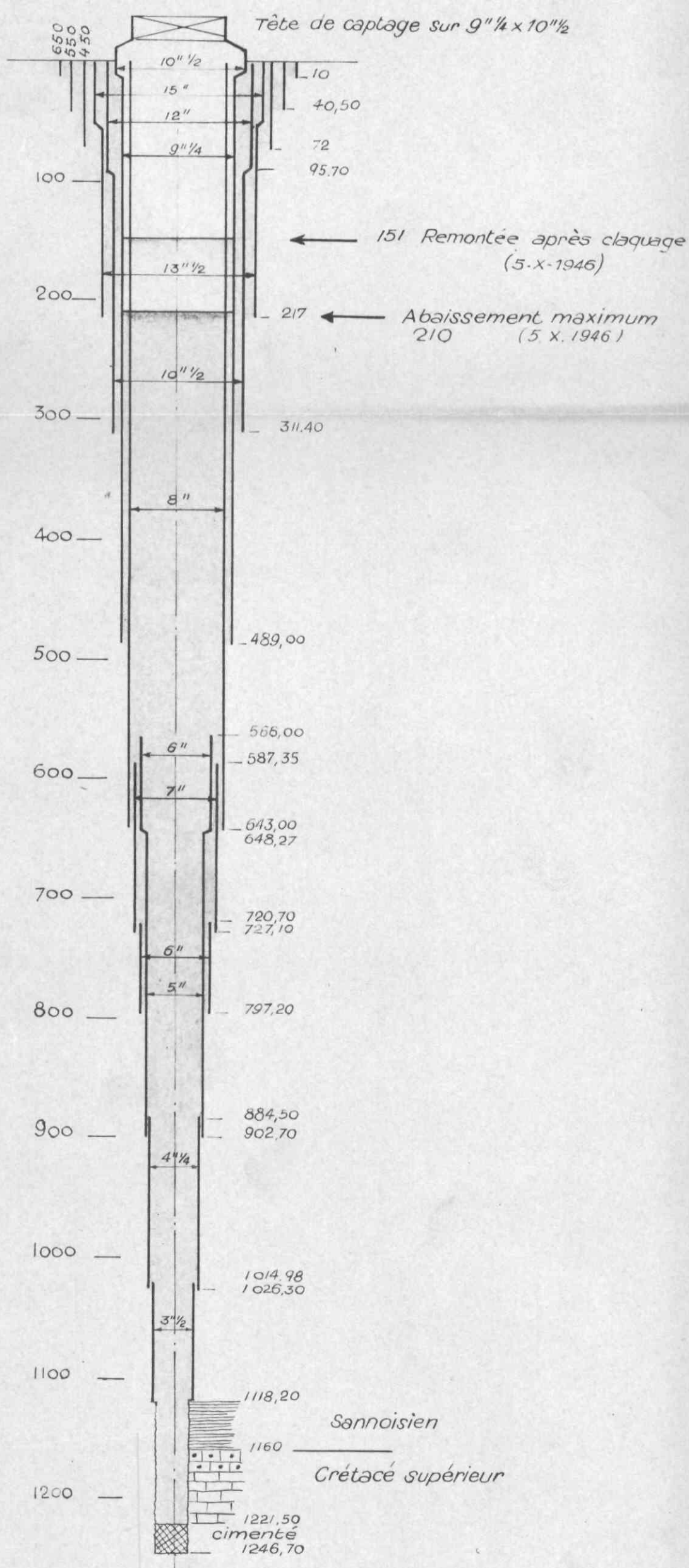


Ech. des prof.^{rs} 1/4.000

Le 11-9-1951 B.R.G.G n°1293 J.T

ESSAI 3 (3-5 Octobre 1946)

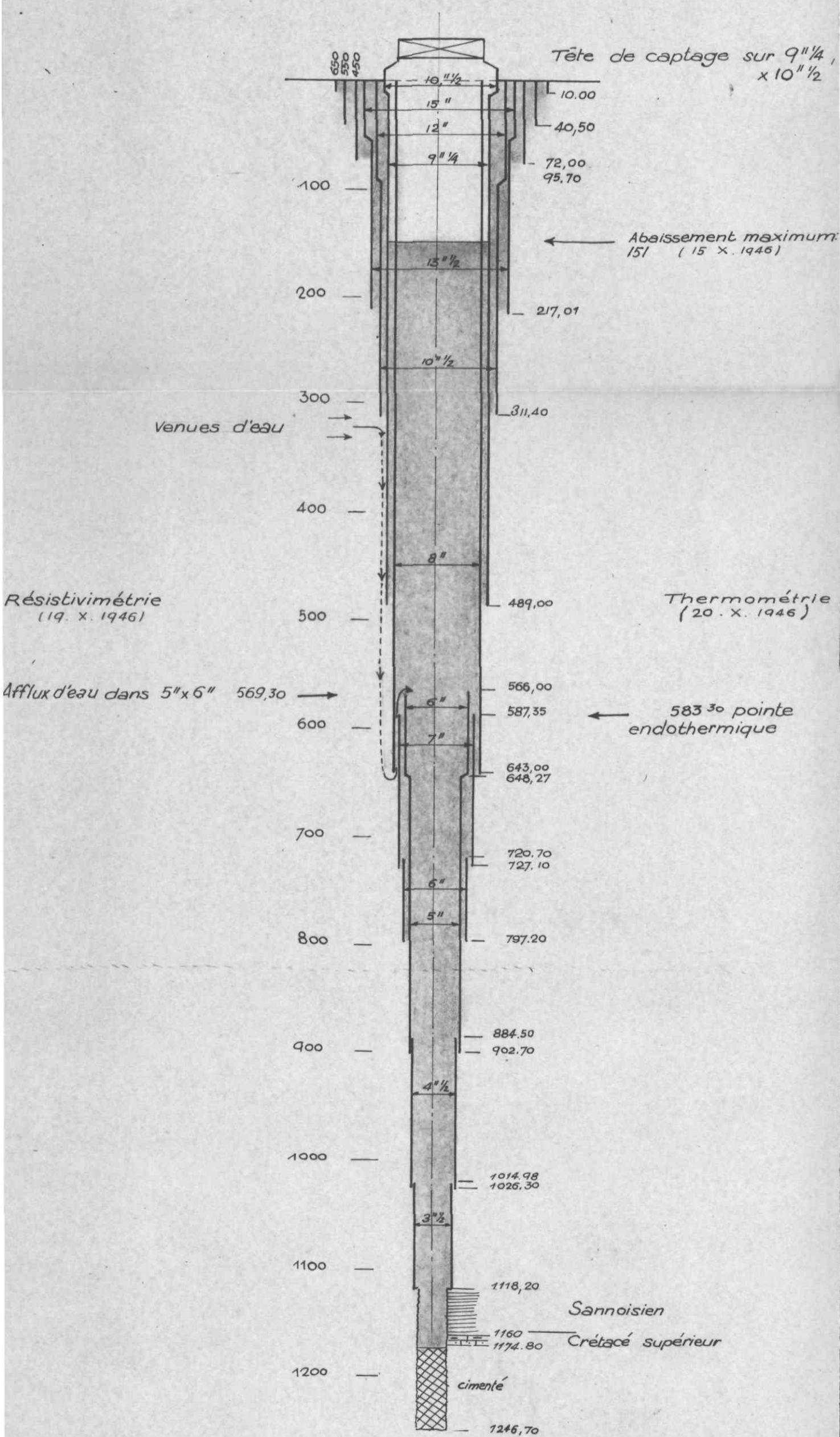
PLAN DU TUBAGE



SONDAGE DE RATTE *Epuisements* A 262 Pl.XIV.

ESSAI 4 (15 Octobre 1946) et mesures Schlumberger (19-20 Octobre 1946)

PLAN DU TUBAGE



Ech. des prof^{rs} 1/4.000

Le 11-9-1951 B.R.G.G n° 1295 J.T

DISPOSITIF

Résistivimètre
N°301

DIAGRAMMES ÉLECTRIQUES SCHLUMBERGER

COMPAGNIE Mines Domaniels

CHAMP : RATTE

SONDAGE : N°1

CAROTTAGE N°

DATE 19 octobre 1946

POSITION :

COTE : m.

PROBLÈME : Détermination d'une venue d'eau à l'intérieur d'une série de colonnes perdues.

RÉSULTATS :

Profondeur du tubage	Sondeur	m.	Carottage commencé à	h.
Profondeur du fond	Sondeur	m.	Carottage terminé à	h.
Profondeur atteinte par élect. inf.	1132	m.	Durée d'occupation du sondage	h.
Découvert max. mesuré (p ou P.S.)	1130	m.	Durée d'attente au sondage	h.
Découvert non mesuré		m.	Distance parcourue	k.
		m.	Durée d'immobilisation de l'équipe	h.

CARACTÉRISTIQUES DE LA BOUE

NATURE : Eau lourde VISCOSITÉ : NIVEAU : 0

DENSITÉ : 1,04 RESISTIVITÉ : ± 1,5 ohms2m. DIAMÈTRE DU TROU :

DÉTAILS SUR LA DESCENTE

Normalo avec un lest plomb de 20 Kgs. Accrochage du dispositif à la montee aux profondeurs de 556 m. et 591 m. filage.

MATÉRIEL

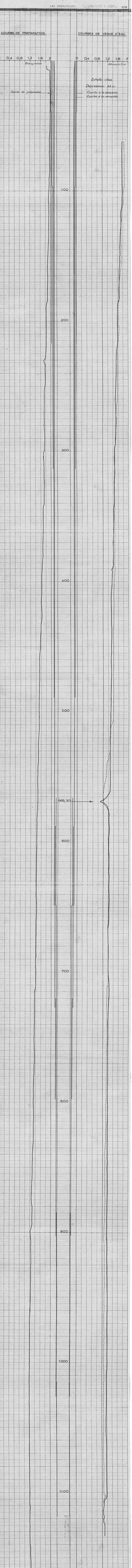
Lors de l'établissement des courbes suivantes, nous avons sur place arrangé un dispositif en cloche pour éviter les accrochages au niveau déterioré de la colonne.

REMARQUES ET INTERPRÉTATION

Une venue d'eau salée s'est manifestée à 569,3 mètres, le sommet de la colonne perdue étant à 566 m. d'après le sondeur, il y a eu probablement un arrachement de la colonne sur 3 mètres. Le premier épuisement à 4,5m,5 n'ayant pas permis le débit de l'eau de la venue, un second épuisement fut fait à 63 m.

LES OPERATEURS : G. DELAUNAY & AUGER. 5079

COURBE DE PREPARATION COURBES DE VENUE D'EAU



DISPOSITIF

Thermomètre
n° 581
à pile
extérieure.

DIAGRAMMES ÉLECTRIQUES SCHLUMBERGER

CAROTTAGE N°

COMPAGNIE : MINES DOMANIALES DATE : 20 Octobre 1946

CHAMP : RATTE

POSITION :

SONDAGE : 581

COTE : m.

PROBLÈME : La venue d'eau déterminée à l'intérieur des colonnes
devait être située derrière celle-ci.

RÉSULTATS : Un point froid caractéristique d'une arrivée d'eau mélangée
de gaz s'est manifestée à 583,5 mètres.

Profondeur du tubage	Sondeur :	m.	Carottage commencé à	: 10h,30	h.
Profondeur du fond	Schlumberger :	m.	Carottage terminé à	: 17h,45	h.
Profondeur atteinte par élect. inf.	Sondeur :	m.	Durée d'occupation du sondage	:	h.
Découvert max. mesuré (p ou P.S.)	: 1005	m.	Durée d'attente au sondage	:	h.
Découvert non mesuré	: 270	m.	Distance parcourue	:	k.
		m.	Durée d'immobilisation de l'équipe	:	h.

CARACTÉRISTIQUES DE LA BOUE

NATURE : Eau lourde

VISCOSITÉ :

NIVEAU :

DENSITÉ : 1,01

RÉSISTIVITÉ :

DIAMÈTRE DU TROU :

DÉTAILS SUR
LA DESCENTE

Normale avec un lest plomb de 20 Kg. au-dessous du
thermomètre.

MATÉRIEL

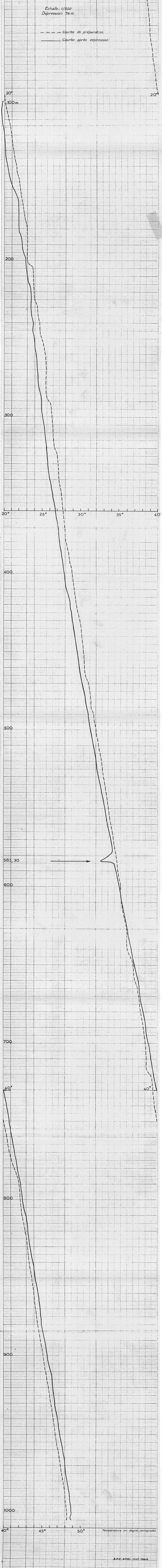
Le faible diamètre de la dernière colonne n'a pas permis
l'emploi d'un lest au-dessus du thermomètre.

REMARQUES
ET
INTERPRÉTATION

La mesure a donc eu lieu avec un lest au-dessous dont
l'effet perturbateur était un léger trainage de frigories
emmagasinées lors de la descente.

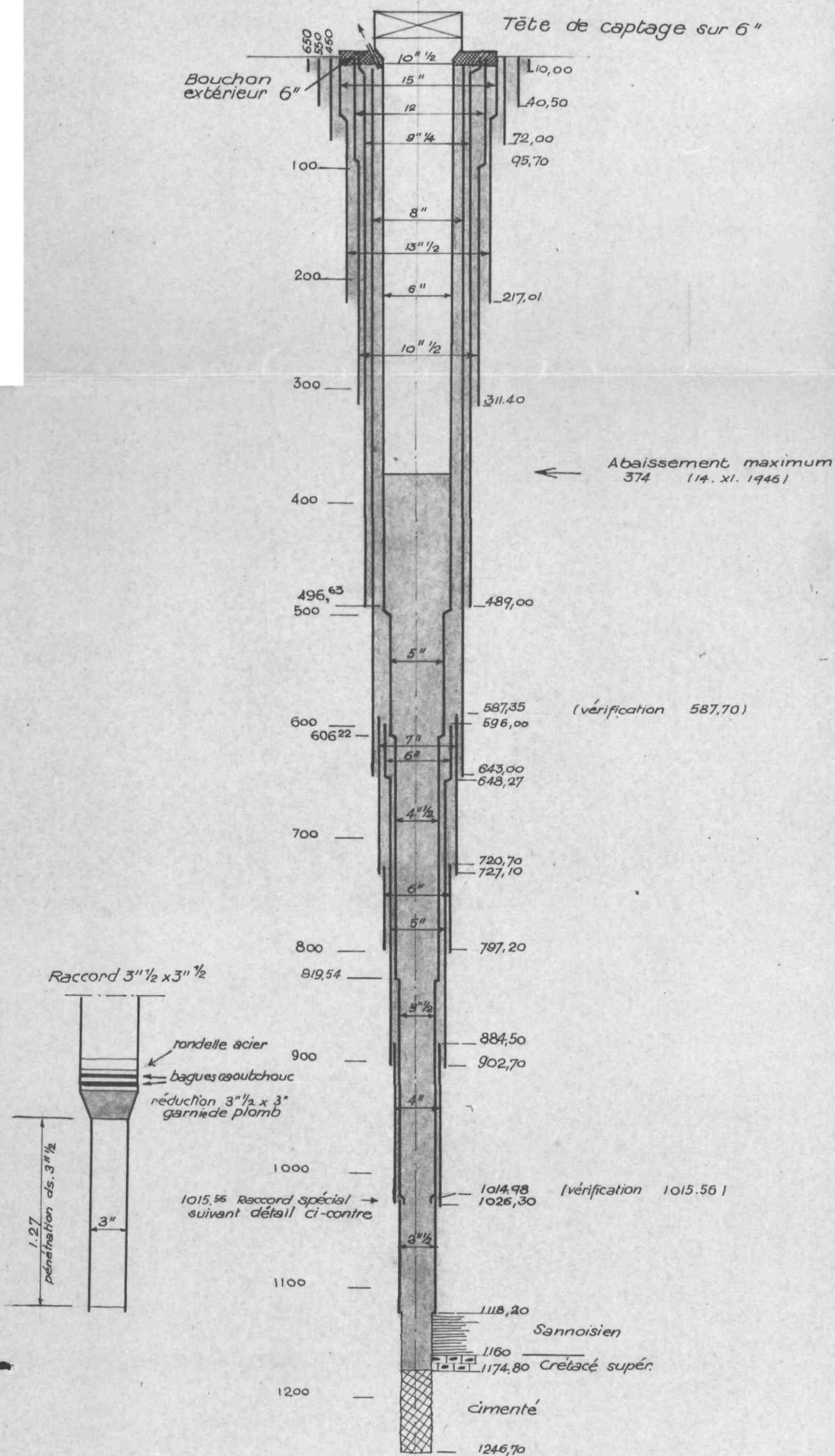
LES OPÉRATEURS : C. LAMOTTE & AUCHE

5081



ESSAI 5 (12-15 Novembre 1946)

PLAN DU TUBAGE



Ech. des prof. 1/4.000

Le 11-9-1951 B.R.G.G n° 1296 J.T

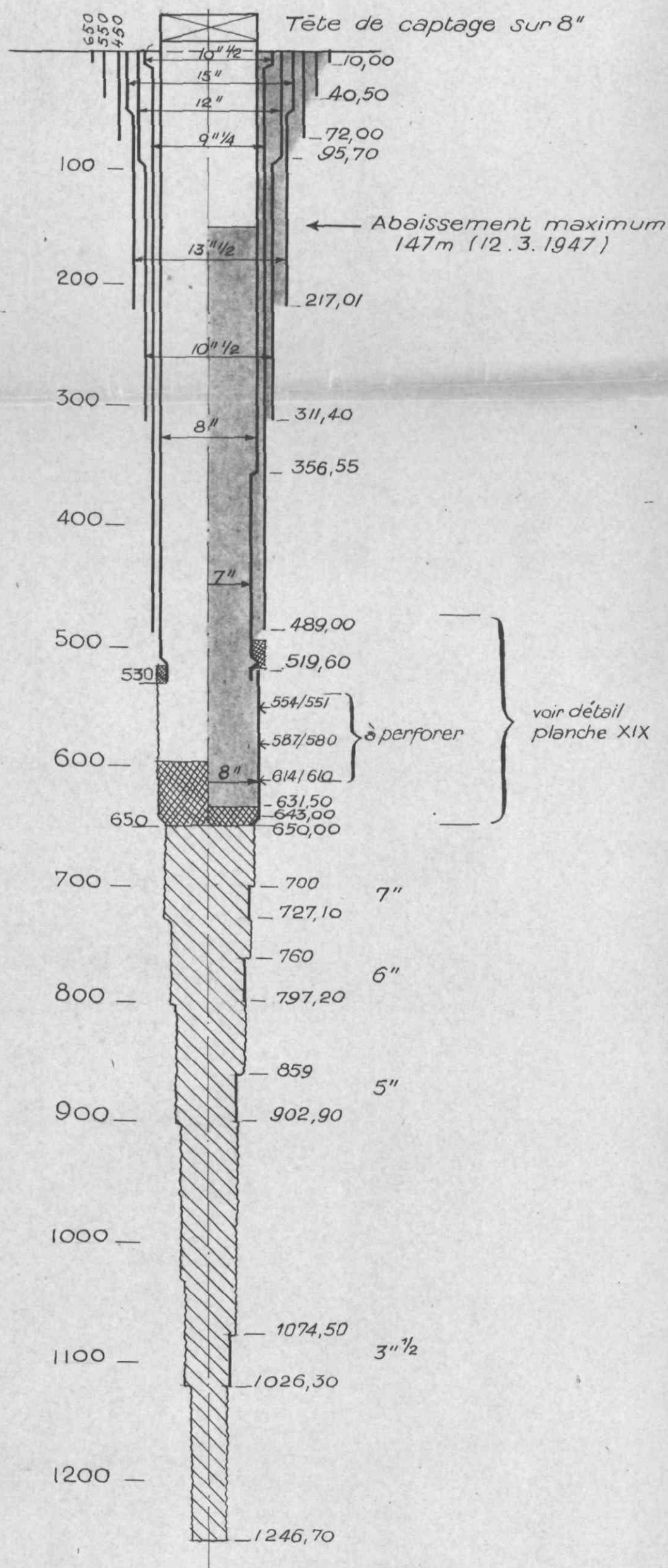
ESSAI 6 (10-13 Mars 1947)

PLAN DU TUBAGE

Premier programme
(7-1-1947)

Ensemble

Deuxième programme
(18-2-1947)



SONDAGE DE RATTE *Epuisements* A 262 Pl.XIX

ESSAI 6 (10-13 Mars 1947)

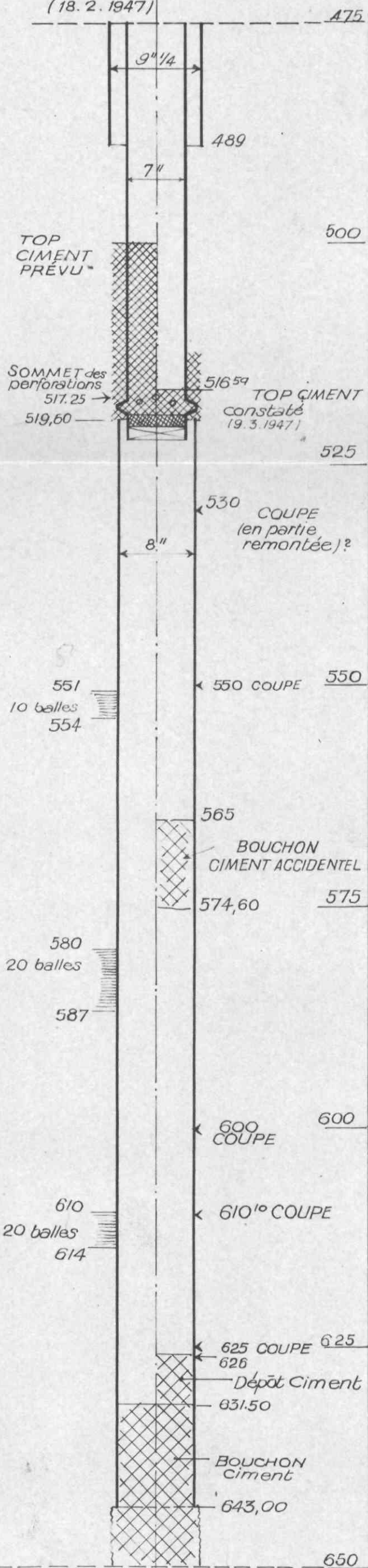
PLAN DU TUBAGE

Détails

A Détail de la zone à étudier

2^{me} programme
(18. 2. 1947)

Exécution

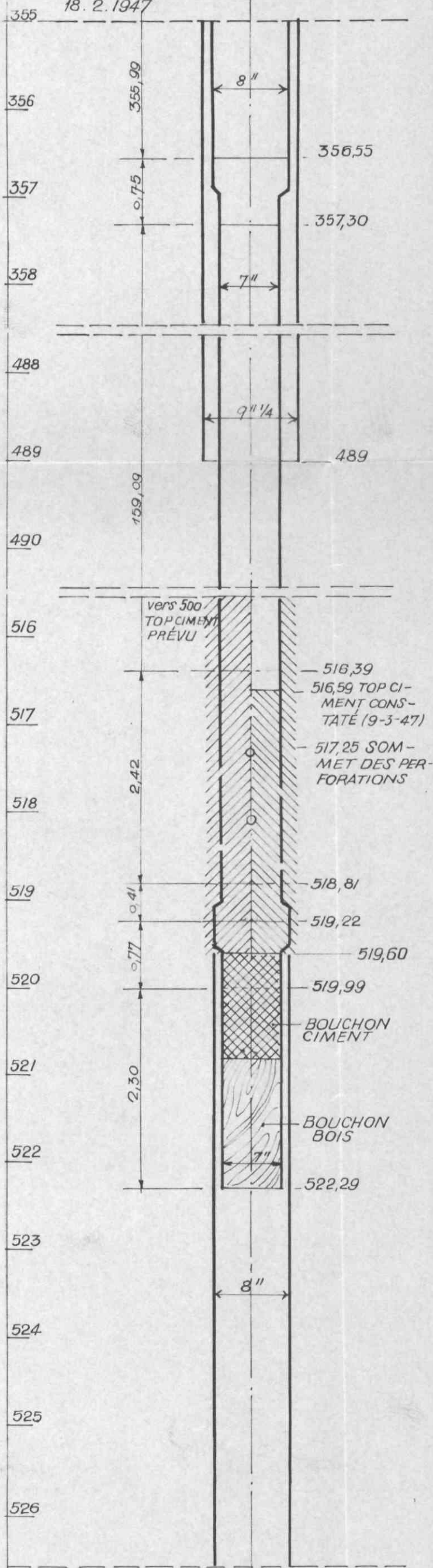


ECHELLE DES PROFONDEURS 1/500

B Détail de la colonne 8"

Deuxième programme
18. 2. 1947

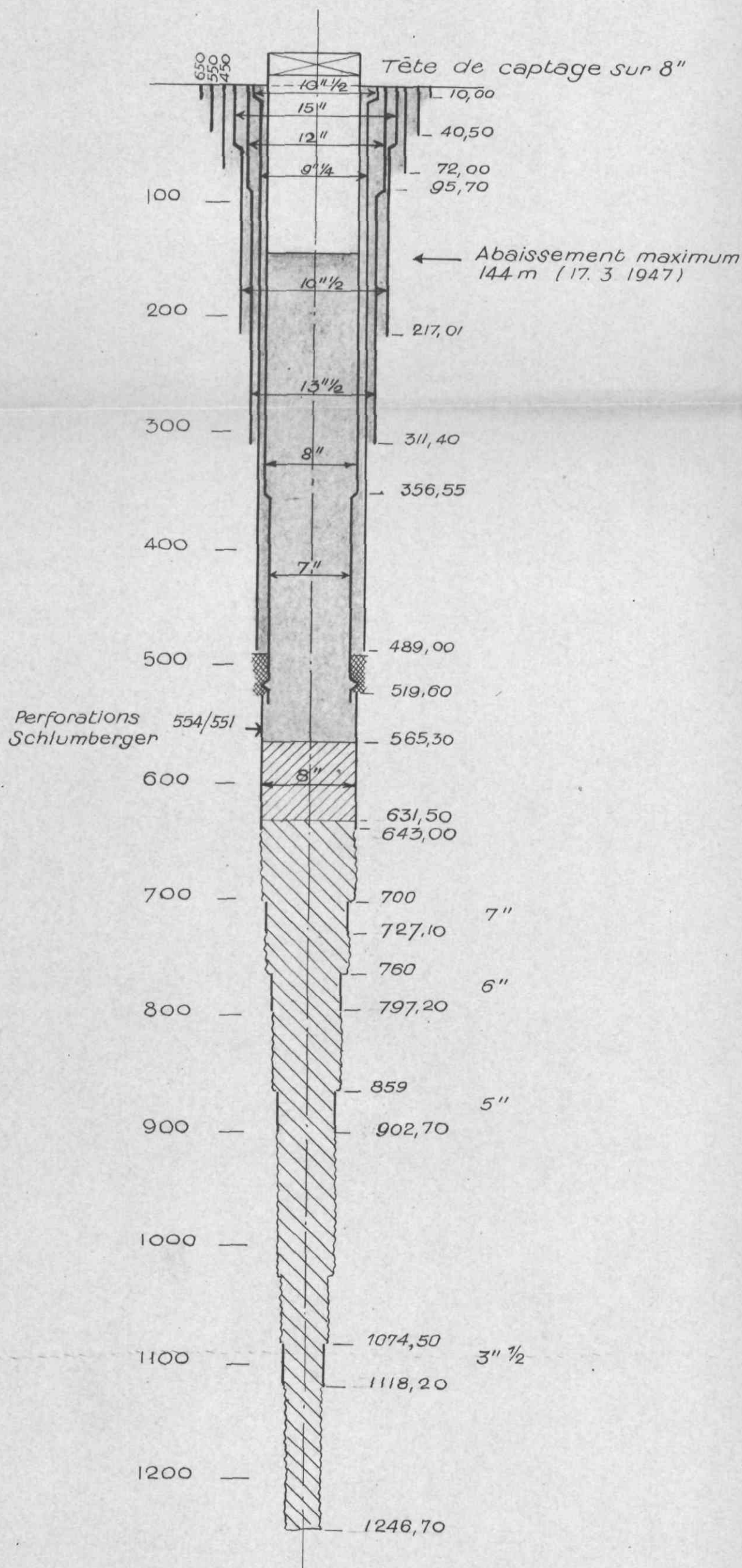
Exécution



ECHELLE DES PROFONDEURS 1/50

ESSAI 7 (17-18 Mars 1947)

PLAN DU TUBAGE



Ech. des profs 1/4.000

SONDAGE DE RATTE - Épuisements.

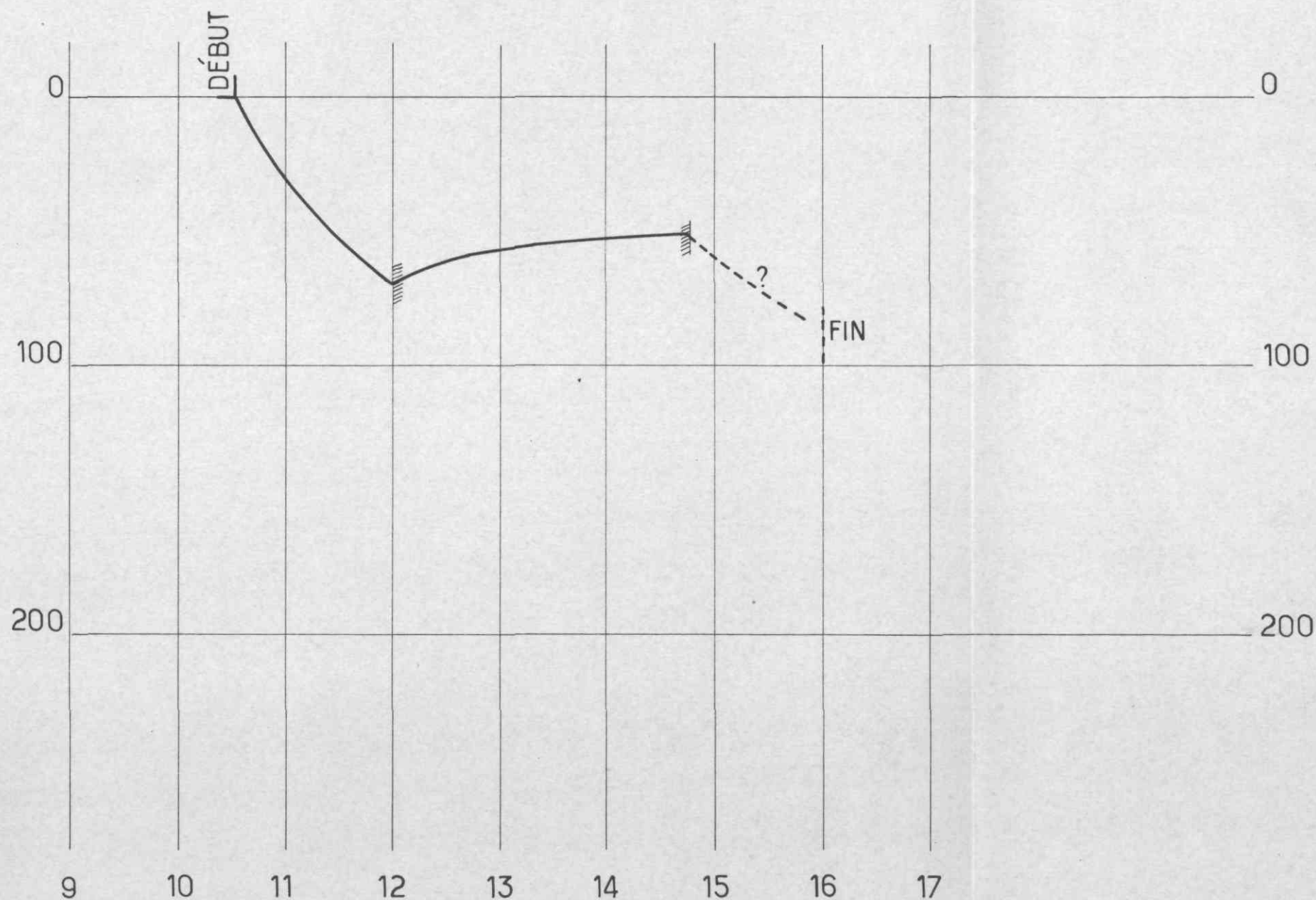
A 262 Planche XXI

ESSAI 1

Epuisement du 2 Sept. 1946

Arrêt 

Niveaux 313 + 1163



ESSAI 2

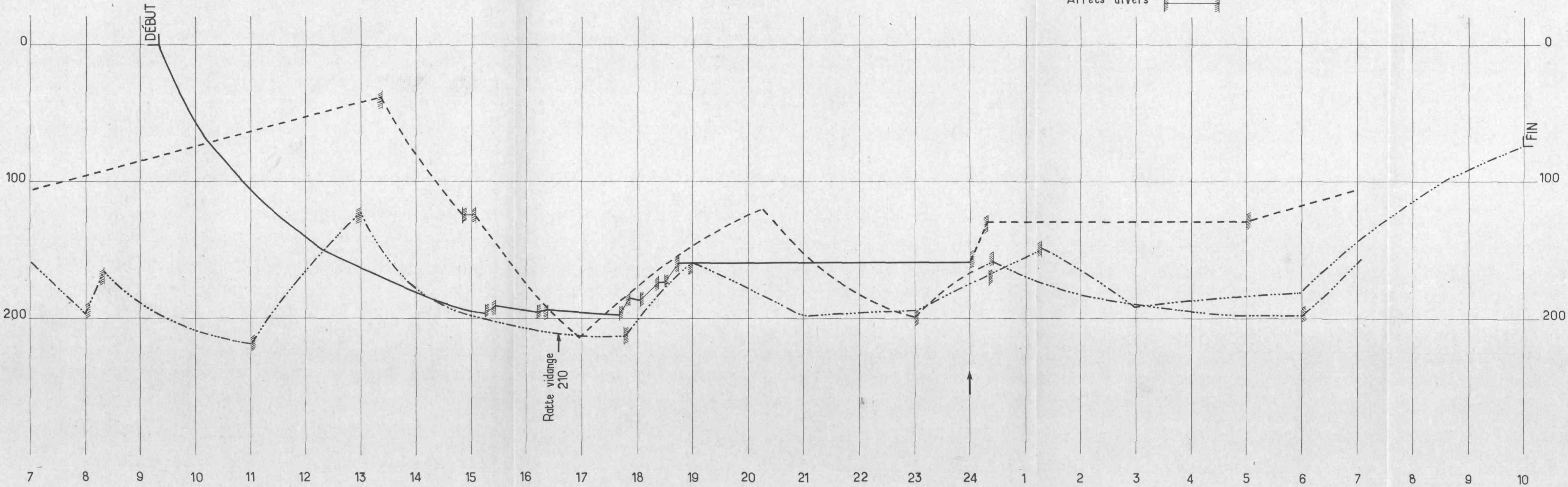
Épuisements des 9 Sept. 1946 — de 7 à 7 h.

10 Sept. 1946 - - - - -

11 et 12 Sept. 1946

Arrêts divers ||—||

Niveaux 313 + 1163



ESSAI 3

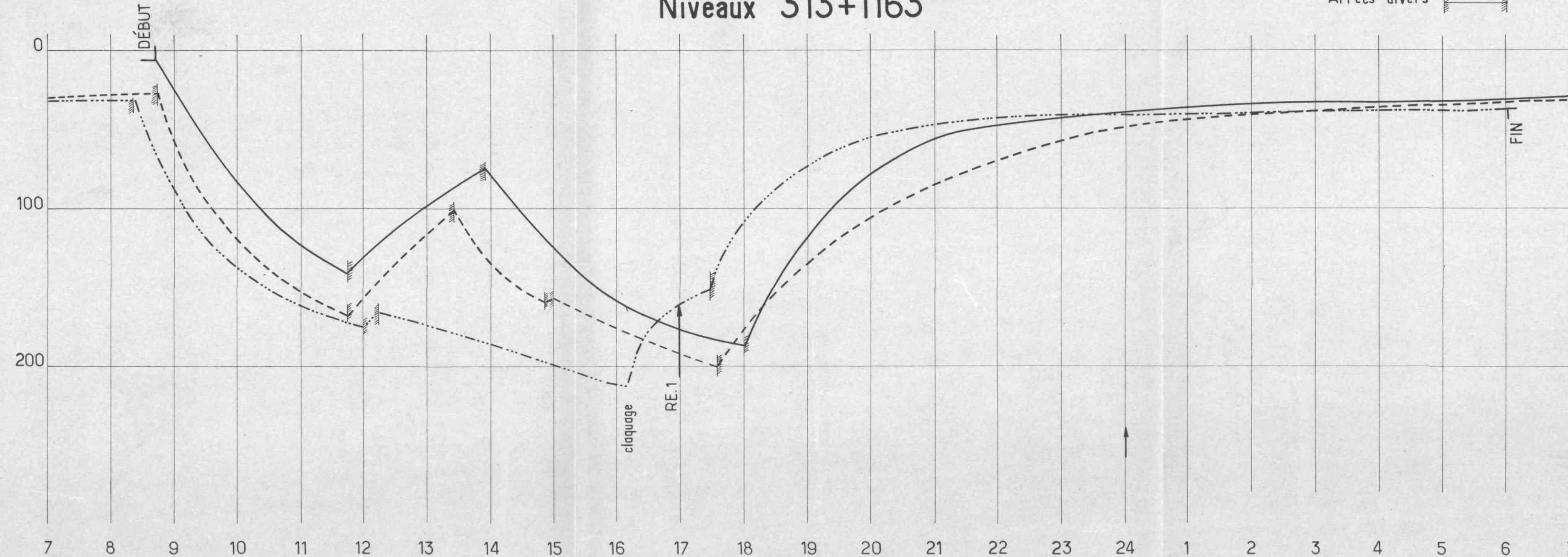
Épuisements des 3 Oct. 1946 — de 7 à 7^h.

4 Oct. 1946 - - - - -

5 et 6 Oct. 1946

Arrêts divers |||

Niveaux 313+1163



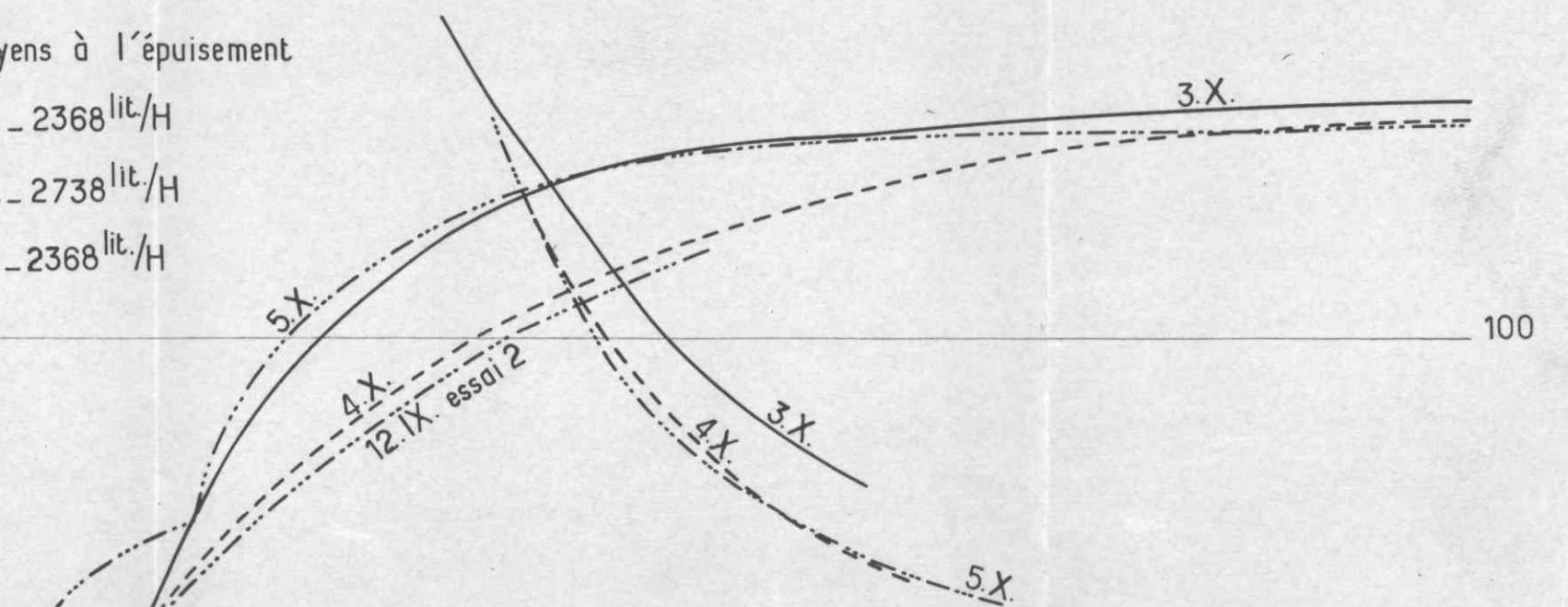
Débits moyens à l'épuisement

3.X. _ 2368 lit./H

4.X. _ 2738 lit./H

5.X. _ 2368 lit./H

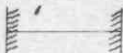
Comparaison des courbes

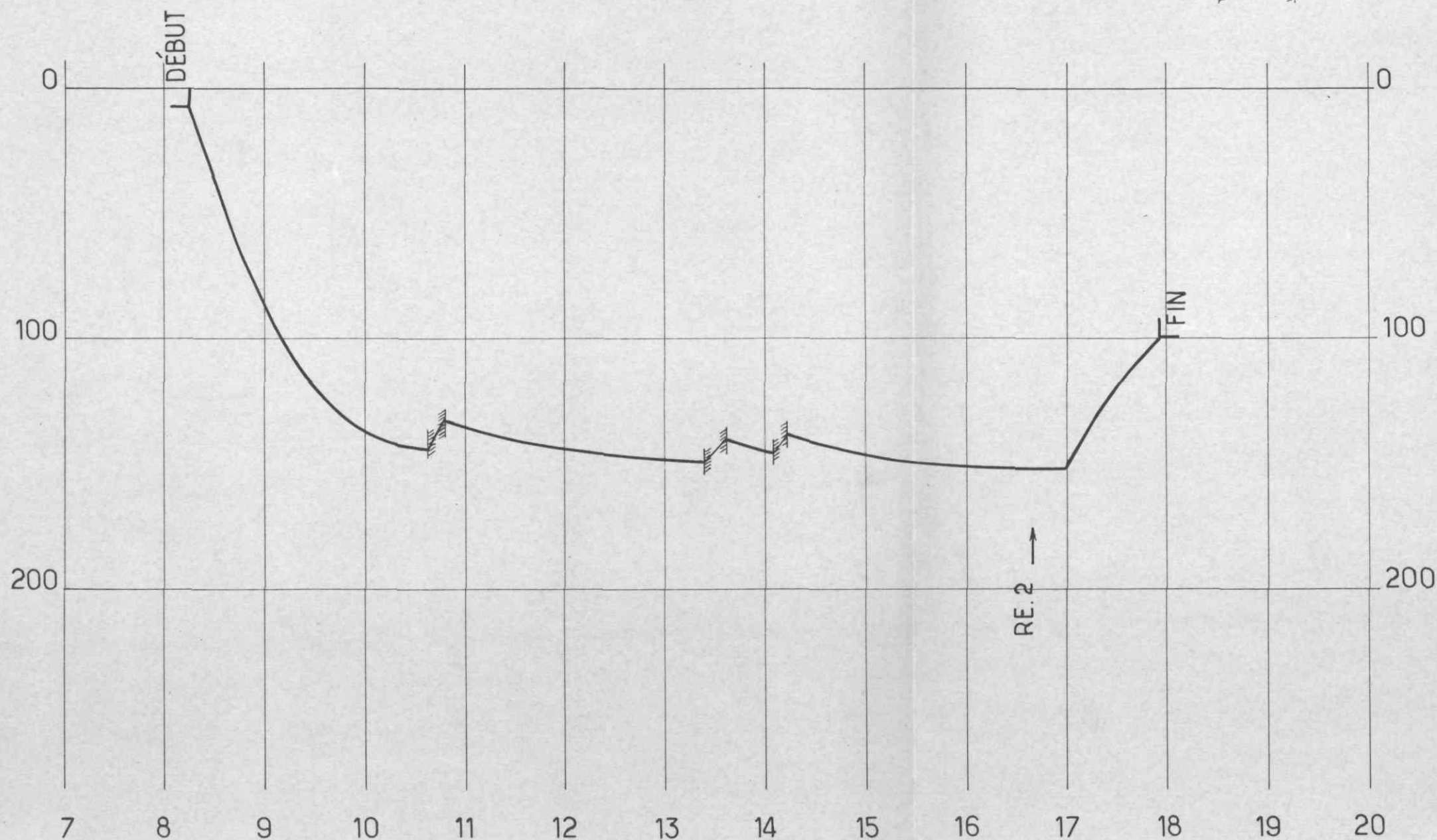


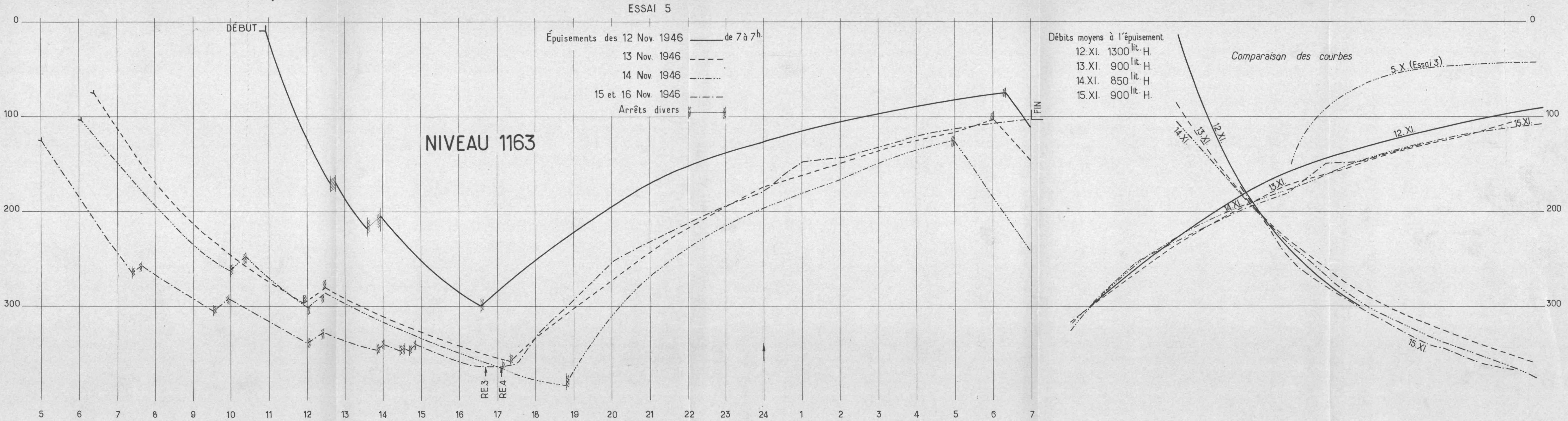
Niveaux 313+1163

ESSAI 4

Épuisement du 15 Oct. 1946

Arrêts divers 





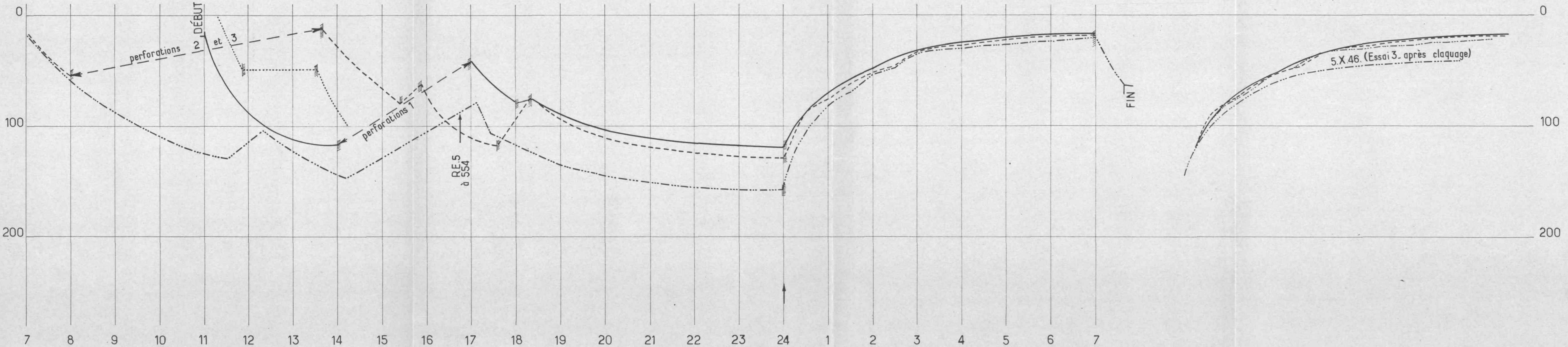
ESSAI 6

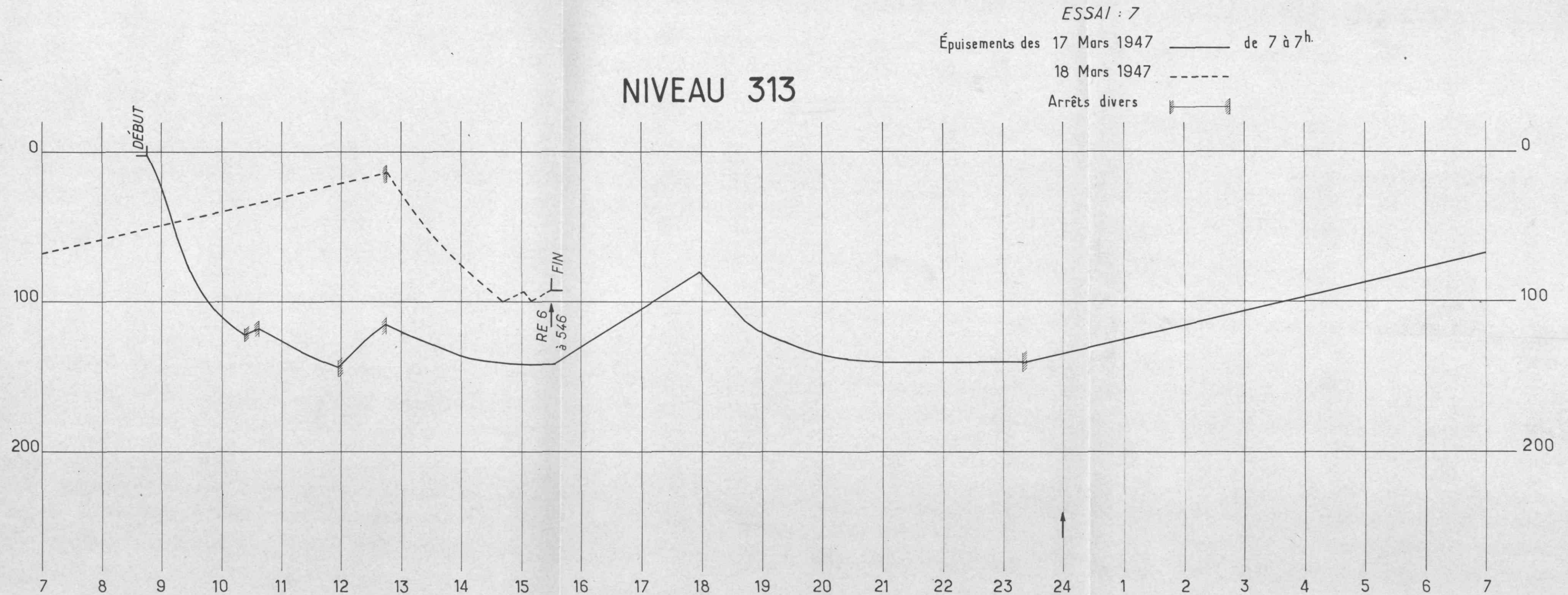
- Épuisements des 10 Mars 1947 ———
- 11 Mars 1947 - - - - -
- 12 et 13 Mars 1947 - - - - -
- Arrêts divers |||||

Épuisement du 4 Mars 1947
(cimentation)

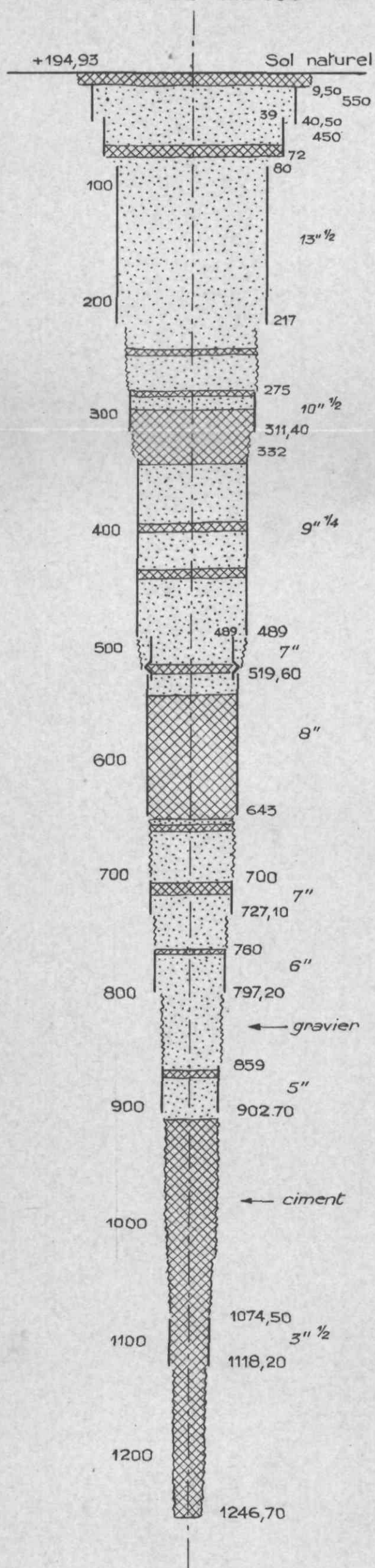
NIVEAU 313

Comparaison des courbes





PLAN DE REBOUCHAGE



7 Juillet 1947.

SONDAGE de RATTE - ÉPUISEMENTS

TABEAU RÉCAPITULATIF des CARACTÉRISTIQUES des ESSAIS D'ÉPUISEMENT

A.262 - Planche XXIX.

Essai n°	Date	Découvert		Niveau épuisé	Colonne d' épuisement		H O R A I R E					Soupape utili- -sée.		Nombre de soupapes	Volume extrait en litres	Cadence moyenne		Abais- sement max.	Total par essai en litres	OBSERVATIONS
		de	à		diam.	vol. en lit./m	de	niveau	à	niveau	durée	diam.	vol. en lit.			en soup/H	en lit./H.			
1	2.IX.46	1118.20	1246.70	313+1163	7"	21.9	10.30	0 + (1)	16.00	-	5.30	4" 1/4	55	59	3.245	17	935	68.60	3.245	(1) Ecoulement artésien 100lit/h
2	9.IX.46	1118.20	1246.70	313+1163	8"	28.65	9.20	0 + (2)	18.31	176	9.11	4" 1/4	55	240	13.200	26	1.430	197		(2) Ecoulement artésien 12lit/h
	"	"	"	"	"	"	18.45	160	24.00	160	5.15	"	"	150	8.250	28	1.540	160		
	10.IX.46	"	"	"	"	"	0.20	130	5.00	130	4.40	"	"	113	6.215	24	1.320	130		
	"	"	"	"	"	"	11.20	-	11.30	55	0.10	"	"	4	220	-	-	-		Repérage du niveau
	"	"	"	"	"	"	13.24	40	17.15	214	3.51	6" 1/4	108	75	8.100	19	2.052	214		
	"	"	"	"	"	"	20.15	120	23.00	198	2.45	4" 1/4	78	90	7.020	32	2.496	198		
	11.IX.46	"	"	"	"	"	0.20	159	6.00	198	5.40	"	"	155	12.090	27	2.106	198		
	"	"	"	"	"	"	7.00	159	8.00	195	1.00	"	"	26	2.028	26	2.028	195		
	"	"	"	"	"	"	8.20	168	11.02	218	2.42	"	"	70	5.460	26	2.028	218		
	"	"	"	"	"	"	13.00	125	17.46	215	4.46	"	"	128	9.984	27	2.106	215		
	"	"	"	"	"	"	19.00	159	0.20	170	5.20	"	"	155	12.090	29	2.262	198		
	12.IX.46	"	"	"	"	"	1.20	148	6.00	180	4.40	"	"	140	10.920	30	2.340	190	95.577	
3	3. X.46	1118.20	1221.50	313+1163	8"	28.65	8.43	6	11.45	143	3.02	6"	74	95	7.030	32	2.368	143		
	"	"	"	"	"	"	13.55	75	18.03	187	4.08	"	"	128	9.472	31	2.294	187		
	4. X.46	"	"	"	"	"	8.43	27.50	11.45	170	3.02	"	"	111	8.214	37	2.738	170		
	"	"	"	"	"	"	13.26	103	17.37	200	4.11	"	"	130	9.620	31	2.294	200		
	5. X.46	"	"	"	"	"	8.23	31,50	17.30	151(3)	9.07	"	"	293	21.682	32	2.368	210	56.018	(3) A la suite du claquage
4	15. X.46	1118.20	1174.80	313+1163	8"	28.65	8.13	8	17.00	151	8.47	6"	74	320	23.680	37	2.738	151.50	23.680	
nouvelle colonne	9.XI.46	essai d'étanchéité		1163	6"	15.61			12.19	60.93		3" 1/2	37	27	999			60.93	999	Colonne spéciale
5	12.XI.46	1118.20	1174.80	1163	6"	15.61	10.56	9.85(4)	16.34	300	5.38	3" 1/2	50	141	7.050	26	1.300	300		(4) Ecoulement artésien par l'espace annulaire 11 litres/h.
	13.XI.46	"	"	"	"	"	6.30	83	17.21	358	10.51	"	"	201	10.050	18	900	358		
	14.XI.46	"	"	"	"	"	6.00	104	18.50	374+	12.50	"	"	223	11.150	17	850	374		
	15.XI.46	"	"	"	"	"	5.00	126	17.05	365	12.05	"	"	214	10.700	18	900	365	38.950	
cimentation	4.III.47	essai d'étanchéité		-	8"	28.65	11.18	0.30	14.15	100.20	1.16	4" 1/4	58	50	2.900	39	2.262	100.20	2.900	(5) Arrêt-repas déduit
6	10.III.47	fenêtres d'injection		313(6)	8"	28.65	11.00	20	14.00	117	3.00	4" 1/4	58	93	5.394	31	1.798	117		(6) Fond rebouché. Nouvelle colonne cimentée
	"	id. + 23 perforations		"	"	"	17.00	42	18.00	80	1.00	"	"	19	1.102	19	1.102	80		
	"	"		"	"	"	18.20	76	24.00	119	5.40	"	"	170	9.860	30	1.742	119		
	11.III.47	id. + 52 perforations		"	"	"	7.00	16	8.00	55	1.00	"	"	18	1.044	18	1.044	55		
	"	"		"	"	"	13.40	12	24.00	129	10.20	"	"	318	18.444	30	1.742	129		
	12.III.47	"		"	"	"	7.00	17.50	24.00	145	17.00	5"	88	416	36.608	24	2.172	147		
	13.III.47	"		"	"	"	7.00	20	7.40	63	0.40	"	"	20	1.760	30	2.640	63	74.212	
7	17.III.47	id. + 11 perfon sup. es		313	8"	28.65	8.45	3	11.57	144	3.12	5"	88	105	9.240	33	2.904	144		
	"	"		"	"	"	12.45	116	15.33	142	2.48	"	"	81	7.128	28	2.464	142		
	"	"		"	"	"	15.33	142	17.57	80	2.24	"	"	8	704	3(7)	174	-		(7) Epuisement affond
	"	"		"	"	"	17.57	80	23.20	141	5.23	"	"	175	15.400	32	2.816	141		
	18.III.47	"		"	"	"	12.46	14	15.30	-	2.44	4" 1/4	58	94	5.452	34	1.972	100	37.924	

Total général...333.505

Remarque : Pour chaque
essai le niveau au
départ est souligné .

- A. BONTE -

Sondage de Ratte (S. & L.)
Les essais d'épuisements 1946-1947.

Octobre 1951

SONDAGE DE RATTE (Saône et Loire)

LES ESSAIS D'ÉPUISEMENT (1946-1947)

INTRODUCTION.-

Les sondages de Ratte et de Vincelles (Saône et Loire) ont apporté sur la composition du fossé bressan des résultats géologiques très importants (nature du socle antéoligocène, accroissement considérable d'épaisseur des formations d'Ouest en Est, présence d'un Sannoisien laguno-saumâtre et d'un Miocène marin) qui ont fait l'objet d'un rapport préliminaire par MM. E. Friedel, J. Goguel et L. Guillaume (Rapport B.R.G.G. A.106, Février 1947).

Du point de vue pratique, ils ont donné des indices de gaz à odeur d'hydrogène sulfuré. A Vincelles, ces indices, très fugaces, ont été signalés à 288 et 302 m. et n'ont fourni matière à aucune constatation intéressante. Par contre, à Ratte, ces indices ont été beaucoup plus sérieux et se sont manifestés de diverses manières; ils ont justifié toute une série d'essais pour tenter de provoquer le dégagement des gaz. Ces opérations ont été considérablement gênées du fait de la guerre et de la période troublée qui a suivie : pénurie de charbon, difficulté des transports ... ; de plus, les colonnes de protection n'ayant pas été cimentées, et étant parfois usées par la rotation des manchons, les épuisements tentés en fin de sondage n'ont pas été effectués sur des niveaux indépendants. Il en résulte une certaine indétermination dans l'interprétation des résultats de ces essais. Néanmoins, quelques faits positifs demeurent acquis et le but du présent rapport est de les exposer en détail, en précisant les conditions particulières de chacune des opérations.

Dans une première partie, je rappellerai les données relatives au forage lui-même : coupe géologique sommaire, constitution du tubage, observations sur les niveaux aquifères, indices de gaz, carottages électriques; les essais d'épuisement proprement dits feront l'objet de la deuxième partie; et j'essaierai, pour terminer, d'en tirer quelques conclusions pratiques aussi précises que possible.

Les documents utilisés pour la rédaction du présent rapport émanent du dossier conservé aux archives du B.R.G.G. et qui renferme, outre la correspondance et les notes techniques, les anciens rapports mensuels et hebdomadaires de M. Maïkovsky jusqu'à son retour à Mulhouse après la Libération. J'ai eu également en mains des notes prises par M. Guillaume au cours du forage. Mais j'ai surtout tiré profit, étant donné l'objet du présent rapport, du dossier de M. Lopard, contenant notamment tous les doubles de ses Comptes-rendus bimensuels à M. Maïkovsky, ces documents venant confirmer ou compléter utilement les notes et croquis relevés par mes soins au cours des essais et accumulés dans mon dossier personnel.

1ère PARTIE

Données générales relatives au sondage

I - Généralités.-

Le sondage de Ratte, entrepris par les Mines Domaniales de Potasse d'Alsace pour le compte du B.R.G.G., a été confié à la Société Nouvelle de Sondages " Bonne-Espérance " sous la direction de M. Beaulaton, Ingénieur principal, et sous la conduite du chef-sondeur Kopf. Il a été exécuté en fait sur le territoire de la commune du Fay, en face de la station de l'ancien chemin de fer départemental Pont-Rouge- Le Fay (coordonnées Lambert zone II $x = 831,00$; $y = 187,17$; altitude : 194.93)

Commencé le 22 Septembre 1941, il a atteint le 21 Juin 1946 le socle anté-oligocène constitué par des calcaires blancs durs à silex, puis par des calcaires sans silex. L'étude des lames minces, faite en collaboration avec M. A. Debourle, a révélé l'existence de nombreux foraminifères (*Lagena* et *Rosalines* douteuses) et a montré qu'il s'agissait de Crétacé supérieur (Sénonien-Turonien, comme à Vincelles) permettant d'annoncer le Crétacé inférieur à brève échéance.

Effectivement, le 9 Août 1946, à la profondeur 1227.10 la sonde entrait dans les grès verts albiens à Ammonites phosphatées (*Inflatoceras* à 1235, det. J.P. Deslombes).

Une rupture de tige à 1246.70 survenue le 13 Août 1946 décida de l'arrêt, le sondage toujours dans l'Albien ayant rempli son but.

II - Coupe géologique sommaire (Planches I et II, partie droite)

L'étude géologique détaillée des sondages de Vincelles et de Ratte a été entreprise par Mme A. Lefavrais, Ingénieur-géologue au B.R.G.G. Interrompue malencontreusement pour des raisons de santé, elle n'a pu encore être publiée. C'est pourquoi je donnerai en commençant les indications essentielles quoique très incomplètes, relatives au sondage de Ratte.

L'étude des carottes du sondage de Ratte a été effectuée au fur et à mesure de l'avancement et au moins jusqu'à la Libération, par M. V. Mařkovsky, actuellement chef du Service géologique des M.D.P.A. et replié alors en France-Comté; et de façon plus ou moins continue par M. L. Guillaume, Géologue en Chef au B.R.G.G., jusqu'à la profondeur de 1148.80 . Appelé en 1946,

à m'occuper des sondages de la Bresse et du Jura, j'ai suivi les travaux jusqu'à la fin du sondage en collaboration pour la partie technique avec M. Ch. Lopard, Ingénieur principal chargé des sondages aux M.D.P.A. et détaché, à l'époque, dans le Jura.

Le débitage définitif et l'échantillonnage ont été l'oeuvre de Mme Lefavrais, qui a extrait des carottes des éléments extrêmement précieux dont elle a assumé l'étude.

La coupe provisoire qui figure à la fin du présent rapport a été dressée en Octobre 1946 d'après ses premières déterminations et complétée en certains points par la coupe de M. Guillaume (rapport B.R.G.G. A. 106, Février 1947) dont elle diffère légèrement. Elle est encore susceptible d'être améliorée et précisée.

Les différences, pratiquement sans importance, existant entre les deux coupes, portent souvent sur des cotes et proviennent de déficiences dans le mode d'emmagasinage des carottes. J'ai systématiquement adopté les cotes de Mme Lefavrais qui sont celles de l'échantillonnage définitif, et, par conséquent, les seules auxquelles on puisse se référer dorénavant.

La coupe géologique dressée à l'échelle du 1/4.000 facilitera par la suite l'interprétation des diagrammes électriques et des essais d'épuisement. En voici les points essentiels :

Sous 10 m. d'alluvions (0 à 10) les marnes pliocènes de la Bresse ont été recoupées sur 251 m. d'épaisseur (10 à 261) surmontant 15 m. de molasse marine représentant le Miocène (261 à 276).

Puis vient l'Oligocène (276 à 1160 m. = 884 m.) qui débute par 24 m. (276 à 300 m.) de conglomérats attribués au Chattien (Conglomérat de St Agnès). Au-dessous, le Stampien (300 à 516 m. 50 = 216.50) est constitué par des calcaires lacustres, des marnes et des grès à Cypris, et le Samnoisien (516.50 à 1160 m. = 643 m. 50) par deux séries bien tranchées :

au sommet, une série laguno-saumâtre à gypse et anhydrite s'étendant sur 123 m. 50, de 516.50 à 640 ;

à la base, des marnes bariolées à intercalations détritiques (conglomérat notamment de 911.50 à 912.80) qui se développent sur 520 m. de 640 à 1160 .

C'est dans cette dernière formation, très monotone, et plus particulièrement dans sa partie inférieure, que l'accroissement d'épaisseur des sédiments d'Ouest en Est est le plus manifeste, correspondant sans doute au développement du fossé bressan.

Les marnes lariolées situées sous le calcaire lacustre sannoisien passent en effet, de 64 m. (605 à 669) à Vincelles, à 455 m. (705 à 1160) à Ratte.

Le socle antéoligocène atteint à 1160 m. est constitué d'abord par des calcaires à silex, puis par des calcaires glauconieux, riches en Foraminifères et rapportés au Crétacé supérieur (1160 à 1227.10 = 67.10); ensuite, par des grès et sables glauconieux et phosphatés albiens traversés sur 19 m.60 et dans lesquels le sondage a été arrêté à 1246 m. 70 .

III.- Constitution du tubage (Planches II, partie centrale)

Sans entrer dans les détails au sujet des nombreux incidents de forage et de tubage (8 déviations ont été nécessaires) signalons seulement que des caves extrêmement importantes ont pu se manifester par endroits dans les formations meubles du Tertiaire, autorisant par exemple la pose de la colonne 10 " 1/2 12 " x 10 " 1/2, sabot à 311.40, malgré la perte dans le trou d'un tronçon de 5 m. (257 à 262) d'un tubage 9 " 1/4 descendu précédemment comme colonne provisoire.

Cela s'explique par le fait que l'injection qui aurait dû être particulièrement surveillée dans l'Oligocène gypseux et marno-sableux, n'a fait l'objet d'aucune correction. Les circonstances de l'heure ne permettaient pas l'approvisionnement en argile de qualité et la boue se constituait d'elle-même au hasard des terrains traversés qu'elle délayait.

A l'arrêt du sondage et avant les premiers essais, le tubage comportait les éléments suivants :

tubes rivés	650	de	0	à	10,00
	550	de	0	à	40.50
	450	de	0	à	72.00
tubes vissés	13 "1/2x 15"	+ 0,27			217.01.
	10 "1/2x 12"	- 0.60	(?)		311.40
	9 "1/4x 10" 1/2-	0.20			489.00
	8"	+ 0.40	(1)		643.00
	7" perdu de	587.35		à	727.10
	6" perdu de	720.70		à	797.20
	5"x6"x7" de	+ 0.32			902.70
	4"1/4 perdu de	884.50		à	1026.30
	3"1/2 perdu	1014.98			1118.20
découvert		de 118.20		à	1246.70 (fond du sondage).

(1) réduction 9 " 1/4 x 8 " comprise.

De façon systématique, je désignerai les tubages par leur diamètre nominal qui, en cas de colonne mixte, est généralement la dimension la plus faible; par exemple : 5 " pour la colonne 5 " x 6 " x 7 ", à moins que des indications plus précises soient nécessaires.

Je rappelle qu'aucune des colonnes n'a été cimentée et que l'étanchéité des sabot n'était assurée, et de façon plus ou moins précaire, que par la sédimentation de la boue à l'extrados des tubages. C'est dire que l'intercommunication des différents niveaux à l'aplomb du sondage fut pratiquement inévitable.

Les caractéristiques des tubages B.E. pour les diamètres qui nous intéressent au point de vue épuisement, sont les suivantes :

Diamètre nominal en pouces	Diam. ext. en mm.	Volume ext. en lit/m.	Diam. int. en mm.	Volume int. en lit/m.	Ep.
10 " 1/2	269	56.83	254	50.67	7.5
9 " 1/4	235	43.37	221	38.36	7
8 "	204	32.68	191	28.65	6.5
7 "	178.5	25	167	21.9	5.75
6 "	152	18.14	141	15.61	5.5
5 "	127	12.66	117	10.75	5.
4 " 1/4	108	9.16	98	7.54	5.
3 " 1/2	89	6.22	80.5	5.08	4.25

Remarque. - Tous les volumes calculés par la suite seront évidemment approximatifs. Les chiffres donnés seront les chiffres bruts, car il eût été arbitraire de les arrondir. Pour les épuisements à la soupape, en particulier, il eût fallu tenir compte d'un coefficient de remplissage pratiquement impossible à déterminer et les valeurs calculées seront toujours un chiffre maximum.

IV. Niveaux aquifères (Planche II, partie droite)

La traversée des niveaux aquifères n'a pas donné lieu à des observations systématiques au cours du forage, car le sondeur ne semble s'être intéressé à la question que dans la mesure où elle exerçait une influence sur la marche du sondage. Cette déficience est d'autant plus regrettable que, les colonnes de protection n'ayant jamais été cimentées, la fermeture des horizons successifs n'a pu être réalisée de façon certaine et durable. C'est pourquoi les essais d'épuisement effectués en fin de sondage ont été considérablement gênés par des afflux impossibles à maîtriser sinon à localiser. On ne possède pour tous renseignements sur les niveaux aquifères que quelques rares indications relatées dans les Comptes-rendus de forage.

1°) Le rapport de Février 1942 signale une venue d'eau à 313 m.50 dans les calcaires lacustres (" calcaires avec passages argileux gris-noir et bleu "). La dernière colonne de protection était à l'époque le tubage 13 " 1/2 dont le sabot se trouvait à la cote 217.01.

2°) Le rapport d'Avril 1942 signale une autre venue d'eau entre 331 et 332 m., dans des calcaires plus ou moins marneux avec passages sableux et gauchoniens. Le trou était protégé par le même tubage 3 " 1/2. L'eau était artésienne et le rapport indique qu'elle a coulé du 27 au 30 Mars à midi avec un débit atteignant 12 m³/h.

3°) Le rapport de Juillet 1942 est un peu plus circonstancié. Le 17 Juillet, au cours d'une instrumentation destinée à extraire un tubage 9 " 1/4 provisoire, une nouvelle venue d'eau se manifeste avec un débit de 25 m³/h. Le 24 Juillet, pendant les congés payés du 14 au 27, le débit atteignait 54 m³/h pour descendre à 38 m³/h le 28 Juillet. Le forage ^{caract} atteint 423 m., trou non élargi donc probablement en 5 " , toujours protégé par le tubage 13 " 1/2 (sabot à 217.01) et l'eau provenait peut-être encore des niveaux précédents 313.50 et 331-332.

Des prélèvements ont été effectués pour analyse, mais je n'ai pas eu connaissance des résultats (1). La venue d'eau fut jugulée par injection d'eau lourde.

Les venues d'eau précédentes, sans doute toutes artésiennes, provenaient des calcaires lacustres rapportés au Stampien.

4°) Aucune autre donnée n'a été conservée jusqu'à l'arrivée dans les calcaires crétacés. A ce niveau, on possède des indications très précises grâce au rapport de M. Lopard en date du 23 Juillet 1946.

(1) A titre indicatif, je donne en annexe (Annexe IV) les résultats des analyses effectuées sur des prélèvements exécutés au sondage de Vincelles.

De ce rapport, il résulte que l'eau, très lourde, s'est maintenue à la cote -63 jusqu'à la profondeur de forage 1163. A 1165.50, le niveau s'abaisse à -95 alors que le chef-sondeur venait de refaire une nouvelle eau lourde moins dense " enregistrant " ainsi, suivant l'expression de M. Lopard, la perte de carottes de 2 m. 85 sur un forage de 3 m. 40 (1159.60 à 1163.)

" Le sondeur passant alors à la grenaille, allège son eau, ce qui expliquerait en partie seulement la remontée du niveau constaté le 13 Juillet à 32 m. (fond à 1182.60), pour remonter encore à 21.50 le 15 Juillet au matin. Mais il y a eu, comme cause principale probablement, une émulsion de la colonne d'eau par les dégagements de gaz ". (Rapport Lopard du 23 Juillet 1946).

Au cours de l'arrêt des travaux, à l'occasion des congés payés (19 Juillet - 5 Août) le niveau se stabilise à 16 m. mais ces mesures de niveau, dans l'ignorance où l'on se trouve de la densité sont un peu dépourvues de signification. Nous verrons ce qu'on peut en penser dans l'essai final de reconstitution des faits.

On possède donc quelques données sur deux niveaux aquifères : celui du calcaire lacustre stampien, qui a donné lieu à plusieurs manifestations ayant peut-être toutes la même origine 313.50 et celui du Calcaire crétacé.

Pour simplifier, je les désignerai par la suite sous les dénominations respectives : niveau 313 et niveau 1163.

Il existe peut-être d'autres niveaux aquifères, mais rien dans les archives du sondage ne permet de le supposer.

V - Indices de gaz (Planche II, partie droite)

Des indices sérieux de gaz à odeur d'hydrogène sulfuré et d'hydrocarbures ont été constatés à plusieurs reprises, soit au cours du forage, soit pendant le débitage des carottes.

A. Au cours du forage.

Les dégagements de gaz ne semblent pas s'être manifestés au cours du forage avant la profondeur 1159.

La passe de forage 1159.60 à 1163 (carotte 412) n'a donné que Om.55 de carotte pour une longueur forée de 3m.40 et M. Lopard rattache cette perte à la constatation d'une odeur d'H₂S à la remontée de la carotte suivante (1163 à 1163.80) accompagnée d'une perte d'injection importante. Nous verrons plus loin les relations qui semblent devoir relier ces différents phénomènes.

A partir de ce moment, les manifestations d'H₂S continuent, ressenties notamment pendant le forage, c'est-à-dire avec la circulation de l'injection remontant du fond. Le rapport de Juillet 1946 signale de 1163.80 à 1207.20 " calcaire blanc, dur et cassuré avec une certaine odeur d'H₂S dans quelques carottes ". Le 9 Juillet, pendant la passe 1169.80 - 1173.70 exécutée à la grenaille, donc en eau allégée, " il y eut, en fait, des éruptions de gaz puisqu'elles se renouvelaient deux à trois fois par heure et durèrent chaque fois une dizaine de minutes " au point d'incommoder les ouvriers. Et M. Lopard ajoute : " on crut reconnaître un goût d'hydrocarbures et même des traces d'huile sur l'injection; mais il faut faire là la part de l'imagination désireuse d'un succès " (Rapport Lopard du 23 Juillet 1946.

L'odeur d'H₂S continua à se manifester par la suite, notamment le 8 Août 1946 au sortir des carottes provenant de la profondeur 1220.

B. Pendant le débitage des carottes

M. Maïkovsky, qui a fait la coupe géologique au fur et à mesure de l'avancement, signale de nombreux passages sentant l'hydrogène sulfuré (" odeur d'H₂S à la cassure ") dans les marnes à gypse de 498,60 à 597,20, en particulier :

" 535,20 - 538.00 forte odeur d'H₂S à la cassure "

" 547.10 - 535.35 odeur nette d'H₂S à la cassure "

à partir de 597.20 l'odeur d'H₂S va en diminuant progressivement jusque 614.40 (Rapports trimestriels et hebdomadaires Janvier à Juin 1943).

Au cours du débitage final et de l'échantillonnage, Mme Iefavrais a noté les mêmes odeurs dès les marnes à Cypris de 424 à 430, vers 470, dans les marnes blanches à 498.70 et enfin dans les marnes à gypse comme ci-dessus.

Il semble que les odeurs relevées sur carottes se localisent principalement dans les marnes à gypse, imprégnant en outre leur toit de marnes blanches et même les marnes à Cypris. Pourquoi ces odeurs ne se sont-elles pas manifestées au cours du forage, alors qu'au contraire il y a eu menace d'éruption en fin de forage vers 1170 à un niveau où les carottes ne présentaient pratiquement pas d'odeur à la cassure ? J'essaierai plus loin d'en fournir une explication en m'appuyant sur les résultats fournis par les essais d'épuisement, et ce sera une des conclusions les plus importantes de cette étude.

VI.- Carottages électriques (Planches III à IX)

Le carottage électrique avec toutes les opérations qu'il comporte est actuellement la règle dans les sondages effectués pour le compte du B.R.G.G. et, sauf circonstances exceptionnelles, le sondeur est tenu d'en prévoir l'exécution.

Il n'en était pas de même à l'époque du sondage de Ratte. Les conditions du moment n'étaient pas toujours favorables et les équipes de la Société de Prospection Electrique devaient venir de St Gaudens pour faire leurs mesures avec un appareillage périmé (enregistreur et treuil à main) confié au B.R.G.G., déplacé de sondage en sondage, et abandonné souvent de longs mois dans des conditions de protection et d'entretien assez précaires. C'est dire que les mesures n'ont pas été faites de façon continue et que les diagrammes enregistrés étaient loin d'être aussi précis que ceux qui sont réalisés automatiquement, à l'heure actuelle, avec le camion combiné venant de Pechelbronn. Il suffit d'avoir vu opérer avec l'appareil à main pour se rendre compte des imperfections inhérentes à ce matériel, sans qu'on puisse incriminer pour autant l'opérateur. Quoiqu'il en soit, les diagrammes tels qu'ils sont n'en restent pas moins des documents précieux. On peut seulement déplorer, avec le recul de plusieurs années, que la coupe n'ait pas été carottée électriquement sur toute la hauteur.

Cinq opérations ont été effectuées au sondage de Ratte (Planches II, partie gauche).

N°	Profondeur	Date	de	à	sur
1	549	16 Fév. 1943	532	311.50	220.50
2	660.20	24 Juin "	646.50	485	161.50
3	727.40	29 Oct. "	720	658	62
4	1132.80	6 Mars 46	1084.50	1024.50	60
5	1246.70	28-29 Août	1220.50	1118.20	102.30
	(fin)	1946			

Ce qui donne une longueur carottée de 606.30 dont il faut déduire le recouvrement de 47 m. des carottages 1 et 2 soit au total 559.30

Il manque, par contre :

311 m. 50	de 0	à 311.50
11. 50	de 646.50	658
304. 50	de 720	1024.50
33. 70	de 1084.50	1118.20
26.20	de 1220.50	1246.70

au total 687 .40, c'est-à-dire 55 % du sondage avec deux passages importants de 0 à 311.50 et de 720 à 1024.50

L'interprétation correcte des diagrammes est rendue difficile du fait qu'on ne possède pas encore la coupe détaillée des formations traversées par le sondage. Néanmoins, on peut y repérer un certain nombre de points.

Carottage n° 1 de 532 à 311.50 à la profondeur 549 (Pl. III)

De 311,50 à 390,00, bancs résistants séparés par des bancs minces plus conducteurs en face desquels il y a parfois de petites pointes de P.S. Ceci correspondrait aux calcaires lacustres du Stampien dont les bancs calcaires résistants seraient fissurés et parcourus par une eau présentant une certaine salinité.

De 390 à 436, ensemble marneux caractérisé par une résistivité et une porosité faibles et relativement constantes.

De 436 à 470, mêmes caractères que de 311,50 à 390 avec cependant une porosité plus constante.

De 436 à 516, mêmes caractères que de 390 à 436.

On aurait ainsi affaire de 390 à 516 aux marnes et calcaires à Cypris au sein desquels la zone 436-470 représenterait une intercalation plus calcaire.

Au-delà de 516, trois pointes résistantes pourraient correspondre à des bancs de gypse dans les marnes à gypse qui forment le sommet du Sannoisien à faciès laguno-saumâtre.

Carottage n° 2, 485 de 646,50-à 485, à la profondeur 660,20, trou élargi à 648;40 (Planche IV)

Ce deuxième diagramme double le premier sur 47 m. et apporte dans la zone 485-532 des indications analogues à celles du premier diagramme; en particulier, la présence probable de bancs de gypse à partir de 516.

I - De 516 à 632, le diagramme résistivité présente les mêmes caractères que dans le carottage précédent, et correspond certainement à la même formation. de marnes à bancs de gypse.

La coupe de Mme Iefavrais distingue :

de 516,50 à 570 , des marnes grises à gypse;

de 570,00 à 638,00 des marnes grises à anhydrite.

Par contre, M. Guillaume (rapport B.R.G.G. A.106 p.10) distingue au sommet des marnes bariolées du Sannoisien (518 à 911) un faciès laguno-saumâtre (518 à 638) renfermant du gypse d'abord en cristaux isolés, puis en couches. La coupe de M. Guillaume étant décrite de bas en haut, les couches de gypse sont logiquement au-dessus des cristaux isolés.

On aurait donc en gros entre 516.50 et 638, des marnes à gypse ou à anhydrite (celle-ci plutôt à la base) en cristaux isolés à la partie inférieure passant à des couches vers le haut, vraisemblablement de façon progressive et discontinue.

On peut essayer, dans ces conditions, d'interpréter les diagrammes résistivité-porosité.

De 516 à 558, les pointes résistantes plus développées du diagramme résistivité correspondraient aux bancs de gypse séparés par des lits de marne plus conducteurs. Dans le même intervalle, le diagramme de P.S. présente des redents assez accusés qui correspondent aux bancs de gypse et témoignent peut-être d'une certaine circulation ou plutôt de la présence d'anhydrite.

De 558 à 600, le diagramme résistivité assez denticulé en face d'un diagramme de P.S. tout à fait plat, indique une zone relativement homogène, où l'on pourrait reconnaître soit les marnes à cristaux de gypse de M. Guillaume, soit des marnes à intercalations d'anhydrite.

De 600 à 632, les deux diagrammes résistivité et P.S. présentent à nouveau des pointes opposées, notamment la grande pointe 610 - 613, qui semblent caractériser des bancs d'anhydrite.

II - Au-delà de 632, et jusque 646.50, formation peu résistante, vraisemblablement marneuse, avec pics de P.S. correspondant soit à des minces intercalations d'anhydrite, soit à des " intercalations détritiques " poreuses.

Gypse ou anhydrite d'une part, intercalations poreuses d'autre part, la question mérite d'être revue de près pour l'étalonnage des diagrammes électriques.

On sait en effet que l'anhydrite présente des phénomènes de polarisation spontanée importants, identiques à ceux que donne une couche poreuse. Formation extrêmement résistante par ailleurs, elle risque donc d'être confondue

avec une zone poreuse à hydrocarbures dont elle présente exactement les caractéristiques. Seule une P.S. différentielle, mettant en évidence des variations de la porosité en fonction de la pression hydrostatique, aurait permis la discrimination.

Si la présence d'anhydrite dans la série 516 - 638 était confirmée, l'interprétation des diagrammes serait certainement facilitée et se présenterait de la façon suivante :

1 - Dans la zone 516-558 les pointes de P.S. pourraient être dues non plus à une circulation assez problématique, mais plutôt à la présence de bancs d'anhydrite partiellement transformés en gypse.

2 - La valeur relativement élevée de la P.S. dans la zone 558-600 où le diagramme est plat serait due à des lits plus minces d'anhydrite (le diagramme résistivité étant plus finement denticulé) que l'enregistreur à main n'aurait pu détailler, mais donnant lieu à une P.S. globale. La présence d'anhydrite en lits serrés pourrait ici masquer la P.S. propre de **chaque couche**.

3 - Dans la zone 600-632, on aurait de nouveau de gros bancs d'anhydrite, notamment le banc 610-613 dont les caractéristiques ont justifié une étude spéciale par perforation au cours du 6ème essai d'épuisement. Nous verrons plus loin que le résultat semble avoir été négatif au point de vue hydrocarbures, ce qui confirmerait, par conséquent, l'attribution des pics opposés des diagrammes à des bancs d'anhydrite.

4 - De 632 à 646,50, même interprétation que précédemment.

Carottage n° 3, à 668, à la profondeur 727.40 (Planche IV).

De 660 à 668, zone à résistivité et porosité élevées dont les pointes correspondent sans doute à des bancs d'anhydrite. La coupe de Mme Iefavrais porte en effet, en surcharge, sur le figuré de la marne bariolée, le signe gypse.

De 668 à 720, résistivité faible à nombreuses petites denticulations et porosité également très variable. Les pics de porosité correspondant sensiblement aux pics de résistivité, on serait en présence, soit de lits d'anhydrite, soit "d'intercalations détritiques " qui coupent la série des marnes bariolées.

Les deux pics opposés 704-705 marqueraient la traversée du calcaire lacustre inclus dans ces marnes.

Carottage n° 4 de 804.50 à 1024.50, trou à 1132.80, mais encombré d'outils jusqu'à 1093.60 (Planche VI)

Diagramme incomplet par suite du mauvais état du trou, avec un carottier coincé au fond, surmonté de 135 m. de tiges.

L'appareil à main nécessitant une descente pour chaque courbe à enregistrer, la sonde au cours d'une première opération atteignit le fond à 1093, ce qui permit d'obtenir le diagramme de porosité. Une deuxième descente devait avoir lieu pour procéder à l'enregistrement des résistivités. Malheureusement à cette deuxième descente le lest n'a pas pu dépasser la profondeur de 1030.20. Le conditionnement du trou, alors en instrumentation, imposait la prudence et il ne pouvait être question d'insister.

Le diagramme de carottage ne comportedonc que la courbe de porosité; d'après la coupe géologique, le découvert se composait de marnes rayées avec intercalations de grès vert; ce sont sans doute ces dernières qui se marquent par des pics sur le diagramme.

Carottage n° 5, de 1220.50 à 1118.20, à la profondeur 1246.70, fin du sondage -(Planche VII)

De 1118.20 à 1153, résistivité relativement faible mais irrégulière; porosité variable, sans qu'il soit possible d'établir une corrélation entre les pics des diverses courbes. On se trouve ici à la base des marnes rayées avec intercalations de grès vert.

A partir de 1153, la résistivité monte brusquement à près de 100 ohms/m²/m, pour redescendre ensuite à des valeurs plus faibles, mais la moyenne est nettement supérieure à celle du tronçon précédent.

a) Dans la zone 1153-1170, les pointes de résistivité localisées en face des pointes de P.S. pouvaient être interprétées comme favorables à la présence d'hydrocarbures. C'est dans cette zone qu'il faut voir la limite Oligocène-Crétacé, mal définie sur carottes en raison des pertes considérables qui ont marqué l'entrée dans les calcaires à silex du Crétacé supérieur et qui correspondent peut-être à des conglomérats.

b) Au-delà de 1170, les diagrammes sont assez discordants; néanmoins on peut observer un certain nombre de correspondances entre zones poreuses et zones conductrices, ce qui conduirait à penser que les calcaires diaclasés du découvert seraient parcourus par des eaux présentant une certaine salinité [voir à ce sujet dans l'annexe V les analyses 4 et 5 (RE 3 et RE 4) des eaux prélevées au cours de l'essai 5] Enfin, les deux pointes opposées entre 1215 et 1220 pourraient laisser supposer la présence d'hydrocarbure; elles furent en particulier envisagées comme intéressantes dans la mise sur pied du programme Darboux.

Corrélations Ratte-Vincelles.-

Il était très délicat d'établir des corrélations entre les deux sondages avant d'en connaître la coupe détaillée. Cependant M. Schaak, opérateur des carottages 1 et 2 de Vincelles, et des Carottages 1 et 2 de Ratte s'y est essayé et a proposé dans son rapport relatif à Ratte 2 en date du 28.7.43 de rattacher les niveaux :

610-846.50 de Ratte 2 et 560-600 de Vincelles 1.

En réalité, les diagrammes exécutés dans ces deux sondages étaient trop fragmentaires, les faciès et les épaisseurs trop différents pour pouvoir établir a priori des corrélations précises entre deux points aussi éloignés l'un de l'autre.

Actuellement l'étude stratigraphique des deux sondages permet de raccorder, du point de vue géologique, les niveaux :

704-705 de Ratte et 566-605 de Vincelles (Pl. I.)

Pour les corrélations électriques, le diagramme 2 de Vincelles (Pl. IX) relevé dans le Jurassique supérieur n'a pas d'équivalent dans le sondage de Ratte.

Seul le diagramme I de Vincelles (pl. VIII) pourrait se prêter à un essai de corrélation. Malheureusement la partie haute (560-600) de ce diagramme, correspondant d'après la coupe géologique au calcaire lacustre, a son équivalent dans la partie inférieure (704-705) du diagramme 3 de Ratte. On ne peut donc comparer que la partie supérieure des marnes bariolées sur lesquelles reposé le calcaire lacustre, c'est-à-dire 15 m. au maximum. Dans cette zone commune vraiment restreinte

les diagrammes résistivité sont évidemment analogues; par contre les diagrammes porosité réalisés avec des échelles trop différentes (rapport 1 à 5) ne sont pas comparables.

Le même diagramme 1 de Vincelles recoupe la limite Oligocène-Crétacé à 660. Cette limite a été enregistrée également vers 1160 par le diagramme 5 de Ratte, mais les courbes ne sont guère comparables.

Remarque.- Si le diagramme 2 de Vincelles ne permet pas de comparaison avec ceux de Ratte, il est le seul à avoir enregistré les caractères du Jurassique supérieur du socle de la Bresse et, de ce fait, il vaudrait la peine d'être examiné de près. Il présente, en effet, des zones à porosité relativement élevée correspondant à des pics résistants notamment à 870. Ces caractères correspondent à des calcaires fissurés imprégnés, soit d'eau douce, soit, de façon plus problématique, d'hydrocarbures. Mais on sait par l'examen des carottes, que cette dernière hypothèse ne peut être envisagée.

IIème PARTIE

Les essais d'épuisement

GENERALITES.-

Le sondage ayant été arrêté le 13 Août 1946 à la profondeur 1246.70, il fut décidé, avant de procéder au détubage et au rebouchage, de réaliser quelques essais pour tenter de préciser la nature et l'importance des indices constatés :

odeur et dégagements en cours de forage à la profondeur 1170;

odeur des carottes entre 500 et 600,

indices confirmés par les données, peu nettes malheureusement, des diagrammes de carottage électrique .

Les essais ont été effectués sous la direction technique de M. Iopard. J'ai personnellement assisté à toutes les opérations, (à l'exception de l'essai n° 3 qui a été fait en présence de M. Guillaume) enregistrant, avec l'aide sur Surveillant M. Roche, tous les résultats fournis par les épuisements.

Ceux-ci ont été exécutés à la soupape à l'aide du treuil de curage dans des conditions matérielles assez difficiles, malgré la bonne volonté du personnel sondeur. La durée de prise d'une soupape variait en moyenne de 1 minute aux profondeurs comprises entre 0 et 100m. , à 4 minutes aux profondeurs comprises entre 300 et 400 m. Le repérage des profondeurs en cours d'épuisement se faisait au son (choc de la soupape à la surface de l'eau) en notant au même moment la position des marques peintes sur le câble (au premier essai, les marques en chanvre glissaient continuellement). Les chocs, toujours entendus avec un certain retard, passaient souvent inaperçus et il était très difficile d'apprécier la position des marques qui filaient trop vite pour être toujours exactement repérées. La disposition spéciale de la tête du tubage au cours de l'essai 5 a facilité le repérage des profondeurs pour cet essai, comme je l'indiquerai en son temps.

Les mesures de profondeur, heureusement tentées à chaque soupape, n'ont donc pas toutes la même valeur; il en a été tenu compte dans la confection des diagrammes d'épuisement qui ne sont évidemment qu'approximatifs et ne donnent parfois qu'une allure moyenne.

Pour être comparables, ces diagrammes devraient être accompagnés des courbes de débit, mais celles-ci sont impossibles à tracer car le débit à la soupape est très difficile à apprécier et essentiellement variable. Je me suis contenté de l'indiquer approximativement dans le tableau récapitulatif des caractéristiques des essais (Planche XXIX) ainsi que pour les courbes d'épuisement comparées. Les "courbes de remontée " lorsqu'elles ont été relevées à la soupape ou mieux, au sifflet, donneront des indications beaucoup plus précises.

Les essais ont été compliqués, comme déjà signalé, du fait de l'intercommunication, par usure ou par les sabots, de toutes les colonnes de protection. On a tenté avec plus ou moins de succès de sélectionner les arrivées d'eau pour localiser les venues de gaz, ce qui a conduit à plusieurs essais, séparés par des opérations de cimentation, de pose de nouvelles colonnes ou de mesures électriques.

L'ensemble a duré du 30 Août 1946 au 18 Mars 1947, avec une interruption de quatre mois pour détubage et rebouchage partiel (soit 2 mois 1/2 pour les essais) et les opérations se sont succédées dans l'ordre suivant :

- I - Lavage du trou à l'eau claire.
- II - Essai 1 - (2 septembre 1946). Epuisement dans 7 " sur l'ensemble du trou et du découvert.
- III - Extraction partielle de la colonne 5 x 6 x 7 ", rompue dans les 6 " à 556 m.
- IV - Essai 2 - (9 à 12 Septembre 1946). Epuisement dans 8 " sur l'ensemble du trou et du découvert.
- V - Programme Darboux (17 Septembre 1946) pour isoler les eaux du fond; non exécuté.
- VI - Cimentation à 1221.50 (2 Octobre 1946) éliminant l'Albien.
- VII - Essai 3 - (3 à 6 Octobre 1946). Epuisement dans 8 " sur l'ensemble du trou et du découvert.
- VIII - Cimentation à 1174.80 (11 Octobre 1946) éliminant la base du Crétacé supérieur.
- IX - Essai 4 - (15 Octobre 1946) - Epuisement dans tubage 8 " sur l'ensemble du trou et du découvert.

- X - Recherche de l'origine des venues d'eau par Résistivimétrie (19 Octobre 1946) et Thermométrie (20 Octobre 1946)
- XI - Nouveau programme d'essais (25 Octobre 1946) et pose d'une nouvelle colonne pour séparer les eaux venant du fond (9 Novembre 1946).
- XII - Essai 5 - (12 à 16 Novembre 1946). Epuisement dans 6 " sur la nouvelle colonne isolant le découvert. Aucun résultat.
- XIII - Détubage et rebouchage à 635, aménagement du niveau 583.
- XIV - Essai 6 - (10 à 13 Mars 1947). Epuisement dans 8 " sur perforations Schlumberger (551-554 - 580-587 - 610-614) Dégagement d'H₂ S.
- XV - Cimentation à 565.30 (15 Mars 1947).
- XVI - Essai 7 - (17 et 18 Mars 1947). Epuisement dans 8 " sur perforations Schlumberger (551-554).
- XVII - Arrêt, détubage, et rebouchage.

LAVAGE DU TROU

Après le dernier carottage électrique (28 et 29 Août) le trou est lavé les 29 et 30 Août par circulation de 41 m³ d'eau claire (volume du trou 15 m³ 9), les tiges étant au sabot du 3 " 1/2 à 1118.20. Le sondeur décide de ne pas pousser davantage le lavage car des manifestations gazeuses importantes commencent à se produire sous forme de très grosses bulles allant en augmentant de 18 à 24 heures; la densité de l'eau est voisine de 1 et même inférieure à 1 (0,995) par moments, par suite de l'émulsionnement. A ce moment le sondeur relève son tubage 5 " (mixte 5x6x7") de 1 m. pour y visser la tête de captage et le redescend.

Le 31 Août, de 0 à 6 h, écoulement artésien au débit de 1 à 2 lit/min.

ESSAI 1 - 2 Septembre 1946

Trou à 1246.70 (complet)

Découvert : 1118.20 à 1246.70, base de l'Oligocène, Crétacé supérieur et Albien.

Tubage complet (Planche X)

Tête de captage sur 5x6x7", épuisement dans 7".

Volume théorique du trou : 15 m³ 9

Soupape 4 " 1/4 (55 lit/ environ).

Courbe d'épuisement, planche XXI.

Présences : MM. Lopard, Bonte. Surveillant : M. Roche.

Au départ, eau légèrement artésienne, au débit de 1 à 2 lit/min. Epuisement de 10 h 30 à 16 h, avec arrêt de 12 h à 14 h. 45 . On tire 59 soupapes, soit 3245 lit. à la cadence moyenne de 17 soup/h. (935 lit/h.) Abaissement maximum 68 m.60 .

La déficience du treuil de curage et du matériel en général diminue considérablement la vitesse d'épuisement.

Le dégagement de bulles de gaz, le 30 Août, pouvait faire supposer qu'un faible épuisement aurait provoqué un accroissement du dégagement gazeux. En fait, malgré l'abaissement du niveau à 68 m, il ne se produisit rien.

Le sondeur estime que son tubage 5x6x7" est crevé et veut en avoir le cœur net pour éviter une éruption intempestive. Dès que cette colonne est relevée de quelques centimètres, l'eau gicle par les orifices de la boule fixée sur 7 ". L'eau lourde maintenue derrière la colonne 5 " s'est donc mise en équilibre avec la colonne d'eau douce intérieure par la rupture supposée. En même temps, probablement, la boue située derrière le 8 " dont le sabot n'est pas étanche, est remontée entre 8 " et la colonne perdue 7 ", puis, par l'espace annulaire 8 "-6" pour ressortir par la même rupture; mais ceci ne pouvait être supposé à l'époque . La colonne ^{5"} semble donc bien coupée et on décide de la remonter pour fixer la tête de captage sur la colonne 9 " 1/4 (mixte 9 " 1/4 x 10 " 1/2 qui est étanche vers le haut, car le niveau d'eau entre 13 " 1/2 et 9 " 1/4 n'a pas varié malgré la dépression de 68 mètres.

La rupture de la colonne 5x6x7" semblait ainsi expliquer le résultat négatif du premier essai : la manoeuvre du tubage le 30 Août, pour y visser la tête de captage, ayant provoqué la descente de la boue située à l'extrados du tubage 5x6x7" et annulé l'effet du lavage à l'eau claire. Nous verrons par la suite que cette interprétation, basée sur l'hypothèse d'une drigne profonde du gaz n'est plus soutenable.

On décide donc de sortir la colonne 5x6x7" pour la vérifier; si elle n'est pas cassée, on la remettra en place en l'allongeant quelque peu pour la chasser dans la marne derrière le 4 " 1/4 perdu, de manière à améliorer la fermeture.

De toute façon on captera sur 9 " 1/4 (mixte 9 " 1/4 x 10 " 1/2) et M. Braulaton commande télégraphiquement à Bischwiller le raccord 8" x 10 " 1/2 nécessaire pour fixer la tête de captage.

Extraction partielle de la colonne 5x6x7 "

Le 4 Septembre la colonne 5x6x7" est sortie partiellement; le tubage est usé à un filetage dans les 6 " à 566 mètres, et cette rupture explique bien les anomalies constatées précédemment.

La colonne 5x6x7 " se transforme ainsi en une colonne perdue 5x6" (tête à 566, pied à 902.70).

Un nouveau lavage du trou jusqu'au fond est effectué en attendant le raccord 8x10 "1/2 et on injecte :

Les 4,5 et 16 Septembre : 95 m³ d'eau claire qui remonte boueuse.

Le 7 Septembre : 25 m³ d'eau qui remonte enfin claire. Cette fois aucune manifestation de gaz.

L'eau claire remonte en partie entre 8 " et 9 " 1/4 (mixte 9 " 1/4 x 10 " 1/2) sur lequel se fera éventuellement le captage; ce qui implique à nouveau des communications entre tubages.

Le nouveau raccord arrivé à destination est fixé le 7 sur la tête du 9 " 1/4 x 10 " 1/2. Un nouveau câble de curage est monté sur le treuil. L'essai d'épuisement est décidé pour le lundi 9 au matin.

Essai 2 - 9 à 12 Septembre 1946

Trou à 1246.70 (complet)

Découvert : 1118.20 à 1246.70, base de l'Oligocène,
Crétacé supérieur et Albien.

Tubage complet, moins la partie supérieure de la
colonne 5x6x7" cassée dans les 6 " à 566 qui est
remontée (Pl. XI).

Tête de captage sur 9 " 1/4 x 10 " 1/2, épuisement
dans 8 ".

Volume théorique du trou : 22 m³.3

Soupape variable; courbes d'épuisement, Pl. XXII.

Présences : MM. Lopard et Bonte. Surveillant : M. Roche

9 Septembre 1946 : départ à 9 h 20, écoulement artésien
au débit de 12 lit/h. Epuisement de 9 h 20 à 18 h 31;
soupape 4 " 1/4 (35 lit/). On tire 240 soupapes à la
cadence moyenne de 27 soup/h (1485 lit./h.); marche ré-
gulière coupée de quelques arrêts de 5 à 10 minutes pour
marques et graissage. Total extrait 13 m³ 2.

L'eau est claire et à partir de 14 h la cote d'épu-
isement oscille entre 180 et 200. On hésite quelque peu du
fait du glissement des marques. Abaissement maximum à
197 vers 16 h.

A partir de 15 h, apparaissent des irisations sur
l'eau (" bulles graisseuses qui s'ouvrent et s'étalent ")
notamment vers 15 h 45 au niveau 195 . Vers 16 h 50,
quelques bulles se dégagent entre 9 " 1/4 et 13 " 1/2
" accompagnées de bouffées d'eau lourde grise ". Le 9 "1/4
n'est donc pas étanche au sabot.

Pendant la nuit on étale successivement à 160
puis à 130, les remontées se produisant pendant les ar-
rêts pour graissage; la cadence moins rapide pendant la
nuit est en moyenne de 25 soup/h.

De 18 h 45 à 24 h on tire 150 soupapes soit 8 m³ 250
à la cadence de 28 soup/heure (154 lit/heure) niveau à
160.

10 Septembre 1946

De 0 h 20 à 5 h on extrait 113 soupapes soit 6 m³ 150 à la cadence moyenne de 24 soupapés/heure (1320 litres) niveau à 130.

A la reprise à 0h 20, la première soupape renferme de l'eau boueuse gris vert jaunâtre à la base, de l'eau claire au sommet et présente une odeur d'H₂S (les ouvriers disent: odeur de pourriture). Elle conservera ces derniers caractères pendant tout le poste.

Remarque.- On a tiré depuis le matin 13 + 8 = 21 m³ environ; par ailleurs, le volume du 9 " 1/4 isolé fait, jusqu'à la rupture 566, un peu plus de 19 m³, sans compter les vides existant entre, d'une part les tubages 8 " et 9 " 1/4 et, d'autre part le terrain.

Le volume d'eau claire extrait au moment où apparaît l'eau boueuse, correspond sensiblement au volume du tubage 9 " 1/4 en adoptant pour les soupapes un coefficient de remplissage de 0.9.

L'eau boueuse à odeur d'H₂S correspondrait donc à des rentrées entre 8 " et 6 " provoquées par la dépression créée par l'épuisement. Les bulles qui se dégagent entre 9 " 1/4 et 13 " 1/2 provenaient du même niveau en remontant le long du 8 " puis du 9 " 1/4. Cette hypothèse, inconcevable à l'époque, a été suggérée par les résultats obtenus au cours des essais suivants; je la reprendrai par la suite.

De 5 h à 11 h.20, arrêt pour remplacer la bande de friction de l'embrayage. A 11 h 20, on prend 4 soupapes pour repérer le niveau qui est remonté à 50. L'eau présente toujours des odeurs d'hydrocarbures et d'H₂S, la soupape, qui a séjourné 6 h au fond, remonte avec sa surface verdie (rouille réduite par H₂S).

Pour permettre un épuisement plus rapide on remplace la soupape 4 " 1/4 (55 litres) par une soupape 6 " (108 litres).

On reprend l'épuisement à 13 h 24, niveau d'eau à 40 m.

De 13 h 24 à 17 h 15, on tire 73 soupapes, soit 7884 litres; la marche est régulière, avec une cadence moyenne de

19 soup/h (2052 litres/h.). L'eau extraite est toujours boueuse et présente une odeur d'hydrocarbures.

La courbe d'épuisement s'abaisse régulièrement jusqu'à 214, profondeur atteinte à 17 h. Elle est très raide et permettrait un épuisement plus poussé, mais la locomobile est à bout de souffle et on est obligé de remettre une soupape 4 " 1/4 dont on augmente la longueur pour lui donner une capacité de 78 litres; la diminution de diamètre diminuera le freinage à la remontée.

On prend néanmoins encore 2 soupapes vers 18 h45 pour constater que le niveau est remonté à 156.

A 20 h.15 le niveau est remonté à 120 et on reprend l'épuisement avec la soupape 4 " 1/4 (78 lit.)

De 20 h 15 à 23 h. on tire 90 soupapes soit 7020 litres, à la cadence de 32 soup/h. (2496 lit/h.) Le niveau s'établit à 23 h. à 198 mètres; l'eau est argileuse, gris vert, mousseuse, et présente une odeur d'hydrocarbures par bouffées; irisations sur le canal d'écoulement.

De 23 h à 0 h20, arrêt.

11 Septembre 1946 -

Reprise à 0 h 20-le niveau est remonté à 159.

De 0 h20 à 6 h on tire 155 soupapes, soit 12.090 litres à la cadence horaire de 25 soup. (2106 lit.) En épuisement, le niveau se maintient vers 198.

De 6 à 7 h arrêt pour réparation.

A 7 h on repart au niveau 159

De 7 à 8 h , 26 soupapes -(2028 lit.) abaissent le niveau à 195.

De 8 à 8 h 20, arrêt casse-croûte, le niveau remonte à 168.

Reprise à 8 h 20 avec la soupape 4 " 1/4 (78 lit.)

De 8 h 20 à 11 h 20, on tire 70 soupapes soit 5460 litres. La marche est régulière, à la cadence moyenne de 26 soupapes/heure (2028 lit/h.), abaissement maximum 218 m. à 11 h.

Le fossé de la route n'arrivant pas à évacuer l'eau extraite du sondage on est obligé d'interrompre l'épuisement pour procéder à son curage.

A 13 h, le niveau est remonté à 125.

De 13 h à 17 h 46, on extrait 126 soupapes soit 9.984 litres; marche régulière, à la cadence moyenne de 27 soup/h (2106 lit/h.), abaissement maximum 215 m. vers 17 h.

L'eau des soupapes est toujours argileuse, gris-vert, salée, à odeur d'hydrocarbures, et présentant des irisations. En fin d'après-midi, l'odeur diminue et se manifeste par bouffées. Un prélèvement est effectué à 16 h 35 à la profondeur 210 (soupape n° 102) et envoyé à l'analyse sous la marque : " Ratte, vidange 210 " (voir annexe V)

Après un arrêt pour graissage, l'épuisement reprend de 19 h à 0 h 20. On tire 155 soupapes soit 12.090 à la cadence de 29 soup/heure (2262lit/h.); le niveau redescend de 159 à 19 h à 170 à 0h 20 avec abaissement maximum à 198 à 21 h. Les ouvriers signalent alors une sortie de gaz plus forte.

12 Septembre 1946

De 0 h 20 à 1 h 20, arrêt pour graissage et réparations.

Epuisement de 1 h 20 à 6 h. Le niveau remonté à 148 est abaissé à 190 m. à 3h et à 180 à 6 h. On a tiré 140 soup.((10.920.litres) à la cadence de 30 soup/h (2340 lit/h.). Le débit est estimé à 1500 lit/h. à 190 m.

A partir de 6 h; observation de la remontée à la soupape puis au sifflet. Le niveau passe de 180 à 6 h à 74.50 à 10 h.

En attente d'un programme, nouveau lavage du trou à l'eau claire.

le 12 Septembre on injecte 50 m³, l'eau remonte très sale.

le 13 Septembre, on injecte 55 m³, l'eau remonte sale et noire.

le 14 Septembre on injecte 42 m³, l'eau remonte encore sale et noire;

le 16 Septembre, à 14 h, l'eau remonte claire et on arrête le pompage.

Conclusion du deuxième essai.

De ce deuxième essai, et en supposant les colonnes étanches, on pouvait conclure que l'eau venait du fond. Le volume total du trou étant de l'ordre de 22 m³ l'épuisement du 9 Septembre avait sorti en gros 21 m³ et on pouvait considérer que l'eau boueuse à odeur d'hydrocarbures qui avait fait son apparition dans la nuit du 9 au 10 septembre, provenait du Crétacé supérieur fissuré.

En réalité les mesures ultérieures (Résistivimétrie du 19 Octobre 1946) ont démontré l'existence de rentrées d'eau à la profondeur 569.30 à peu près au niveau de la rupture du 5 " (mixte 5x6x7") remontée le 4 Septembre.

Comme je l'ai fait remarquer plus haut, c'est à ce niveau que l'eau boueuse s'est insinuée à l'intérieur du tubage et le volume extrait de 21 m³ correspond sensiblement au volume du 9 " 1/4 en communication par le sabot du 8 " avec la colonne où se faisait l'épuisement.

Théoriquement, en supposant pour simplifier que la densité de l'eau reste la même et que le niveau à l'équilibre se rétablisse à la même cote qu'au départ, le volume de boue compris entre la cote d'équilibre (0) et la cote d'afflux (566) devrait correspondre au volume extrait 566 m. de 8 " à 2865 lit/mètre font environ 16,2 m³

Ce volume est certes très inférieur au volume extrait 21 m³. Mais il faut se souvenir que l'arrivée dans le Crétacé s'est traduite à 1165.50 par un abaissement du niveau de -63 à -95, alors que l'allégement de l'eau lourde aurait dû produire une remontée. Le Crétacé était donc absorbant. Par conséquent, en même temps que l'eau argileuse remontait dans le 8 " sollicitée par l'épuisement, il en descendait vers le fond une part importante que nous retrouverons lors de l'essai n° 5 tenté sur le Crétacé seul.

Une fois de plus, la détérioration des tubages et l'absence de fermetures des eaux créaient des complications et faussaient les interprétations.

Toujours est-il que, misant sur une origine profonde des eaux et du gaz, il fallait s'en assurer. C'est dans ce but que fut élaboré le plan de tubage et d'essais dit " programme Darboux "

Programme Darboux

Une conférence tenue au B.R.G.G. le 17 Septembre 1946 sous la direction technique de M. Darboux, Ingénieur à la R.A.P., et dont on trouvera le compte-rendu en annexe (Annexe I) prévoit la descente d'une colonne complète 3 " x 3 " 1/2 x 4 " 1/4. cimentée de 1145 à 900 et crépinée à la base, de 1160 à 1220 (Planche XII). Elle définit, en outre, les essais préalables auxquels sera soumis le tubage et la façon de procéder aux épuisements.

A la suite de cette conférence, M. Niedergang, Directeur de la Société Bonne-Espérance évalue le coût du programme à 1.600.000 frs, sans aucune garantie de délai ni d'exécution .

En outre, prétextant la difficulté ou l'impossibilité d'approvisionnement en tubes 3 ", il propose un programme simplifié (lettre du 24 Septembre 1946) comportant les opérations suivantes :

- raccordement d'une colonne complète sur le 3 " 1/2 perdu;
- nettoyage du fond du trou;
- bouchon de ciment inférieur jusque 1225 pour aveugler les eaux de l'Albien ;
- remplissage avec du sable jusqu'en dessous des calcaires à silex;
- bouchon de ciment supérieur remontant jusqu'à 1110 pour emprisonner le sabot du 3 " 1/2 (1118.20);
- reforage du bouchon supérieur et dusable jusqu'au bouchon inférieur, dégagant ainsi la zone présumée intéressante

M. Darboux consulté fait les plus grandes réserves au sujet de l'efficacité de la fermeture du 3 " 1/2 et, devant les prétentions exagérées de Bonne-Espérance, il est décidé le 26 Septembre, de renoncer provisoirement au programme élaboré et de la remplacer par un essai de vidange, précédé d'une cimentation jusqu'à 1225 pour éliminer les eaux qui pourraient éventuellement provenir des grès et sables albiens.

CIMENTATION à 1221.50

La cimentation du fond est réalisée en plusieurs passes. le 27 Septembre au cours du lavage préalable du trou à l'eau claire, l'injection remonte noire et présente une odeur d'hydrocarbures. On injecte 3 sacs de ciment Portland à l'aide d'un manchon denté descendu au fond.

Le 30 Septembre, la tête du ciment est constatée à 1234.50 et l'on procède à une nouvelle injection de 3 sacs de ciment.

Le 2 Octobre, on constate la tête du ciment à 1214.30. On profite qu'il n'est pas encore durci pour le reforer rapidement à l'aide du manchon denté jusque 1221,50 et on pompe d'abord au fond pour remonter les déblais du ciment, puis au sabot du 3 " 1/2 à 1118.20 pour nettoyer le trou à l'eau claire. L'injection sale et noire au début, remonte ensuite claire. Le trou est prêt pour le troisième essai qui commence le 3 Octobre.

ESSAI 3 - 3 à 6 OCTOBRE 1946

Trou rebouché à 1221.50

Découvert : 1118.20 à 1221.50, base de l'Oligocène et Crétacé supérieur.

Même tubage que l'essai n° 2, à savoir : tubage complet moins la partie supérieure de la colonne du 5x6x7" cassée dans les 6 " à 566 qui est remontée (Planche XIII)

Tête de captage sur 9 " 1/4 x 10 " 1/2, épuisement dans 8".

Volume théorique du trou 22 m3 053.

Soupape 6 " (74 litres)

Courbes d'épuisement planche XXIII

Présences : MM. Lopard et Guillaume. Surveillant : M.Roche.

3 Octobre 1946

Départ à 8 h 43., niveau d'eau à 6 m.

L'épuisement se fait de façon régulière de 8 h 43 à 11h 45. On tire 95 soupapes (7.030 litres) à la cadence moyenne de 32 soup/h. (2368 lit/h.)

L'eau, claire au début, devient gris-vert clair à la 34° soupape (9 h 47, 2.400 litres) puis gris vert foncé à la 53° soupape (10 h 22, 3.900 lit.)

Après 3 heures d'épuisement, on a abaissé le niveau à 143.

De 11 h 45 à 13 h 55, arrêt avec mesures de niveau toutes les 10 minutes. Au niveau 80, la venue moyenne est estimée à 700 lit/h.

Reprise à 13 h 55, à la cote 75. On tire alors 128 soupapes (9.472 litres) de 13h 55 à 18 h 03 à la cadence moyenne de 31 soup/h (2294 lit/h) abaissement maximum 187 à 18 h 03. On a extrait au total 223 soupapes soit 16.502 litres.

L'eau gris vert foncé depuis la 53° soupape (10 h 22) devient très foncée à la 167° soupape (16 h 05). A 16 h 43, (186° soupape) on remarque dans la rigole d'écoulement quelques bulles huileuses présentant des reflets bleus quand elles éclatent. Brusquement, à 17 h 42, à la 214° soupape, l'eau devient café au lait avec une odeur d'H₂ S plus forte.

Remarque. - 214 soupapes de 74 litres font environ 15.800 lit. Dans le 8 ", à 28,65 lit/m, 15.800 lit. correspondent sensiblement à 550 m. de tubage et la rupture constatée précédemment était à 566 m. C'est donc une nouvelle confirmation de l'hypothèse suivant laquelle la venue d'eau chargée d'H₂ S viendrait de 566 m.

Aux environs de 18 h, on " plafonne " vers 185 avec une venue moyenne estimée à cette profondeur à 1900 lit/h. La densité de l'eau est alors légèrement inférieure à 1. On arrête à 18h 03 et on note les remontées de niveau, toutes les heures, pendant la nuit (voir diagramme pl. XXIII)

4 Octobre 1946.-

Départ à 8 h 43 à la profondeur 27.50

Epuisement régulier de 8 h 43 à 11 h 45 avec 111 soupapes (8.214 litres) , à la cadence moyenne de 37 soup/h. (2738 lit./h.)

L'eau est jaunâtre au début, puis gris vert clair. A la 40° soupape (9 h 34) une odeur de gaz se manifeste ainsi que quelques traces huileuses à la surface du canal d'évacuation. La densité qui était de 0,990 au début de l'épuisement et à 10 h monte à 1.040 à 10 h 50 et à 1.050 à 11h 05. en même temps que l'eau devient salée. Abaissement maximum du niveau à 170 à 11 h 45.

A la suite d'un arrêt de 11 h 45 à 13 h 26, le niveau remonte à 103.

De 13 h 26 à 17 h 37, nouvel épuisement avec 130 soupapes (9.620 litres) à la cadence moyenne de 31 soup/h. (2294 lit/h.) Abaissement maximum 200 m.

Rien de spécial à signaler : eau gris vert clair, densité 1.020, goût salé, odeur d'hydrocarbures faible et variable en intensité (des prélèvements sur le bac ne peuvent enflammer.). être

Par contre, à la remontée qui a suivi, une anomalie mérite d'être mentionnée. Les niveaux relevés avec précision au sifflet, de 5 en 5 minutes, ont donné les chiffres suivants :

	:	Heure	:	Niveau	:	Remontée
arrêt	:	17 h 37	:	200	:	
	:		:		:	
	:	17 h 42	:	196.60	:	3.40
	:		:		:	
	:	17 h 47	:	192	:	4.60
	:		:		:	
	:	17 h 52	:	185.90	:	6.10
	:		:		:	
	:	17 h 57	:	180.70	:	5.20
	:		:		:	
	:	18 h 02	:	176.60	:	4.10
	:		:		:	
	:	18 h 07	:	172.60	:	4.

Il y a donc ^{eu} une remontée par saccades, dues peut-être aux perturbations créées dans le gisement par l'épuisement intensif. On fera le lendemain une observation analogue.

Les mesures de niveau se poursuivent d'heure en heure toute la nuit (voir diagramme pl. XXIII). La courbe de remontée est un peu moins raide que la veille, ce qui laisse supposer une certaine fatigue du gisement. Elle est tout à fait analogue, au 2ème jour d'épuisement, à celle du 12 Septembre à la fin de l'essai 2.

5 Octobre 1946

Pour abaisser au-delà de 200 m. on décide d'épuiser sans interruption pendant toute la journée. Il y aura seulement à midi un arrêt de 14 minutes pour graissage.

Départ à 8 h 23, à la profondeur 31.50

L'épuisement se poursuit jusqu'à 17 h 30 avec un total de 293 soupapes (21.682 litres) à la cadence moyenne de 32 soup/h. (2368 lit./h.)

L'abaissement maximum mesuré est réalisé à 15 h 41 à 210 mètres (soupape 235).

L'eau, tout d'abord gris vert salée (densité 1.020 à 1.030), ne présente qu'une faible odeur d'hydrocarbures avec de rares taches d'huile sur la rigole d'écoulement. Vers 15 h 30, les taches d'huile sont plus nombreuses, l'odeur d'hydrocarbures plus forte, l'eau très salée. Puis les mesures de profondeur sont un peu hésitantes, sans doute à la suite de la perturbation qui vient de se produire mais qu'on ne peut situer exactement dans le temps.

A 16 h 17 (soupape 255) une mesure précise arrive. Le niveau est remonté à 195 m. alors que la cadence d'épuisement est maintenue rapide, les ouvriers étant tenus en alerte. Les mesures suivantes confirment ce résultat inattendu.

à 16 h 23	soupape 258	niveau à 184
16 h 26	260	181
16 h 36	263	171
16 h 46	268	166
16 h 51	271	165
16 h 58	275	161,50
17 h 02	277	160
17 h 07	280	158
17 h 13	283	157
17 h 17	286	155
17 h 30	293	151

A cette profondeur, des prélèvements sont effectués pour analyse sur les soupapes 275 à 281 (analyse, annexe V, RE 1)

A 17 h 30, l'arrêt de l'épuisement est décidé et on observe les remontées d'eau. D'abord de 5 en 5 minutes :

	Heure	Niveau	remontées
Arrêt	17 h 30	151	
	17 h 35	154	3 m
	17 h 40	148.50	5.50
	17 h 45	132.30	16.20
	17 h 50	128	4.30
	17 h 55	119.70	8.30

ce qui confirme l'anomalie de la veille, puis d'heure en heure jusqu'au lendemain matin 6 Octobre à 6 h. Le niveau était alors remonté à 36 m. 35.

Une mesure effectuée 24 h plus tard, le 7 Octobre à 6 h, donnait 31 m.50. Il faut noter que ce niveau est sensiblement celui des remontées des jours précédents. La courbe de remontée du 5 Octobre est plus raide que celles des 3 et 4 Octobre, mais elle se stabilise à peu près au même niveau.

Le même jour, 7 Octobre, la vérification de la tête du ciment a donné 1.217 m.81 alors que le reforage du 2 Octobre avait été poussé à 1.221.50.

Il y a donc eu une venue d'eau brutale qui, en dépit de la cadence poussée de 32 soup/h. (2368 lit/h.) malgré la profondeur de 150 à 200 m., a provoqué une remontée rapide du niveau de l'eau.

L'apparition de taches d'huile, l'odeur d'hydrocarbures et le goût salé signalés à 15 h 30, se sont manifestés de façon fortuite peu avant l'afflux d'eau, ou sont dus précisément à cet afflux. Je penche personnellement pour une indépendance complète des deux phénomènes du fait que les caractères particuliers de l'eau ont été signalés avant la constatation de la remontée, alors qu'il eût fallu au contraire, qu'il s'écoulât entre les deux phénomènes un temps suffisant pour épuiser le volume d'eau moins 300 m. de tubage 8 ". Il reste cependant que l'afflux constaté vers 16 h ait pu commencer à se manifester déjà 3 ou 4 heures plus tôt et influencer ainsi les caractéristiques de l'eau extraite.

Cet afflux d'eau peut avoir une double origine : claquage d'une fermeture artificielle, ou décolmatage d'un niveau aquifère, peut-être les deux à la fois.

— a) comme fermetures artificielles, on peut envisager d'une part :

la cimentation du fond, d'autre part, les fermetures par les sabots de tubages .

1°) La cimentation du fond a dû tenir puisque ce fond, accusé à 1217.81 (vérification du 7 Octobre) était plus élevé que le reforage du 2 Octobre poussé à 1221.50. Il s'est donc déposé des déblais, ciment ou terrain, sur une épaisseur de près de 4 mètres. Cette fermeture ne semble donc pas en cause, bien que les déblais provenant sans doute de l'afflux brutal aient pu se déposer après l'arrêt du 5 Octobre.

Par ailleurs, nous savons que le Crétacé était absorbant, au moins en eau lourde, par rapport aux niveaux aquifères supérieurs, une poussée ne semblait donc pas à craindre de ce côté.

Enfin, la meilleure confirmation est donnée par l'essai suivant qui, en dépit d'une deuxième cimentation remontant à 1174.80, n'a révélé aucun changement dans les nouvelles conditions d'équilibre réalisées à la fin de l'essai 3.

2°) les fermetures réalisées par les sabots de tubages ne seraient responsables de la remontée du 5 Octobre que dans la mesure où ces fermetures (imparfaites puisque non cimentées) alimentaient déjà le sondage.

— b) Il se pourrait aussi que la dépression produite par les épuisements ait provoqué le décolmatage du niveau alimentant le sondage. Nous verrons qu'il s'agit vraisemblablement du niveau 313. Partiellement isolé par la pose des colonnes 9 "1/4 et 8 ", il a pu se créer progressivement un exutoire plus important à la faveur des épuisements répétés.

Décolmatage de la roche ou claquage d'une fermeture au sabot - et dans ce cas, c'est le 8 ", le 9 " 1/4, ou les deux à la fois, qui devraient être incriminés - il est un fait certain c'est que le niveau qui a produit la remontée brutale du 5 Octobre à 16 h est le même que le niveau qu'on essayait d'épuiser depuis le début de l'essai. La concordance entre les niveaux démontée semble suffisamment explicite à ce point de vue. Le bouchon de ciment au fond est donc bien hors de cause.

Quant à la différence avec la cote au départ, le 3 Octobre (6 m.) elle pourrait être due au fait que l'eau était claire à l'origine alors qu'à la fin de l'essai elle était boueuse et de densité plus élevée; de plus, le 3 Octobre, le sondage était à l'arrêt depuis le 11 Septembre.

Il semble donc bien que l'épuisement, ayant délavé progressivement les marnes derrière le tubage (eau gris vert plus ou moins foncé) et peut-être aussi provoqué des dissolutions dans le gypse, ait facilité progressivement le débouillage du passage derrière les colonnes 9 " 1/4 et 8 " amenant la remontée du 5 Octobre et entraînant finalement l'échec des essais. Si cette hypothèse, qui ne pouvait être conçue à l'époque, avait pu être envisagée, on aurait pu imaginer directement un système permettant de juguler cette venue gênante, comme on le fit par la suite.

Cimentation à 1174.80

A la suite du 3^e essai, un nouveau programme est élaboré le 8 Octobre à Paris, après avis de MM. Martin, Directeur et Béjun, Ingénieur à la Société de Prospection Electrique (Annexe II), en vue de déceler l'origine des venues d'eau. Une nouvelle cimentation est décidée jusque 1170 dans l'espoir de supprimer les venues d'eau que l'on supposait venir en majeure partie du fond du trou.

Un essai d'épuisement rapide permettra de se rendre compte de l'efficacité de la nouvelle cimentation. Puis, après homogénéisation de la boue, on procédera à la détermination des afflux d'eau dans le forage par résistivimétrie et finalement par une étude thermométrique combinée avec des mises en dépression plus ou moins poussées.

Le 7 Octobre, sur ordre du B.R.G.G. " pour boucher à 1170 et éliminer les venues d'eau supposées venir en majeure partie du fond du trou ", on avait déjà procédé à une cimentation avec des seaux, mais sans succès. On recommence la cimentation

à la pompe le 9 Octobre avec 6 sacs de Portland Champagnole, les tiges étant à 1.220 m. La tête du ciment est constatée le 11 à 1189.70. Le même jour on injecte à nouveau 4 sacs pour reboucher à 1174.80, tête constatée le 14 Octobre. M. Lopard décide de ne pas compléter à 1170.

Essai 4 - 15 Octobre 1946

Trou rebouché à 1174.80

Découvert : 1118.20 à 1174.80, base de l'Oligocène et sommet du Crétacé supérieur.

Même tubage que pour les essais 2 et 3, à savoir : tubage complet moins la partie supérieure de la colonne 5-6-7" cassée dans les 6 " à 566 qui est remontée (pl. XIV)

Tête de captage sur 9 " 1/4 (m. 9 " 1/4 $\times$ 10 " 1/2)
épuisement dans 8 ".

Volume théorique du trou 21 m³. 800

Soupape 6 " (74 litres).

Courbe d'épuisement, pl. XXIV

Présences : MM. Lopard et Bonte, Surveillant : M. Roche

Départ à 8 h 13, niveau d'eau à 8 m.

L'épuisement se fait de 8 h 13 à 17 h sans autres interruptions que celles nécessitées par l'inscription des marques et le graissage ou par des incidents divers (10, 12 et 5 minutes).

On retire au total 320 soupapes, soit 23 m³ 680 à la cadence moyenne de 37 soup/h. (2738 lit/h.) mais on n'arrive pas à dépasser 151 m, niveau atteint vers 13 heures. Les quelques arrêts inévitables provoquent des remontées rapides qu'il faut ensuite rattraper. Le niveau 151.50 a été tenu sans interruption de 15 h 45 à 16 h 30, pendant 26 soupapes.

L'eau d'abord normale, devient salée à la 125° soupape (9520 lit.) puis elle bouillonne, présentant une faible odeur d'hydrocarbures. Très salée et sale à la 182° soupape (13.468 lit.) gris verdâtre et salée à la 210° soupape (15.540 lit.) elle

reste ensuite telle avec faible odeur d'hydrocarbures jusqu'à la fin à la 320° soupape à 17 heures. On ne peut guère, de ces caractéristiques, tirer d'interprétation du fait que le trou n'a pas été lavé depuis le précédent essai et que, d'autre part, les manoeuvres nécessitées par la cimentation ont réalisé le brassage de l'eau du sondage. Tout au plus peut-on constater que la quantité d'eau remontée par les 210 premières soupapes (15.540 litres) correspond sensiblement au volume de 566 m. de tubage 8 " (16.215 litres) et en déduire que cette eau provient sans doute d'une rentrée à 566 de boue extérieure au tubage. Il s'agit là évidemment d'une interprétation à fortiori, imprévisible avant les mesures Schlumberger.

Des prélèvements marqués RE 2 ont été effectués de 16 h36 à 16 h 43 sur les soupapes 307 à 311, le niveau de l'eau étant à 151 m.

Malgré tous les efforts et en dépit de la vitesse exceptionnelle d'épuisement, il n'a pas été possible d'atteindre les profondeurs obtenues aux essais précédents. La fermeture du fond n'a donc apporté aucune amélioration et la remontée du 5 Octobre n'était donc pas due au claquage du bouchon de ciment au fond, mais bien à une rupture de fermeture au sabot, rupture qu'il s'agissait dès lors de localiser.

Résistivimétrie - Thermométrie

Avant toute mesure, il est nécessaire d'éliminer les eaux salées attirées par le dernier épuisement. Une circulation d'eau lourde (densité fixée avec Prosélec à 1.07, effectivement 1.04) est imposée à la fois pour laver le trou et pour refouler dans le terrain les venues d'eau salée que des épuisements ultérieurs permettront de faire rentrer par les joints où la résistivité les décelera.

Le 16 Octobre, on procède à une injection d'eau claire puis au remplissage du trou par le bas avec une nouvelle eau lourde.

Le 17 Octobre, une mesure de résistivité est tentée par M. Delamotte, La résistivité étant variable suivant les profondeurs, on en conclut que le brassage est encore défectueux et une nouvelle circulation est ordonnée jusqu'au 19, pour homogénéiser la boue du trou, les tiges étant à 1174.

On constate, en outre, que la sonde accroche à la remontée à 596 et 591 confirmant le mauvais état du tubage déjà cassé à 566, ce qui avait permis la remontée du tronçon supérieur du tubage 5 x 6 x 7 ".

Le 19 Octobre, la mesure de résistivité est couronnée de succès. Le diagramme (planche XV) donne sur la partie gauche la courbe de préparation en trait continu sur laquelle la résistivité est pratiquement régulière passant de 2 ohms/m²/m au jour à 1.2 à 1100 m. On abaisse alors le niveau à 43m.50, sans résultat, puis à 63 m. La courbe enregistrée avec cette dépression figure sur la droite du même diagramme en trait continu pour la descente et en trait interrompu court pour la remontée

Une légère diminution de la résistivité se manifeste au fond dans le découvert; mais l'élément le plus caractéristique est une brusque diminution de la résistivité indiquée par un pic net à 569.30 et correspondant à un afflux d'eau salée. Le tubage étant rompu à 566, et des accrochages s'étant manifestés précédemment à 591 et 596, il est possible que la cote 569.30 corresponde à une ouverture dans le tubage 6 ".

L'étalement vers le haut et vers le bas de la courbe à la descente correspond à l'écoulement de l'eau d'une part vers la surface piézométrique, d'autre part vers le fond absorbant. Quant au trainage vers le haut de la courbe enregistrée à la remontée, il correspond à un entraînement par la sonde de l'eau salée.

Il devenait donc évident, à la suite de cette mesure, que l'afflux des eaux salées abondantes qui avait amené l'échec des essais précédents devait se localiser à l'espace annulaire 6 " - 8 " vers la profondeur 566.

Une nouvelle circulation d'eau lourde pendant la nuit, permet de rétablir l'homogénéité du trou.

Le lendemain 20 Octobre, M. Delamotte procède à l'essai thermométrique (planche XVI).

Une première descente en trou plein (courbe de préparation en trait interrompu court) montre une élévation régulière de la température qui passe de 19° à 13 m, à 48° 5 à 1004 m. La courbe sensiblement rectiligne présente quelques ondulations que l'on peut expliquer de la façon suivante .

La circulation de la nuit précédente, dont le but était de rétablir l'homogénéité de la boue, n'avait pas réalisé l'équilibre thermique qui suppose un arrêt d'au moins 24 h. La boue de circulation étant à la température du jour, soit 15 environ, avait donc provoqué un léger refroidissement des parois du trou. Les ondulations de la courbe de préparation correspondent à un commencement de réchauffement au droit des niveaux thermiquement plus conducteurs ou des horizons offrant un meilleur contact (niveau aquifère par exemple) soit à 205,290,320,720, pour ne citer que les points les plus nets. La dissymétrie de ces ondulations est due à un traînage des calories, au cours de la descente, à partir des points réchauffés.

Après l'enregistrement de cette première courbe on amorce les venues d'eau en produisant une dépression de 78 m. et on effectue une nouvelle descente qui donne une courbe un peu différente (trait continu)

Cette courbe présente plusieurs caractères :

1°) un pic très net à 583.30 dont l'interprétation ne semble pas pouvoir être discutée. Il s'agit d'une pointe endothermique d'au moins 2° correspondant sans doute à une détente de gaz dans les marnes à gypse, derrière le tubage 8 ". Ce pic n'apparaît pas sur le diagramme de carottage électrique, la porosité étant masquée par l'anhydrite.

2°) un changement de pente général de la courbe de température, de part et d'autre de la profondeur 600, la nouvelle courbe étant plus chaude au-dessous, plus froide au-dessus de 600.

Il semble que ce soit ce changement d'allure qui ait été interprété par l'opérateur comme une conséquence du dispositif de mesure dont le " lest au-dessous " aurait occasionné " un léger traînage de frigories emmagasinées lors de la descente ". Mais le même phénomène de traînage existait pour la première descente et les deux courbes devraient être, sinon identiques, puisque le trou était encore en évolution thermique, du moins parallèles, la deuxième courbe devant être plus chaude que la première, sur tout son parcours.

Le fait que le renversement des courbes se produise aux environs de la profondeur 600, où des communica-

tions avec le terrain existent (accorchages 591-596; rupture 596 remontée par la suite; accrochage à 613 quelques jours plus tard,) suggère une autre explication.

Nous savons qu'il existe dans le sondage deux niveaux aquifères importants (313 & 1163) dont les niveaux hydrostatiques sont différents, le niveau supérieur à trou plein, débitant dans le niveau inférieur. Or le fait d'avoir épuisé à 78 m a modifié les conditions d'équilibre. Le niveau 313 débite davantage qu'à trou plein; quant au niveau 1163, il peut cesser d'être absorbant ou même débiter à son tour plus ou moins abondamment.

La partie du sondage située au-dessous de 600 se serait donc réchauffée entre les deux descentes :

soit que, le fond ne débitant pas, le terrain ait réchauffé l'eau du tubage (la courbe devrait alors présenter des ondulations légères)

soit plutôt que, débitant légèrement, l'eau du fond plus chaude ait elle-même réchauffé la colonne de boue.

Pour la partie située au-dessus de 600 m; il est certain qu'il y a eu un écoulement à l'extrados du tubage, en provenance du niveau 313. Cette eau, pour remonter au jour, doit en effet descendre le long du 9 " 1/4 puis du 8 " jusque 643, remonter entre 8 " et 7 " puis entre 8 " et 6 ", pour aboutir finalement à l'intérieur du 8 " à 566. Durant sa descente, elle a donc refroidi le tubage de 300 à 600 mais de moins en moins car elle se réchauffait elle-même au contact du terrain.

L'eau du tubage, refroidie par la circulation à l'extrados, remonte à son tour sous la pression du niveau 313 et maintient le décalage des deux courbes; celles-ci ont tendance à se rapprocher vers le jour, au-dessus du niveau 313 qui débite vers le bas.

Deux résultats importants sont donc fournis par ces mesures : d'une part, afflux d'eau à 566 au joint annulaire 6 " - 8 " ; d'autre part, présence probable de gaz vers 583. Ces résultats motivent l'étude d'un nouveau programme de travaux. Il importe en effet d'éliminer tout d'abord les venues constatées à 566 afin de tenter un dernier essai sur le fond (zone 1159-1170) et ensuite d'étudier le niveau 583 que l'on présume renfermer du gaz.

Le chantier est mis en arrêt en attendant les instructions.

Nouveau programme d'essais

Une deuxième conférence réunit au B.R.C.G. le 25 Octobre 1946 géologues, techniciens et sondeur (voir compte-rendu, Ann. III) pour décider de la suite des opérations. On reprend une solution formulée précédemment par M. Lopard et qui consiste à descendre une colonne étanche venant se raccorder à 1014.98 sur la tête du tubage perdu 3 " 1/2. La composition de la colonne est prévue dans ses grandes lignes ainsi que la garniture d'étanchéité pour le raccordement au fond.

A la suite de cette conférence et en attendant l'usinage des raccords nécessaires pour la pose de la nouvelle colonne, le sondeur se consacre à la révision du tubage en place.

Le 6 " de la colonne 5x6" est abîmé à 613 mais laisse passer un carottier 4 " 1/4; il suffira donc de prévoir du 4 " 1/4 à ce niveau. Comme le coupe-tubes ne peut passer, on descend l'arrache-tubes à 571 qui remonte 30 mètres de tubes 6 " cassés à 596 (accrochage du 17 Octobre). La tête de la colonne 7 " doit donc être dégagée; elle est constatée effectivement à 587.50 (pour 587.35, chiffre donné à la pose). La tête de la colonne 4 " 1/4 perdue est constatée avec un carottier 4 " 1/4 à 884 (pour 884.50).

En révisant le tubage 4 " 1/4 une fraise 3 " 1/2 butte à 590 et 613, mais passe en rotation. La tête du 3 " 1/2 est constatée à 1015.56 (pour 1014.98).

Le trou nettoyé précédemment à l'eau claire est donc prêt pour la pose du tubage. Le joint spécial arrive au chantier le 3 Novembre et on procède, après vérification du découvert, à la descente de la nouvelle colonne 3 " 1/2 x 4 " 1/4 x 5" x 6" avec à sa base un raccord 3 " 1/2 x 3 " garni de plomb et de caoutchouc pour faire joint sur la tête du 3 " 1/2 (pl. XVII). L'opération est terminée le 9 Novembre.

Une erreur de mesure de 8 m. 43 laissait des doutes sur la mise en place correcte. A titre de vérification on épuise à 60 m. env. dans la nouvelle colonne 6 " (27 soupapes de 27 lit. soit 999 lit.) sans que le niveau varie à l'extérieur. Une mesure avec les tiges dans cette nouvelle colonne donne la cote du raccord 3 " 1/2 x 3 " à 1015.45. On présume donc que le raccord est bien en place — ce qui se vérifiera à la remontée le 21 Novembre — et on fixe les nouveaux essais au 12 Novembre.

La nouvelle colonne ne correspond pas exactement à la composition définie lors de la conférence du 25 Octobre car ce programme était irréalisable. Elle ne comporte pas de 7 " comme prévu et la tête de captage est fixée directement sur 6 " par l'intermédiaire d'un raccord 6 x 8 ". En outre, une garniture d'étanchéité au plâtre, sur 0m,40 de hauteur, a été installée entre la nouvelle colonne et l'ancien 9 " 1/4, traversée par un fragment de tube 2 " gaz de 0m,70. Ce tube, destiné éventuellement à un écoulement extérieur à la nouvelle colonne, a fourni un moyen indirect d'apprécier les cotes d'épuisement. Les profondeurs atteintes ne permettaient plus, en effet, d'entendre le choc de la soupape à la surface de l'eau; mais l'onde produite par ce choc se manifestait nettement au jour par un débordement brusque contrastant avec l'écoulement continu, mais lent, de l'espace annulaire, effectivement artésien.

Essai 5 - 12 au 16 Novembre 1946

Trou rebouché à 1174.80

Découvert : 1118.20 à 1174.80, base de l'Oligocène et sommet du Crétacé supérieur.

Nouvelle colonne éliminant toutes les eaux de la partie supérieure, sauf celles qui pourraient éventuellement circuler à l'extrados du 3 " 1/2 (pl. XVII).

Tête de captage sur 6 ", épuisement dans 6 ".

Volume théorique du trou : 12 m³ 35.

Soupape 3 " 1/2 (50 litres environ)

Courbes d'épuisement, planche XXV.

Présences : MM. Iopard et Bonte, Surveillant : M. ROCHE

12 Novembre 1946

Départ à 10 h 56, niveau de l'eau à 9 m,85 à l'intérieur du 6 ". L'espace annulaire donne lieu à un écoulement continu de 11 lit/h environ (même régime qu'au début de l'essai 2)

On tire 141 soupapes, soit 7.050 litres; la marche est régulière à la cadence moyenne de 26 soupapes/heure (1300 lit./h.)

Abaissement maximum à 300 m (16 h 34) après 5 h 38 d'épuisement.

Arrêt à 16 h 34.

L'eau est verdâtre, sans odeur, simplement teintée de rouille,

par frottement contre les tubages. Ce n'est pas encore l'eau du fond.

Au cours de la nuit, le niveau remonte progressivement pour atteindre 78 le lendemain à 6 h. Le tubage extérieur fait certainement son office car l'espace annulaire n'a pas varié. Il y a donc une venue du fond mais moins abondante qu'au cours des essais précédents où les niveaux supérieurs agissaient aussi. La courbe de remontée comparée à celle du 5 Octobre après claquage est en effet beaucoup moins raide. Ce résultat important vient confirmer les données précédemment acquises sur les relations mutuelles des niveaux 313 et 1163.

Le 13 Novembre 1946

Départ à 6 h 30 au niveau 83.

Total extrait : 201 soupapes, soit 10.050 litres, marche régulière à raison de 18 soup./h (900 lit./h.)

Abaissement maximum à 358, à 17 h 21, après 10 h51 d' épuisement.

L'eau est d'abord verdâtre, comme la veille, puis vers 9 h devient noirâtre en même temps qu'une nette odeur d'hydrocarbures apparaît. Le volume extrait depuis le début de l'épuisement atteint environ 11 m³. Il resterait encore plus de 1 m³ à tirer pour sortir l'eau du terrain, mais, en fait, le mauvais fonctionnement du clapet de la soupape et le remplissage incomplet qui en résultait à la fin de la journée précédente ont dû réduire le débit calculé et il faut compter au moins 2 m³ encore à tirer.

A partir de la 145ème soupape, (14.300 litres depuis le début) il se produit, à la vidange de soupape, une mousse blanche. L'eau des soupapes est claire à la base, pétillante, rouille au sommet (raclage des tubages). On a, dès lors, l'eau du terrain : claire, fortement salée, à odeur d'hydrocarbures, de densité 1.04.

On étale vers 356, avec un débit à cette profondeur, de l'ordre de 800 l/h.

Durant la nuit, on procède à des mesures de niveau de 2 en 2 h. Celui-ci remonte à 104, à 6 h du matin.

14 Novembre 1946

Départ à 6 h au niveau 104.

Total extrait, 223 soupapes soit 11.150 litres à la cadence de 17 soup./h (800 lit./h)

Abaissement maximum : 374 à la 203ème soupape, à 16h38 après 11 h 38 d'épuisement.

Arrêt à 18 h 50.

Les courbes d'épuisement du 13 et du 14 sont pratiquement identiques. Les caractéristiques de l'eau sont à peu près les mêmes que la veille en fin de journée. A noter toutefois que l'eau, brúnâtre sale et non salée au début de l'épuisement, reprend un goût salé vers la 100ème soupape. En fin de journée, l'eau est claire, très salée, à faible odeur d'hydrocarbures, de densité 1.04 à 1.05. A 375 mètres, le débit serait de l'ordre de 830 l/h .

La mesure du niveau au cours de la nuit accuse une remontée à 126 à 5 h du matin.

15 Novembre 1946

Départ à 5 h au niveau 126.

Total extrait : 214 soupapes faisant 10.700 litres; marche régulière, malgré plusieurs arrêts, à la cadence moyenne de 18 soup/h (900 lit./h .)

Abaissement maximum : 365 à 17 h 05 après 12 h 05 d'épuisement.

Au départ l'eau n'est pas salée, comme les jours précédents, alors que le soir elle est toujours très salée. Eau claire le matin, brune et salée dans la soirée, pratiquement sans odeur d'hydrocarbures. Densité 1.04 à 1.05.

Le débit a augmenté et, à 360 m., est de l'ordre de 1.300 l/h. à la suite peut-être d'un décolmatage du fond.

A 9 h 33, la 94ème soupape est descendue à 500 m; l'eau est plus noire. Après décantation, la poussière noire traitée à HCl se dissout avec dégagement d'H₂ S. C'est donc du sulfure de fer provenant de la rouille raclée le long des tubages et réduite par H₂ S.

Des prélèvements pour analyse sont effectués à 16 h 43 sur la soupape 211, vers 364 (marque RE 3) puis à 17 h 05 sur la soupape 214, prise vers 600 (marque RE 4). Les résultats en sont donnés en annexe (annexe V).

Au cours de la nuit, on procède à des mesures de niveau de 2 h en 2 h. L'eau remonte de 360 m. à 17 h 30 à 104 m. à 7 h. (16.11.1946).

Au total, le 5ème essai a sorti 39 m³ pour un trou de 12 m³ 35, soit au moins 25 m³ en provenance du terrain. Pendant tout l'essai, l'espace annulaire 6 " - 8 " de son côté, a débité une eau claire à 10 litres /h environ.

Résultats apportés par l'essai 5.

L'épuisement a certainement porté sur l'eau du fond et confirme indirectement la communication des niveaux 313 et 1163 au cours des précédents essais.

Le débit du niveau 1163 a pu être estimé à plusieurs reprises :

800 lit/h à 356 m. le 13 Novembre

830 lit/h à 375 m. le 14 Novembre.

Précédemment des estimations de débit avaient déjà été tentées sur l'ensemble des deux niveaux (313 + 1163)
Le 30 Octobre on avait relevé :

un débit de 700 lit/h pour une dépression de 80 m

et de 1900 lit/h pour une dépression de 185 m

On a ainsi une première idée de la valeur relative des débits.

Le débit du niveau 1163 a varié au cours de l'essai passant de

800/830 lit/h pour une dépression de 356/375 m les
13 et 14 Novembre

à 1300 lit/h pour une dépression de 360 m le 15. Nov.

On peut attribuer cette augmentation à un décolmatage sous l'effet de la dépression créée par l'épuisement.

La comparaison des courbes d'épuisement et surtout de remontée se prête également à quelques remarques.

En ce qui concerne les courbes d'épuisement, on constate que l'épuisement est plus rapide le 12 en raison de la cadence plus poussée. La courbe du 14 est elle-même plus rapide que celle du 13 malgré une cadence un peu plus faible. Enfin, le 15 la vitesse d'épuisement est plus grande que le premier jour malgré une cadence nettement plus faible. Tout ceci traduit une certaine fatigue du gisement qui ne peut se réalimenter aussi vite qu'on l'exploite.

Même remarque au sujet des courbes de remontées qui, elles, sont évidemment plus facilement comparables. A partir du 2^o jour, le niveau n'arrive plus à réatteindre la valeur du 1^{er} jour, par suite de l'abaissement probable du niveau hydrostatique. Par contre, les courbes de remontée sont nettement plus raides surtout les courbes du 14 et du 15 Novembre, au départ confirmant le décolmatage probable des fissures du Crétacé.

Reste à savoir si les eaux sulfureuses extraites du fond au cours de l'épuisement sont bien les eaux du terrain.

Rappelons que l'eau était à peu près claire, dépourvue d'odeur et simplement teintée de rouille le premier jour. Après extraction de 11 m³ (le volume du trou fait 12 m³ 35) une nette odeur d'hydrocarbures apparaît et l'eau devient noirâtre (rouille réduite par H₂ S). A 14 m³ 300, l'eau est à nouveau claire, très salée, pétillante, à odeur d'hydrocarbures. Le 3^o jour (14 Novembre) l'eau est sale, mais non salée le matin; claire, très salée à faible odeur d'hydrocarbures dans la soirée. Enfin, le dernier jour, elle est claire et non salée le matin; brune et salée, sans odeur d'hydrocarbures en fin de journée. En somme, résultats assez discordants sauf une teneur en sel beaucoup plus forte qu'aux précédents essais (voir analyses, annexe III) et une odeur d'hydrocarbures qui tend à disparaître.

(Je pense que nous avons affaire à l'eau du terrain profondément modifiée au droit du sondage.

Nous savons, en effet, maintenant que le niveau 1163 a été maintes reprises absorbant par rapport au niveau 313. Au cours du forage et des nombreuses opérations qui ont précédé l'essai 5, le niveau 1163 sous la pression du niveau hydrostatique supérieur, a absorbé de la boue de forage, des eaux chargées d'H₂S, de l'eau claire et ces eaux se sont partiellement mélangées aux eaux salées qui caractérisent, semble-t-il, le niveau 1163 (faible résistivité au carottage électrique n^o 5).

Au cours de l'essai 5 c'est ce mélange qui a été extrait du trou et son hétérogénéité explique les caractéristiques variables de l'eau, caractéristiques qui semblent se stabiliser vers la fin sous forme d'une eau relativement très salée (70 g/lit.) dépourvue pratiquement d'odeur.

NaCl

Les résultats de ce 5ème essai n'ayant pratiquement rien donné au point de vue hydrocarbures, M. Goguel, consulté par téléphone, donne l'ordre de suspendre les opérations et de procéder au détubage et au rebouchage, tout en réservant la possibilité d'un essai sur le niveau 583 décelé par la mesure thermométrique; par conséquent, en laissant intact le 8 " original dont le sabot est à 643. Un nouveau programme d'essais devra donc être mis à l'étude. L'ordre d'arrêt est transmis le 16 Novembre 1946, et les opérations de détubage et de rebouchage commencent immédiatement.

Détubage et rebouchage à 635
Aménagement du Niveau 583

Le plan de rebouchage comportait :

1°) détubage, dans la mesure du possible, de la dernière colonne d'essais, puis des colonnes perdues 3 " 1/2, 4 " 1/4, 5 x 6 ", 6 ", 7 " jusqu'à 643, sabot du 8".

2°) rebouchage au gravier avec bouchons de ciment, le dernier bouchon étant prévu de 670 à 650.

3°) essais d'épuisement à 650 pour établir un programme d'essais en fonction du résultat obtenu.

Le détubage de la colonne mise en place pour l'essai 5 s'effectue normalement du 16 au 21 Novembre. Au cours de cette opération, on constate que le joint 3 " 1/2 sur 3"1/2 a bien fonctionné; les garnitures plomb et caoutchouc sont écrasées et le plomb est introduit dans les filets de la tête du 3 " 1/2 en place.

Le détubage des colonnes posées pendant le forage est plus difficile. Le 3 " 1/2 n'est remonté qu'en partie et on laisse dans le terrain le tronçon 1118.20 - 1074.50, soit 43 m. 70. Le 4 " 1/4 est dégagé intégralement. On abandonne ensuite successivement :

du 5 " , le tronçon 902.70 à 859 = 43m 70
du 6 " , le tronçon 797.20 à 760 = 37m 20
du 7 " ; le tronçon 727.10 à 700 = 27m 10

Le rebouchage atteint la profondeur 680 environ, le 9 Janvier 1947. Il reste alors dans le trou le 8 " et tous les tubages supérieurs au 8 " .

Premier programme (7 Janvier 1947) Planche XVIII.

Pour l'étude de la zone 583, on avait envisagé à la suite d'un long échange de correspondance, les opérations suivantes :

- 1) le 8 " étant remonté pour vérification, coulée d'un bouchon de ciment de 650 à 610-600 dans la zone détubée pour garantir un bon accrochage dans le terrain, puis remplissage de 600 à 530 avec des matériaux meubles;
- 2) Remise en place de la colonne 8 " avec un tronçon 7 " à la partie inférieure, le sabot à 530 étant ancré dans le terrain par un bouchon de ciment de 15 m.
- 3) reforage du bouchon de ciment jusqu'à la profondeur 530, puis des matériaux meubles jusque 600;
- 4) essai d'épuisement sur toute la passe.

Ce programme était conditionné par l'extraction du 8 ". Or, malgré tous les efforts, le tubage ne peut être sorti entièrement et il reste au fond, à la date du 17 Janvier, le tronçon 643-519.60 (123m.40) qui isole précisément la zone à étudier. Un autre programme doit donc être envisagé .

Deuxième programme (Note Lopard du 18 Février 1947) - Planches XVIII et XIX.

- 1) Fermeture du fond par bouchons de ciment dans le terrain, au-dessous de 643 (sabot du 8 ") et remontant dans le tubage 8 " jusque 635 environ.
- 2) Elimination des eaux supérieures en fermant par une nouvelle colonne la zone détubée de 519.60 (dernière coupe remontée du 8 ") à 489 (sabot du 9 " 1/4).

Pour cela, le nouveau 8 " à descendre comportera de bas

en haut un tronçon 7 " fermé à la base par un bouchon de bois surmonté d'un bouchon de ciment coulé avant descente; un raccord 7 " x 8 " surmonté d'un raccord inverse 8 " x 7 " pour fermer sur le 8 " à 519.60; un tronçon 7 " de 2m.30 comportant sur lm50 (de 517.25 à 518.75) 6 trous de 20 mm. pour injection de ciment; puis le 8 " jusqu'au jour.

3) Reforage du ciment et des bouchons à l'intérieur de la nouvelle colonne 8 ".

4) Perforation à balles dans le tronçon 8 " resté au fond. D'accord avec la Société de Prospection Electrique, il a été décidé de procéder aux perforations suivantes :

614 à 610 : 20 balles,

587 à 580 : 20 balles,

554 à 551 : 10 balles; après abaissement du niveau pour permettre le dégagement éventuel du gaz.

5) Essais par vidange.

Réalisation (Rapport Lopard du 5 Mars 1947) - Planche XIX.

Le 21 Février 1947, le bouchon au fond est constaté à 631.50. Le nouveau tubage, constitué comme prévu sauf l'adjonction d'environ 160 m. de tubes 7 " au-dessus du tronçon perforé, est posé le 27 Février avec un matelas de sacs et de caoutchouc pour faciliter l'étanchéité au raccordement à 519.60. Un joint plomb-caoutchouc comme celui de l'essai 5 aurait été bien préférable; mais les résultats décevants des tentatives précédentes n'encourageaient pas à consentir une attente coûteuse pour l'usinage d'un tel joint.

On effectue alors la cimentation avec 20 sacs; l'injection passe par les trous et remonte au jour entre 8 " et 9 "1/4. Théoriquement le bouchon de ciment aurait dû s'équilibrer par les fenêtres du tubage, à l'intérieur et à l'extérieur, jusque vers 500. On trouve la tête de ce bouchon le 3 Mars à 516.59 (sommet des perforations à 517.25) ^{ce} qui fait un peu juste pour assurer l'étanchéité, si l'équilibre du ciment est réalisé.

Il convient donc de vérifier cette étanchéité avant toute autre opération.

1) le 4 Mars, un épuisement de 11 h 18 à 14 h 15, coupé par un arrêt de 11 h 53 à 13 h 34, abaisse le plan d'eau de 0.30 à 100 m.20. La courbe d'épuisement rectiligne laisse supposer qu'il n'y a pas de fuite au départ (voir pl. XXVI, trait pointillé). Mais le lendemain à 6 h le niveau est remonté à 27 m. Il y a donc une venue d'eau et l'étanchéité du nouveau

tubage n'est pas réalisée. Il est regrettable qu'on n'ait pas enregistré la courbe de remontée qui aurait renseigné sur la façon dont la cimentation avait lâché.

2) On met alors le puits en pression à 30 kg pendant 20 minutes; on ne constate aucune remontée entre 8 " et 9 " 1/4. La fermeture vers le haut est donc assurée.

Ces deux résultats paraissent contradictoires à première vue, mais j'essaierai bientôt d'en donner une explication.

On reprend alors les opérations initialement prévues et on refore les bouchons de ciment et de bois disposés dans la nouvelle colonne avant sa mise en place. On constate alors du ciment, peu consistant il est vrai, de 565 à 574.60 dans le tronçon 8 " resté dans le trou et on retrouve la tête du ciment à 626 le 6 Mars au lieu de 631.50, tête mesurée le 21 février. Il semble que l'on puisse expliquer les faits de la façon suivante :

L'injection du ciment s'est faite normalement par les fenêtres du 7 ". Le ciment est passé à l'extérieur du tubage, comme l'a prouvé la remontée de l'injection au jour entre 8 " et 9 " 1/4. De ce ciment, une faible quantité a pu s'infiltrer vers le bas, soit par le raccordement 519.60, sans doute défectueux, soit par les anciennes coupes non remontées du 8 " à 625, 610.10, 600, 550, 530 (la coupe 530 en particulier avait commencé à se dégager le 17 Février mais n'a pu être sortie) cette dernière hypothèse étant peu probable puisqu'il n'a pas été possible de décoller le tubage. Il s'agit là seulement de légères trainées au sein de la boue, trainées qui n'auraient pas obstrué les passages par lesquelles elles s'infiltraient et qui n'auraient occasionné que des bouchons sans grande consistance. Mais la majeure partie du ciment serait remontée à l'extrados du tubage, sous l'effet d'une chasse trop importante et ne serait pas rentrée par les fenêtres trop petites du 7 ". La colonne annulaire de ciment serait aussi remontée, mais sans obturer toutes les caves, bien plus haut que prévu et peut-être même dans le sabot du 9 " 1/4. Le calcul théorique de cimentation, compte-tenu des bouchons accidentels mentionnés plus haut, donne néanmoins le top ciment vers 500 . Ainsi s'expliquerait la tenue du tubage à la pression, ainsi que la remontée de l'eau qui, circulant derrière le 8 " et peut-être même le 9 " 1/4, serait rentrée par les points faibles (anciennes coupes 8 " non remontées puis joint 519.60; fenêtres d'injection, etc..) de la nouvelle colonne. La courbe de remontée, si elle avait été enregistrée, aurait permis de constater s'il s'était produit des à-coups, mais on ne s'attendait pas à cet échec. Malgré la mauvaise fermeture, impossible à réparer, le B.R.G.G. décide de poursuivre le programme.

Essai 6 - 10 à 13 Mars 1947

(Cet essai se fait en plusieurs phases, en relation avec les perforations Schlumberger exécutées par MM. Delamotte et Quételet).

Trou rebouché à 631.50 (top ciment trouvé à 626 le 6 Mars = bouchon accidentel).

Nouvelle colonne 8 ", trou entièrement tubé, sauf les fenêtres d'injection de ciment, de 517.25 à 518.75 et les coupes non remontées 625, 610.10, 600, 550 et 530 (planches XVIII et XIX)

Tête de captage sur 8 ", épuisement dans 8 "

Volume théorique du trou : 16 m³ 827.

Soupape variable : 4 " 1/4 (58 litres) puis 5 " (88 lit.)
Courbes d'épuisement, pl. XXVI

Présences : MM. Lopard et Bonte, Surveillant : M. Roche

10 Mars 1947

A l'arrivée des opérateurs, on remonte les tiges après nettoyage du trou et on procède à un épuisement pour mettre en dépression les niveaux à étudier. Soupape employée : 4 " 1/4 : 58 lit.

De 11 h à 14 h on extrait 93 soupapes, totalisant 5.394 lit. à la cadence de 31 soup/h. (1798 litres/heure) Le niveau d'eau baisse de 20 à 117 mètres.

De 14 à 17 h première série de perforations avec 3 blocs de 8 balles chacun :

20 balles dans le niveau 614 - 610,

583.50 3 balles dans le niveau 587 - 580, soit à 584, 583.74

1 balle ratée,

total : 24 balles.

Le perforateur est réarmé pour le lendemain et on procède à un nouvel épuisement.

Mêmes caractéristiques que précédemment, mais avec 23 perforations en plus. Le niveau est remonté à 42.

De 17 h à 18 h 19 soupapes (1102 litres) à la cadence de 1102 lit/h abaissent le niveau de 42 à 80.

Un arrêt de 20 minutes fait remonter le niveau à 76.

De 18 h 20 à 24 h, 170 soupapes (9.860 litres) à la cadence de 1742 lit/h abaissent de 76 à 119.

On a extrait au total 16.356 litres pour un trou de 16.827.

On note ensuite les remontées, le niveau se trouve à 16 m le lendemain à 7 h du matin.

11 Mars 1947

On reprend l'épuisement à 7 h avec les mêmes caractéristiques que la veille au soir.

De 7 à 8 h 18 soupapes (1.044 litres) abaissent le niveau de 16 à 55, à la cadence de 1044 lit/h.

On procède alors à une deuxième série de perforations. Le perforateur, composé de 3 blocs loge :

10 balles dans le niveau 587-580,

5 balles dans le niveau 554-551,

3 balles ratées,

Tot. 24 balles.

Le perforateur, poli à la descente, remonte entièrement noirci par un dégagement d'H₂S provenant à priori du niveau 554-551 puisque rien n'avait été constaté la veille à la suite des perforations dans les niveaux inférieurs.

Au cours d'une 3ème descente, le perforateur, ne comportant qu'un seul bloc de 8 balles, place :

2 balles dans le niveau 587-580,

6 balles dans le niveau 554-551,

Tot. 8 balles.

Le perforateur remonte encore noirci, ce qui n'est pas étonnant, l'eau étant désormais chargée d'H₂S.

Le chevauchement des 2ème et 3ème descentes sur deux horizons différents ne permet pas de déterminer le niveau productif, mais il est très vraisemblable que ce soit le niveau 583 qui avait donné une pointe endothermique à la mesure thermométrique du 20 Octobre 1946; il suffit, pour expliquer que le perforateur n'ait pas été noirci à la 1ère descente, avec 3 balles seulement, de supposer que la venue d'H₂S était assez localisée.

Par ailleurs, le niveau 614-610, caractérisé par deux pointes opposées du diagramme de carottage électrique (pl. IV) n'a rien donné à la 1ère descente, et semble donc bien correspondre à un banc d'anhydrite.

A 13 h 40, on reprend l'épuisement dans les mêmes conditions que précédemment, mais avec 29 perforations supplémentaires.

L'épuisement se poursuit sans interruption jusqu'à 24 h, sauf deux arrêts respectivement de 27 minutes (15.25 à 15 h 52) et de 45 minutes (17.35 à 18 h 20). Le niveau de l'eau est ainsi abaissé de 12 m à 13 h 40, à 129 m à 24 h. Au total, on extrait 318 soupapes, soit 18.444 litres à la cadence moyenne de 1742 lit/h.

On note ensuite les remontées et le niveau atteint 17 m.50 le lendemain à 7 heures.

Monsieur Goguel, alerté dans la soirée, autorise une 3ème journée d'épuisement et, éventuellement, un essai de mise en pression à 30 kgs comme précédemment, pour voir si la fermeture 8 " - 9 " 1/4 a tenu.

12 Mars 1947

Nouvel épuisement dans les mêmes conditions que le jour précédent, mais avec une soupape de 5 " d'un volume de 88 litres.
Départ à 7 h à 17m. 50.

De 7 h à 24 h on tire 416 soupapes (36.608 lit) à la cadence moyenne de 24 soup/h. (2172 lit/h). Le niveau est abaissé de 17 m.50 à 7 h à 130 m à 11 h 30. On prend alors 2 soupapes à 600 puis à 625 m, cette dernière butant au fond, ce qui permet une remontée du niveau à 105 m à 12h 20. L'eau prise en profondeur est mousseuse avec une nette odeur d'H₂S et la soupape est noircie.

De 12 h 20 à 14 h 10, l'épuisement en surface abaisse le niveau de 105 à 147. Le gaz n'arrive pas à se dégager maintenu par une colonne d'eau de 430 m. au minimum (147 à 583).

De 14 h 15 à 16 h 45, on continue l'épuisement, mais en descendant à nouveau les soupapes au voisinage du fond. On fait un nouveau prélèvement d'une soupape prise vers 554. (marque RE 5), mais il ne semble pas que l'analyse en ait été faite.

De 17 h 08 à 24 h, l'épuisement se poursuit dans les conditions normales. L'eau remontée à 90 pendant la vidange au fond beaucoup plus lente, est abaissée à 105 à 17 h 25 et à 145 à 24 h.

13 Mars 1947

Le reste de la nuit est employé à mesurer la remontée du niveau de l'eau qui atteint 20 m à 7 h.

Enfin, de 7 h à 7 h 40, on tire encore 20 soupapes, à la cadence de 2640 lit/h qui abaissent le niveau de 20 à 63 m.

L'essai de mise en pression n'est pas tenté puisque le niveau au jour, entre 8 " et 9 " 1/4 n'a pas bougé.

Les courbes caractéristiques (pl. XXVI) confirment l'attribution au niveau 313 des eaux extraites au cours de l'essai 6.

En ce qui concerne les épuisements, on n'arrive pas, avec des débits analogues, à dépasser la profondeur atteinte au cours des essais précédents :

essai 3, 5 Octobre 1946 , débit 2368 lit/h abaissement maximum 151.

essai 4, 15 Octobre 1946, débit 2738 lit/h, abaissement maximum 151.

essai 6, 12 Mars 1947, débit 2172, abaissement maximum 147.

Comme il n'y a plus d'absorption par le fond, les courbes d'épuisement devraient être plus plates, mais on n'a pas d'indications assez précises pour le vérifier.

Les courbes de remontée, par contre, doivent être plus rapides pour la même raison. Effectivement, la courbe du 5 Octobre de l'essai 3 après claquage, est nettement plus plate que les courbes de l'essai 6.

Cimentation à 565.30

Le 13 Mars, au début de la matinée, M. Guillaume demande de mettre fin à tous ces essais, mais nous laisse toute latitude pour tenter une ultime opération avant de passer au rebouchage.

Nous décidons alors, M. Lopard et moi, de cimenter le fond jusque vers 565, de façon à éliminer les coupes du 8 " non remontées (625,610.10 et 600) et les deux séries de perforations aux niveaux 614-610 et 587-580, ne laissant dégagés que les perforations de la passe supérieure 554-551, les coupes 550 et 530 (cette dernière partiellement remontée) et les orifices d'injection de ciment de 517.25 à 518.75.

Nous nous rendons alors, trompés par l'incident du perforateur noirci, que le niveau à H2 S était le troisième (554-551) et non le second (587-580).

On cimente le 13 Mars avec 49 sacs remontant à 579.29, puis le 15 Mars avec 13 sacs remontant à 565.30.

Essai 7, 17 et 18 Mars 1947

Trou rebouché à 565.30

Même colonne 8 " que pour l'essai 6, trou entièrement tubé, sauf les 6 fenêtres d'injection du ciment de 517.25 à 518.75, les coupes non remontées 550 et 530 et les 11 perforations Schlumberger de 554 à 551 (planche XX)

Tête de captage sur 8 ", épuisement dans 8 ".

Volume théorique du trou : 15 m³.088

Soupape 5 "(88 litres).

Courbes d'épuisement, planche XXVII

Présences : MM. Lopard et Bonte, Surveillant : M. Roche.

17 Mars 1947

Départ à 8 h 45 au niveau 3 m.

De 8 h 45 à 11 h 57, épuisement régulier coupé seulement de deux arrêts de 8 et 6 minutes pour remettre la courroie du treuil. On tire 105 soupapes (9240 litres) à la cadence de 33 soupapes/heure (2905 lit/h.) qui abaissent le niveau de 3 à 144 m.

De 11 h 57 à 12 h 45, arrêt pour graissage pendant lequel

le niveau remonte à 116 m.

De 12 h 45 à 15.33, on reprend à la cadence de 28 soup/h environ (2464 lit/h) pour abaisser à nouveau de 116 à 142 m.

On prend ensuite 8 soupapes au fond (eau mousseuse à faible odeur d'H₂S) ce qui permet une remontée du niveau de 80 m à 17.57

De 17.57 à 23 h 20, épuisement régulier à la cadence de 32 soup/h (2816 lit/h) faisant passer le niveau de 80 à 141 m. A ce moment, la soupape reste au fond par suite d'une rupture de filetage en tête et le sondeur essaie de la repêcher au lieu de noter les remontées. On a tiré au total dans la journée 32.472 litres.

18 Mars 1947

La soupape est sortie le 18 Mars à 11 h.

Pour prélever un dernier échantillon d'eau, on reprend l'épuisement à 12 h 46 au niveau 14 et on le poursuit à la cadence horaire de 34 soupapes (1972 litres) jusque 15 h 30. L'abaissement maximum est enregistré à 14 h 40 à 100 m.

On prend une soupape au fond à 14 h 50, puis 7 soupapes à la profondeur normale d'épuisement et enfin les deux dernières soupapes sont prises au fond (556-546) sur lesquelles on prélève un échantillon (marque RE 6) non analysé.

On a tiré dans la journée 5.452 litres d'une eau couleur café au lait, parfois gris noirâtre, pratiquement sans odeur.

Ce dernier essai n'ayant donné aucun résultat appréciable, on arrête les opérations le 18 Mars après avoir refait un essai sous pression à 30 kgs pendant 20 minutes pour constater que l'eau ne remonte pas à l'extrados du tubage.

L'ensemble des essais d'épuisement a sorti du sondage plus de 333 m³ d'eau.

Le trou est mis en détubage et rebouchage.

Arrêt - Détubage et rebouchage
(Pl. XXVIII)

Le dernier rebouchage a été effectué à 565.30

On essaie vainement de décaler aux vérins le nouveau tubage cimenté. Des coupes à 510 et 500 ne donnent pas de meilleur résultat; une coupe à 489, au sabot du 9 " 1/4 permet enfin de remonter une partie du tubage 7 " x 8 " du dernier essai. La cimentation était donc bien remontée au-dessus de 500, mais n'avait pas atteint le sabot du 9 " 1/4. On abandonne dans le trou le reste du tubage (32 m.73 de tubes 7 " avec raccords sur 8 " en place).

Le 9 " 1/4 est partiellement extrait; il reste dans le terrain 157 m de 489 à 332 que l'on rebouche au gravier avec bouchons de ciment.

J'avais proposé au détubage une étude du niveau 313 qui avait **contrarié** les essais mais qui aurait pu éventuellement servir d'eau d'alimentation. Cette proposition ne fut pas retenue en raison des économies imposées à l'époque et le rebouchage ne fut pas interrompu.

On passe alors à l'extraction du 10" 1/2 qui résiste lui aussi. Après plusieurs coupes on abandonne au fond, par suite d'éboulements, 36 m.40 de tubes de 311.40 à 275.

Un épais bouchon de ciment est coulé ensuite pour isoler le niveau aquifère 313.

Le 13 " 1/2 x 15 à son tour tient fermement au terrain et on n'arrive à récupérer que la partie protégée par le tubage suivant, laissant au fond 137 m. de 217 à 80.

On passe ensuite au détubage des colonnes rivées. On abandonne successivement : 33 m de 450 mm de 72 à 39; 31 m de 550 mm de 40.50 à 9.50. Le tubage 650 est remonté en entier.

Entretemps, on a continué le rebouchage à l'aide de gravier avec quelques bouchons de ciment; le dernier a sa tête à 9 m.50. De 9.50 à 3.50, on rebouche avec des débris de carottes; de 3.50 à 0.50 avec du béton et enfin, de 0.50 on raccorde au sol naturel avec de la terre.

Le rebouchage est terminé le 7 Juillet 1947.

CONCLUSIONS

Malgré le caractère approximatif des mesures réalisées au cours des essais de mise en production, le sondage de Ratte apporte quelques résultats susceptibles d'être utilisés par la suite. Les conclusions que l'on peut tirer de l'ensemble des travaux ne sont ni rigoureuses ni définitives, mais elles donnent un ordre de grandeur des phénomènes observés.

On pourra sans doute, des chiffres et des diagrammes accumulés, déduire d'autres indications. J'ai essayé, pour ma part, d'être aussi précis et aussi complet que possible et de tirer des éléments rassemblés des interprétations qui peuvent au moins être considérés comme un dégrossissage du problème. L'avenir dira peut-être si les hypothèses, formulées à partir de raisonnements parfois délicats à échafauder, étaient justifiées.

Avant de faire la récapitulation des résultats obtenus, je voudrais essayer de rétablir la succession des opérations telles qu'elles se sont déroulées, en les interprétant au fur et à mesure à la lumière de tous les faits connus.

Essai de reconstitution.

a) Le forage - A la profondeur 313, puis à plusieurs reprises dans les calcaires lacustres, se manifestent des venues d'eau artésiennes, qui sont finalement jugulées par injection d'eau lourde.

Dans les marnes à gypse, les carottes présentent une forte odeur d'H₂S mais il n'y a aucune manifestation extérieure au cours du forage, sans doute du fait de l'eau lourde entretenue par la traversée de plusieurs dizaines de mètres de marnes.

Au-delà des marnes à gypse et jusqu'à la profondeur 1160 aucun fait marquant, au point de vue qui nous intéresse, ne ressort des rapports de sondage. Mais les multiples incidents de forage et les déviations qui en résultent affectent la verticalité du trou. Les tubes s'usent intérieurement par la rotation des manchons dans une injection chargée de sable et leur étanchéité est gravement compromise pour la suite.

C'est à l'arrivée dans le Crétacé vers 1163 que de nouveaux incidents se produisent. Le niveau hydrostatique était commandé jusque là par l'horizon aquifère 313 des calcaires lacustres du Stampien, partiellement isolé par les différents tubages. L'entrée dans le Crétacé calcaire fissuré, dont le niveau hydrostatique est moins élevé, provoque un abaissement brusque du niveau de - 63 à - 95 malgré l'allègement de l'eau lourde.

La dépression relative ainsi produite provoque le décolmatage des sabots et le passage de l'eau du niveau 313 par les ruptures de tubages notamment à 566 dans la colonne 5 x 6 x 7 " En même temps le gaz du niveau 583 n'étant plus retenu par une colonne de boue suffisante provoque un émulsionnement et des dégagements gazeux; on frise même l'éruption le 9 Juillet pendant le forage et encore le 30 Août à la suite du lavage à l'eau claire effectué avant les essais.

La coïncidence entre l'arrivée dans le Crétacé et le dégagement gazeux a conduit tout naturellement à établir entre les deux faits une relation de cause à effet qui nous illusionnera tous jusqu'à la fin. En fait, c'est la rupture, sans doute ancienne, du 5 x 6 x 7 " à 566, rendue brusquement efficace par la dépression due à l'arrivée dans le Crétacé absorbant, qui permet le dégagement du gaz du niveau 583 et qui est ainsi la cause de toutes les perturbations et de toutes les erreurs d'interprétation.

b) Les essais - Les essais 1, 2 et 3 effectués simultanément sur les deux niveaux 313 et 1163 montrent une venue de boue à odeur d'hydrocarbures vers 566. En même temps que la boue remonte sous l'effet de l'épuisement, une partie gagne le fond absorbant d'où on la sortira au cours de l'essai 5 qu'elle viendra perturber.

A la fin de l'essai 3, le claquage d'une fermeture provoque un afflux d'eau important qui ne modifie pas le niveau hydrostatique mais seulement la vitesse de remontée interdisant désormais de dépasser la profondeur 151.

L'essai 4 confirme ce dernier résultat. Il donne en outre une eau moins salée par suite de la dilution par une eau douce plus abondante du fait du claquage.

Les mesures de résistivité et de température, après mise en dépression, apportent la preuve d'une venue d'eau localisée à 569.30 et de la présence de gaz sous pression à 583.21.

L'essai 5, après descente d'une colonne étanche spéciale, permet d'étudier isolément le niveau 1163 dont le débit beaucoup plus faible autorise un abaissement jusqu'à 374. Les eaux extraites par les soupapes sont plus salées que précédemment; elles présentent encore une odeur d'hydrocarbures mais celle-ci va s'affaiblissant du début à la fin de l'épuisement. Ce sont les eaux (salées) du terrain modifiées par de l'eau boueuse chargée de gaz dissous, en provenance des horizons supérieurs et absorbée depuis l'époque du forage sous la pression du niveau 313.

On abandonne alors le fond pour reprendre le niveau 583.

Après détubage et rebouchage de la partie inférieure du trou, on descend une nouvelle colonne cimentée à sa base, mais de façon imparfaite malheureusement.

Les essais 6 et 7 sont effectués en liaison avec des perforations Schlumberger. Mais le niveau aquifère 313 agit toujours et ne permet pas de sortir le gaz qui se manifeste néanmoins par le noircissement du perforateur.

On abandonne alors définitivement le trou.

En terminant cet essai de reconstitution, on ne peut que déplorer à nouveau les défauts du forage, dues en partie aux circonstances du moment.

Si le tubage 5 x 6 x 7 " n'avait pas lâché, les premiers essais auraient immédiatement renseigné sur la nature du fond. Et surtout, si le niveau aquifère 313 avait été soigneusement isolé, à l'origine, par la cimentation du 9 " 1/4, aucun incident ne se serait produit à l'arrivée dans le Crétacé, les épuisements n'auraient pas été impuissants et l'essai du niveau 583 aurait sans doute été positif. Mais peut-être aucun essai n'aurait-il été tenté !

Résultats fournis par le sondage de Ratte.

Au point de vue pratique, et en dehors de toute considération géologique, le sondage de Ratte, malgré ses imperfections, nous apporte quelques résultats importants au point de vue des eaux et des recherches d'hydrocarbures.

- 1) Eaux - Deux niveaux aquifères importants ont été traversés :
 - a) le calcaire lacustre stampien renferme des eaux artésiennes, pouvant donner de gros débits, vraisemblablement douces et qui pourraient être utilisées pour des alimentations en eau ;
 - b) les eaux du Crétacé sont salées, mais leur surface piézométrique est nettement inférieure à celle des calcaires stampiens avec un débit localement plus faible.
- 2) Hydrocarbures - Les hydrocarbures liquides sont pratiquement inexistants. Tout au plus a-t-on pu constater sur l'eau des irisations dont l'origine reste incertaine.

Les hydrocarbures gazeux, par contre, sont vraisemblables et se sont manifestés de différentes façons : odeur nette bien que souvent masquée par H₂ S; bouillonnements et menaces d'éruption; pointe endothermique sur le diagramme thermométrique.

Peut-être ne s'agit-il là que de simples poches sans importance pratique. Nous avons en effet assisté à des menaces d'éruption: en fin de sondage, en eau peu dense, il est vrai, puisqu'on forait à la grenaille, puis à la fin du lavage avant les essais, en eau claire. Quelques bouffées ont ensuite été signalées au cours de l'essai 2, le 9 Septembre 1946 à 16 h 50, et pendant la nuit du 11 au 12 Septembre, sous une dépression de 190 à 200 m. Il n'a plus été donné par la suite, d'assister à des manifestations gazeuses, même en eau à peu près claire, malgré des dépressions du même ordre.

Le gaz est inexistant dans le socle antéoligocène; il provient certainement des marnes à gypse vraisemblablement du niveau 583 au sondage de Ratte.

Il ne semble pas qu'il s'agisse là d'un gisement primaire. La véritable origine du gaz serait à rechercher beaucoup plus bas. Le Crétacé est, en effet, stérile tant à Ratte qu'à Vincelles; le Jurassique supérieur traversé sur une assez grande épaisseur à Vincelles n'a fourni aucun indice. Il faudrait sans doute pousser jusqu'au Trias et vraisemblablement jusqu'au Muschelkalk supérieur pour retrouver des indices sérieux et peut-être une production.

J'ai signalé il y a quelques années, dans un rapport intérieur du B.R.G.G., que dans le Vignoble lédonien, le Muschelkalk supérieur renfermait à plusieurs niveaux des roches magasins présentant des indices d'hydrocarbures, mais malheureusement envahies par l'eau; c'est au-dessus, dans les zones où la Lettenkhole est bourrée ou diaclasée que l'on rencontre des gisements de gaz exploitables (Note 157 CE du 6 Janvier 1948) On a néanmoins observé dans des cas particuliers des traces d'huile dans les dolomies du Muschelkalk, notamment à Revigny et à Baume-les-Messieurs. Enfin M. Appert a pu extraire de roches analogues provenant des sondages de Lavigny et Perrigny I une huile jaune dans la proportion de 0^{cc},3 pour 90 gr.

Il semble donc que ce soit ce Muschelkalk qu'il faille atteindre en profondeur pour escompter des résultats

positifs. Ceci conduit à des profondeurs importantes que l'on peut estimer, d'après ce qu'on connaît de la stratigraphie du socle antéoligocène, à 2200 m. au méridien de Vincelles et 2700 au méridien de Ratte. Le long de la bordure orientale de la Bresse, sur le parallèle de Lons-le-Saunier, les sondages ne peuvent espérer atteindre le Muschelkalk à moins de 3.000 à 3.500 m. de profondeur. Ces profondeurs ne sont que des ordres de grandeur, suivant la transversale de Lons-le-Saunier; elles augmenteraient sensiblement vers le Sud, par contre vers le Nord, elles seraient certainement de moins en moins importantes.

Besançon le 30 Août 1951

A. BONTE.

TABLE DES ANNEXES

Annexe I - Programme d'équipement du Forage de Ratte en vue d'essais à
----- la production.
Compte-rendu de la Conférence tenue le 17 Septembre 1946 au
B.R.G.G.

Annexe II- Résumé de la Conférence du 8 Octobre 1946 à propos du
----- repérage des venues aquifères.

Annexe III- Procès-verbal de la Conférence tenue au B.R.G.G. le 25
----- Octobre 1946 au sujet de la suite à donner aux travaux du
forage de Ratte.

Annexe IV - Analyses des eaux prélevées au sondage de Vincelles.

Annexe V - Analyse des eaux prélevées au sondage de Ratte au cours
----- des essais d'épuisement.

Interprétation de M. Montagne.

Table des planches

- Planche I - Coupe sommaire des sondages de Vincelles et Ratte-Ech. 1/8000
- Planche II- Plan général : tubage complet, opérations Schlumberger, coupe géologique provisoire. Echelle 1/4000
- Planche III- Carottage électrique - Ratte n° 1 - 532 à 311.50 Ech. 1/500
- Planche IV - " Ratte n° 2 - 646 à 485. "
- Planche V - " Ratte n° 3 - 720 à 658. "
- Planche VI - " Ratte n° 4 - 1084.50 à 1024.50 "
- Planche VII - " Ratte n° 5 - 1220.50 à 1118.50 "
- Planche VIII - " Vincelles n°1- 690 à 559 "
- Planche IX - " Vincelles n°2- 989 à 804 "
- Planche X - Essai 1 (2 Septembre 1946) Plan du tubage, Echelle 1/4000
- Planche XI- Essai 2 (9-11 Septembre 1946) Plan du tubage . Echelle 1/4000
- Planche XII- Programme Darboux (non exécuté). Echelle 1/4000
- Planche XIII- Essai 3 (3-5 Octobre 1946) Plan du tubage - Echelle 1/4000
- Planche XIV - Essai 4 (15 Octobre 1936) et mesures Schlumberger (19-20 Octobre 1946) Plan du tubage - Echelle 1/4000
- Planche XV - Résistivimétrie, diagramme Schlumberger (19 Octobre 1946) échelle 1/500
- Planche XVI - Thermométrie, diagramme Schlumberger (20 Octobre 1946) échelle 1/500
- Planche XVII- Essai 5 (12-15 Novembre 1946) Plan du tubage -Echelle 1/4000
- Planche XVIII- Essai 5 (10-13 Mars 1947) Plan du tubage - Ensemble Echelle 1/4000
- Planche XIX - Essai 6 (10 -13 Mars 1947) Plan du tubage - Détails
A - Détail de la zone à étudier - Echelle 1/500
B - Détail de la colonne 8 " Echelle 1/50
- Planche XX - Essai 7 (17-18 Mars 1947) Plan du tubage - Echelle 1/4000
- Planche XXI - Courbes d'épuisement Essai 1
- Planche XXII- " Essai 2
- Planche XXIII- " Essai 3

Planche XXIV - Courbes d'épuisement - Essai 4

Planche XXV - " - Essai 5

Planche XXVI - " - Essai 6

Planche XXVII- " - Essai 7

Planche XXVIII- Plan de rebouchage.

Planche XXIX - Tableau récapitulatif des caractéristiques des
essais d'épuisement.

TABLE DES MATIERES

	Pages
<u>Introduction</u>	1
<u>Ière Partie - Données générales relatives au sondage</u> ..	2
I - Généralités	2
II - Coupe géologique sommaire	2
III - Constitution du tubage	4
IV - Niveaux aquifères	6
V - Indices de gaz	7
VI - Carottages électriques	9
<u>IIème Partie - Les Essais d'épuisement</u>	17
Généralités	17
Essai 1	19
Essai 2	22
Programme Darboux	27
Essai 3	28
Essai 4	35
Résistivimétrie - Thermométrie	36
Nouveau programme d'essais	40
Essai 5	41
Essai 6	51
Essai 7	55
<u>Conclusions</u>	58
Table des Annexes	63
Table des planches	64