

C. G. C. U.

COMPAGNIE GÉOTHERMIQUE DE CHAUFFAGE URBAIN

Avenue de la Libération
77350 LE MÉE-SUR-SEINE

CONFIDENTIEL

**CHAUFFAGE GÉOTHERMIQUE
DE LA ZAC DES COURTILLERAIES, A MÉE-SUR-SEINE
(Seine-et-Marne)**

par

A. CLOT et Ph. MAGET



BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

Département géothermie

B.P. 6009 – 45018 Orléans Cédex – Tél.: (38) 63.00.12

76 SGN 366 GTH

Orléans, septembre 1976

RESUME

L'étude qui fait l'objet de ce rapport a été commandée et financée par la Compagnie Géothermique de Chauffage Urbain. Elle a pour but de préciser les conditions d'exploitation de l'eau du Dogger pour le chauffage de logements dans la ZAC des Courtilleiraies à Mée-sur-Seine (Seine et Marne).

L'étude géologique et hydrogéologique a permis de dégager les caractéristiques du réservoir au droit des Courtilleiraies avec les marges d'erreur possibles. Les pressions de débit aux puits de production ont été calculées en faisant varier la perméabilité et la pression de gisement à l'intérieur des fourchettes ci-dessus définies, dans les conditions suivantes :

- 150 m³/h et 170 m³/h avec un tubage 7"
- 170 m³/h et 200 m³/h avec un tubage 9"5/8.

Les rabattements ne devraient pas dépasser :

- 110 m avec un 7" pour un débit de 170 m³/h
- 95 m avec un 9"5/8 pour un débit de 200 m³/h.

Deux schémas d'implantation, prévoyant chacun 2 doublets (nécessités par les besoins en chauffage) ont été envisagés en tenant compte des contraintes suivantes :

- la durée de vie des doublets doit être supérieure à 30 ans ;
- les forages sont verticaux ;
- il n'y a qu'une chaufferie centralisée pour toute la ZAC ;
- un puits de production doit être implanté au droit de la chaufferie ;
- les autres puits doivent être prévus dans les zones de flexibilité définies dans le plan d'aménagement de la zone.

TABLE DES MATIÈRES

	<u>Pages</u>
INTRODUCTION.....	1
HYDROGEOLOGIE.....	2
CHOIX DE L'AQUIFERE.....	2
. <i>Albien</i>	2
. <i>Néocomien</i>	2
. <i>Furbeckien</i>	2
. <i>Lusitanien</i>	2
. <i>Dogger</i>	2
. <i>Trias</i>	3
GEOLOGIE DU RESERVOIR.....	4
. <i>Cadre géologique</i>	4
. <i>Lithologie du réservoir</i>	4
GEOMETRIE DU RESERVOIR.....	6
CARACTERISTIQUES DU RESERVOIR.....	7
. <i>Porosité</i>	7
. <i>Perméabilité</i>	7
. <i>Pression de gisement</i>	8
CARACTERISTIQUES DU FLUIDE.....	8
. <i>Température</i>	8
. <i>Salinité</i>	9
. <i>Gaz</i>	9
CONCLUSION.....	10
CARACTERISTIQUES DES FORAGES.....	11
. <i>Géologie des terrains traversés</i>	11
. <i>Pression en tête du puits de production</i>	13
. <i>Implantation des puits</i>	14
CONCLUSION.....	16

LISTE DES PLANCHES HORS TEXTE

Planche 1

Les Courtilleraies : plan de situation.

Planche 2

Position schématique des principales formations aquifères.

Planche 3

Cadre géologique - Profondeur du réservoir.

Planche 4

Hydrochimie.

Planche 5

Coupe géologique prévisionnelle.

Planche 6

Pression en tête du forage de production.

Tubage 7".

Variations en fonction des paramètres hydrogéologiques pour $Q = 150 \text{ m}^3/\text{h}$.

Planche 7

Pression en tête du forage de production.

Tubage 7".

Variations en fonction des paramètres hydrogéologiques pour $Q = 170 \text{ m}^3/\text{h}$.

Planche 8

Pression en tête du forage de production.

Tubage 9" 5/8.

Variations en fonction des paramètres hydrogéologiques pour $Q = 170 \text{ m}^3/\text{h}$.

Planche 9

Pression en tête du forage de production.

Tubage 9" 5/8.

Variations en fonction des paramètres hydrogéologiques pour $Q = 200 \text{ m}^3/\text{h}$.

Planche 10

Implantation des forages.

Planche 11

Les Courtilleraies - Visualisation.

Avancée.

Fronts thermiques. Implantation 1.

Planche 12

Evolution de la température aux puits de production.

Implantation 1.

Planche 13

*Les Courtilleraies - Visualisation.
Avancée.
Fronts thermiques.
Implantation 2.*

Planche 14

*Evolution de la température aux puits de production.
Implantation 2.*

INTRODUCTION

A la demande de la Compagnie Géothermique de Chauffage Urbain, le Bureau de Recherches Géologiques et Minières a effectué une étude préliminaire en vue de la réalisation d'un forage de production d'eau chaude pour le chauffage d'habitations dans la zone dite des "Courtilleries" à Mée-sur-Seine (Seine et Marne).

Ce rapport comporte d'une part une étude géologique et hydrogéologique du seul niveau aquifère susceptible d'être exploité -le "Dogger"- avec la détermination des paramètres essentiels et de leur marge d'erreur, d'autre part les résultats obtenus par simulation sur modèle analogique numérique pour connaître l'incidence possible d'une exploitation éventuelle sur l'ouvrage de Melun - l'Almont et pour déterminer les caractéristiques de l'ouvrage.

Les caractéristiques hydrogéologiques et la coupe géologique prévisionnelle se rapportent au "doublet géothermique" dont les sites ont été définis initialement par la C. G. C. U. ; le forage de production se trouve à l'emplacement de la chaufferie et celui d'injection dans l'angle ouest du bois de Marché Marais, au delà des lignes à haute tension ; les emplacements sont présentés sur la planche 1, hors texte.

L'étude générale "Potentiel géothermique du Bassin Parisien" a servi de base à ce travail (1) pour lequel nous nous sommes attachés à définir le réservoir avec plus de précision sur le plan vertical et en déterminant toutes les caractéristiques qui dépendent du site considéré.

(1) "Potentiel géothermique du Bassin Parisien" ; réalisé en 1975 par le BRGM et Elf - Aquitaine pour la DGRST.

HYDROGEOLOGIE

CHOIX DE L'AQUIFERE

Le sous-sol du Bassin Parisien renferme de nombreuses formations aquifères disposées en "assiettes" successives et ayant leur point le plus profond au-dessous de la Brie, c'est-à-dire vers le Nord-Est de Mée-sur-Seine.

La planche 2 présente la succession des terrains pour lesquels sont précisées la lithologie dominante et leur valeur au point de vue hydrogéologie (colonne perméabilité). Ce tableau fait apparaître les principales formations aquifères dont nous donnons ci-dessous les principales caractéristiques.

- Albien : les sables de l'Albien constituent un excellent réservoir exploité depuis le siècle dernier dans la région parisienne ; mais du fait de sa faible profondeur -de l'ordre de 750 m- la température de l'eau est assez basse (moins de 40°). En outre, l'exploitation de cette nappe est soumise à une législation très rigoureuse.

- Néocomien : 200 mètres plus bas, on rencontre d'autres bancs sableux intercalés dans des niveaux argileux. La température est encore faible, de l'ordre de 45°.

- Purbeckien : les calcaires dolomitiques du Purbeckien constituent un réservoir d'épaisseur très réduite immédiatement sous les sables du Néocomien.

- "Lusitanien" : dans la région de Mée-sur-Seine, les calcaires du Lusitanien ont une faible porosité. Nous sommes à la limite occidentale des calcaires oolithiques qui sont aquifères sous la Brie.

- Dogger : les calcaires oolithiques et graveleux du Dogger constituent le premier réservoir rencontré, à une profondeur de l'ordre de 1 700 mètres. Ils renferment de l'eau salée à une température de plus de 70°.

- Trias : le Trias est formé par une puissante série détritique argilo-gréseuse qui renferme plusieurs niveaux gréseux perméables entre 2200 et 2400 mètres de profondeur. Il est cependant mal connu étant donné qu'il a été traversé par très peu de forages. De plus, le caractère discontinu de ce type de sédiments entraîne un risque géologique important.

Cette analyse montre que seul le Dogger peut constituer un objectif intéressant en géothermie ; nous étudierons donc cette formation géologique dans les chapitres suivants.

Les caractéristiques des aquifères traversés, nécessaires pour un programme de forage, sont présentées à la page 12.

GEOLOGIE DU RESERVOIR

- Cadre géologique

Les calcaires oolithiques et graveleux qui constituent le réservoir sont des formations caractéristiques de mer peu profonde, chaude et agitée. Des débris d'organismes formant le noyau de concrétions calcaires, ont été roulés dans des zones de courant et la juxtaposition de toutes ces "sphérules" a abouti à la formation d'une roche présentant une porosité de matrice.

Ce type de sédiments s'est mis en place à l'époque géologique du "Dogger" entre un sillon plus profond à l'Ouest où se sont déposées des marnes, dont la limite passe approximativement par Rambouillet-Etampes, et une plateforme au Nord-Est du Bassin Parisien où la sédimentation calme a entraîné la formation de calcaire compact.

Cette situation figure sur la planche 3.

- Lithologie du réservoir

La répartition des bancs poreux dans le Dogger est déduite de l'étude des forages les plus proches. On distingue plusieurs niveaux qui se retrouvent dans toute la région, à quelques variations près, et que l'on désignera par les symboles suivants :

- R : pour les niveaux perméables (réservoir)
- C : pour les niveaux de calcaire compact
- A : pour les niveaux argileux.

La coupe schématique est la suivante :

- R.C. : la partie sommitale du Dogger est formée par une alternance de calcaires compacts et vacuolaires. Elle est très souvent fissurée dans la région considérée. A l'Est, cet horizon devient franchement compact : la carte de la planche 3 présente la limite orientale du Dogger supérieur plus ou moins poreux.

R.I. : c'est le réservoir principal du Dogger, formé par les calcaires oolithiques et graveleux du Bathonien-Callovien. A l'Ouest, il devient compact et argileux, mais il est particulièrement développé au Nord, sous la Brie. Au Sud-Est, les oolithes et gravelles sont prises dans un ciment crayeux qui rend la roche peu perméable et friable (cf. carte de la planche 3).

C. : la base de ces calcaires est compacte.

A.I. : le niveau de calcaire argilo-gréseux avec intercalation de marne est imperméable.

R.2. : un autre horizon calcaire renferme des niveaux oolithiques qui constituent un réservoir "secondaire". La porosité est cependant faible et l'épaisseur réduite.

A.2. : une épaisse série marneuse, datée du Bajocien, sépare les deux niveaux R.2. et R.3.

R.3. : un banc de calcaire d'épaisseur très réduite constitue localement dans le Bassin Parisien un réservoir "annexe". Dans la région de Mée-sur-Seine, il est plutôt compact.

De cette description, on retiendra les niveaux R.C. et R.1. qui constituent l'aquifère à capter. Il est cependant préférable de traverser le niveau C afin de profiter d'une fissuration éventuelle de la roche. Ces trois niveaux apparaissent sur la coupe prévisionnelle de la planche 5.

GÉOMETRIE DU RÉSERVOIR

La profondeur et l'épaisseur du réservoir sont déduites des cartes présentées dans l'étude générale citée précédemment (1) et du calcul des porosités effectué à partir des diagraphies différées se rapportant aux forages avoisinants.

Les résultats sont les suivants :

PARAMETRES	FORAGES DE	
	PRODUCTION	INJECTION
Cote du sommet du réservoir (par rapport au niveau de la mer)	- 1625 m	- 1615 m
Cote sol (approximative)	+ 75 m	+ 80 m
Profondeur du sommet du réservoir	1700 m	1695 m
Précision	± 20 m	± 20 m
Epaisseur totale des calcaires: (RC + R1 + C)	100 m	
Epaisseur utile du réservoir	70 m	
Porosité correspondante	13 %	

Ces paramètres se rapportent aux sites définis au début du rapport (introduction). Dans le périmètre de la ZAC des Courtilleraies la cote du sommet du réservoir est comprise -approximativement- entre -1610 m et -1630 m.

La carte structurale du sommet du réservoir est présentée sur la planche 3.

(1) : "Potentiel géothermique du Bassin Parisien - BRGM - Elf - Aquitaine - 1976.

CARACTERISTIQUES DU RESERVOIR

Nous indiquons ci-dessous les paramètres essentiels qui interviennent dans les formules d'écoulement utilisées pour la définition du "doublet géothermique" (forage de production et forage d'injection):

Porosité

La porosité est obtenue soit à partir de mesures sur carottes prélevées dans les forages situés à proximité, soit par calcul d'après les diagraphies existantes (Sonique, Neutron, Microlog,...).

En excluant les bancs compacts dans les niveaux R.C., R.1. et l'unité C, la porosité du réservoir varie de 7 à plus de 20 %, et la moyenne est de l'ordre de 13 % (± 2 %).

Signalons que dans les forages pétroliers situés dans cette région, on a remarqué une fissuration qui -dans certains cas- peut augmenter la perméabilité apparente. C'est pourquoi nous jugeons préférable de traverser le niveau C pour le captage de l'aquifère.

Perméabilité

Ce paramètre définit la facilité plus ou moins grande avec laquelle la formation se laisse traverser par un fluide. Sur les forages pétroliers, il est déterminé à partir d'enregistrements des variations de pression obtenus au cours d'essais de formation. Il faut noter cependant que les très faibles durées de ces essais et que l'influence de la boue de forage rendent ces mesures très imprécises ; de plus, ces essais ont été réalisés dans la partie supérieure du réservoir (niveau R.C.) où la porosité est relativement faible.

Le site des Courtilleraies se trouve cependant peu éloigné de l'ouvrage de Melun-l'Almont où la perméabilité calculée d'après les données communiquées est de 0,5 darcy (1). Cette valeur peut être conservée pour la zone envisagée sans risque d'erreur important ; l'incertitude -due aux irrégularités géologiques accidentelles- est fixée à $\pm 0,1$ darcy.

(1) Données utilisées avec l'autorisation de la S. T. G.

La transmissivité qui en découle, produit de la perméabilité des terrains par l'épaisseur de l'aquifère, est de l'ordre de 35 darcy-mètres.

Pression de gisement

La pression au sommet du réservoir est déduite de la cote piézométrique de la nappe du Dogger (c'est-à-dire de la cote d'élévation de l'eau), compte tenu de la densité du fluide dans les conditions de gisement. Elle serait :

$$P = 176 \text{ kg/cm}^2 \pm 2 \text{ à } 1700 \text{ mètres de profondeur.}$$

Cette valeur est commune pour les 2 sites (forage de production et forage d'injection) étant donné l'incertitude relative à cette donnée. La pression de gisement est en effet le paramètre le plus difficile à déterminer en raison de l'imprécision des mesures effectuées sur les forages pétroliers.

La nappe est artésienne dans toute la région de Melun. Aux Courtilleraies, la pression au sol est voisine de 10 kg/cm^2 .

L'étude de la surface piézométrique dans le Bassin Parisien montre une mise en charge au Sud-Est, dans la région comprise entre les rivières du Loing et de l'Yonne. L'écoulement de la nappe se ferait vers le Nord-Ouest.

CARACTERISTIQUES DU FLUIDE

Température

Une étude entreprise dans le cadre de l'évaluation du potentiel géothermique du Bassin Parisien (1) a permis de connaître les variations du gradient géothermique, c'est-à-dire l'augmentation de la température pour un accroissement de la profondeur de 100 mètres. Dans la région de Mée-sur-Seine, le gradient est de l'ordre de 3,5.

(1) cf. rapport pré-cité.

Au forage de production, la température de l'eau au niveau du réservoir serait de 71° C.

Compte tenu de l'imprécision sur la détermination du gradient géothermique et sur la profondeur, le risque d'erreur est de $\pm 2^\circ$ C.

Salinité

La salinité de l'eau prélevée dans les forages pétroliers est habituellement exprimée en teneur en chlorure de sodium (g/l de Na Cl). L'eau du Dogger est essentiellement chlorurée sodique et cette donnée représente approximativement les 9/10 de la salinité totale.

Au droit de Mée-sur-Seine, la salinité au sommet du réservoir est de l'ordre de 12 g/l. A la base du réservoir, elle peut être supérieure de 2 à 3 g/l (soit une salinité de l'ordre de 15 g/l).

Nous présentons sur la planche 4 les diagrammes de quelques analyses effectuées sur des échantillons prélevés dans les forages voisins.

Gaz

L'hydrogène sulfuré a été décelé dans la quasi-totalité des forages ayant reconnu le réservoir du Dogger. L'équipement des puits devra donc être conçu en fonction du risque de corrosion qui en résulte.

De plus, du gaz (en général du méthane) a été signalé sur plusieurs forages avoisinants ; dans les réalisations géothermiques existantes, il se manifeste dans les parties du circuit de surface où la pression est faible, provoquant des accoups dans les pompes.

CONCLUSION

Pour clore cette étude hydrogéologique, nous récapitulons ci-dessous les principaux paramètres relatifs au réservoir du Dogger pour les deux sites précédemment définis.

PARAMETRE	FORAGE DE		MARGE D'ERREUR
	PRODUCTION	INJECTION	
Profondeur du réservoir	1695 m	1700 m	± 20 m
Epaisseur utile du réservoir	70 m	70 m	± 5 m
Porosité correspondante	13 %	13 %	
Perméabilité	0,5 d	0,5 d	± 0,1 d
Pression de gisement (au sommet du réservoir)	176 kg/cm ²	176 kg/cm ²	± 2 kg/cm ²
Température de l'eau	71 ° C		± 2 °
Salinité (en NaCl)	12 g/l		

CARACTERISTIQUES DES FORAGES

Dans cette partie, nous présentons successivement :

- La coupe géologique prévisionnelle afin de permettre d'établir le programme de forage.

- Le calcul des pressions en tête du puits de production, par modèle analogique numérique, pour connaître la profondeur à laquelle il est nécessaire d'installer une pompe et pour concevoir en conséquence le forage de production.

- L'étude de l'évolution du front thermique, également à l'aide d'un programme mathématique, pour l'ensemble des sites de Melun-l'Almont et des Courtilleraias afin de savoir si des interactions peuvent exister entre ces forages, pour un temps de vie donné.

Géologie des terrains traversés

Dans le but de permettre d'établir le programme de forage, une coupe géologique prévisionnelle est présentée sur la planche 5. Les profondeurs se rapportent aux deux sites qui figurent sur la planche 1.

Des informations relatives aux formations aquifères traversées sont indiquées d'une façon succincte dans une colonne. Mais nous présentons toutes les données nécessaires dans le tableau qui suit.

.../...

Aquifère traversé (terme stratigraphique)	Profondeur (1) (m)	Epaisseur (m)	Pression de fond (km/cm ²)	Salinité (g/l)
Tertiaire	30	40		eau douce
Nappe de la craie (Sénonien)	125	440		eau douce
Albien	710	40	70	eau douce
Néocomien	865	80	(90?)	eau pres- que douce
Purbeckien	1010	25	(115)	eau pres- que douce
Lusitanien	1320 ?	< 50	143	~ 4 g/l
Dogger	1700	100	176	12 g/l

Les valeurs de pression mises entre parenthèses sont estimées, les autres étant obtenues à partir de mesures piézométriques ou de pression dans les forages avoisinants.

(1) pour le forage de production.

Pour le forage d'injection, on se rapportera à la coupe de la planche 5.

Pressions en tête du puits de production

Ces calculs sont destinés à connaître la profondeur à laquelle il faut descendre une pompe, et, de ce fait, connaître jusqu'à quelle cote il faut placer la chambre de pompage dans un tubage de grand diamètre.

L'étude a été effectuée par simulation sur modèle analogique numérique mis au point par le B. R. G. M. au département Géothermie. Les résultats sont présentés sur les planches 6, 7, 8 et 9, en fonction de deux possibilités :

- Débit de 150 et 170 m³/h dans un forage tubé en 7" jusqu'au toit du réservoir.
- Débit de 170 et 200 m³/h dans un forage tubé en 9"5/8.

Pour chaque graphique, nous avons fait varier les deux paramètres les plus importants en hydrogéologie, conformément à la marge d'erreur définie dans la première partie de l'étude :

- la pression de gisement (P, en kg/cm²) ;
- la perméabilité (K, en darcy).

La valeur moyenne de pression en tête de puits qui est à retenir est indiquée en marge et encadrée. La projection du parallélogramme représentant le domaine d'incertitude sur l'axe des pressions en tête de puits donne les valeurs extrêmes à considérer.

Implantation des puits

Pour un nombre de puits supérieur à 2, on doit vérifier l'implantation adoptée en utilisant un modèle numérique de simulation qui calcule :

- les positions des fronts thermiques à des dates successives,
- l'évolution des températures dans chaque puits de production.

Les différents critères ayant présidé au choix des implantations sont les suivants :

- . Il n'y a qu'une seule chaufferie alimentant toute la ZAC.
- . Le puits de production P_{10} du doublet n° 1 est situé près de cette chaufferie.
- . Trois implantations possibles pour le puits de réinjection du doublet n° 1 ont été définies par la C. G. C. U.
- . Le deuxième doublet ne peut être implanté que sur des zones de flexibilité ou dans la zone définie par le triangle situé au Sud de la D 39.
- . La durée de vie des doublets (période pendant laquelle la température au puits de production reste constante) doit être égale ou supérieure à 30 ans.
- . L'implantation adoptée ne doit pas conduire à une longueur de canalisations de surface trop importante.
- . Les puits sont forés verticalement.

Deux implantations ont successivement été envisagées ; les positions respectives des puits ont été tracées sur la planche 10.

Pour la première implantation étudiée, on a aussi fait apparaître le doublet de Melun-l'Almont (PM_2 - PM_1). Les résultats (planche 11, position des fronts thermiques et planche 12, évolution de la température aux puits de production) montrent que :

- le doublet de Melun-l'Almont n'a pas d'incidence sur ceux des Courtilleraies,
- la distance $P_{10}I_{10}$ est trop faible : la durée de vie d'un tel doublet est inférieure à 25 ans,

- le doublet P₂₀ I₂₀ pourrait être retenu. Cependant une telle implantation P₁₀ I₁₀, P₂₀ I₂₀ contraint à des longueurs de canalisations de surface entre puits supérieures à 4 kilomètres.

Tenant compte de ces résultats, la deuxième implantation a prévu le puits de réinjection (I₁₁) du premier doublet dans le coin nord de la ZAC limitée d'un côté par le bois de Marché Marais et de l'autre par la N 446. L'implantation proposée par la C. G. C. U. (dans cette même zone industrielle mais près du bois de Marché Marais) conduisait à une distance entre puits trop courte. Pour l'autre doublet, le puits de production a été rapproché de P₁₀.

Les résultats (planches 13 et 14) donnent :

- une durée de vie des 2 doublets supérieure à 30 ans,
- une longueur des canalisations de surface réduite au mieux à 3 400 m.

Les critères énoncés précédemment ne permettent qu'un choix d'implantations possibles très limité. Seule la modification de ces contraintes (2 chaufferies ou des puits forés en déviation par exemple) permettrait d'envisager d'autres implantations possibles.

CONCLUSION

Cette étude a permis de mieux définir les conditions d'exploitation du Dogger dans la région de Mée-sur-Seine.

Les caractéristiques du réservoir sont les suivantes :

. Toit du réservoir/sol	1700 ± 30
. Epaisseur utile	70 ± 5
. Porosité	13 %
. Perméabilité	0,5 d ± 0,1
. Pression de gisement	176 kg Cm ² ±2
. Température	71 ° ± 2°
. Salinité	12 g/l

Les rabattements maxima nécessaires pour obtenir les débits demandés sont indiqués dans le tableau suivant :

	RABATTEMENT MAXIMUM	
DEBITS	Tubage 7"	Tubage 9"5/8
150 m ³ /h	85 m	
170 m ³ /h	110 m	70 m
200 m ³ /h		95 m

Les deux implantations envisagées pour les deux doublets à prévoir font apparaître :

- La nécessité d'une distance minimale de 1 000 mètres entre les puits d'un même doublet pour une durée de vie de 30 ans.

- Une longueur de canalisations de surface entre puits minimale de 3 400 mètres dans les hypothèses définies par la C. G. C. U. (une seule chaufferie, puits verticaux, zones de flexibilité à utiliser en priorité).

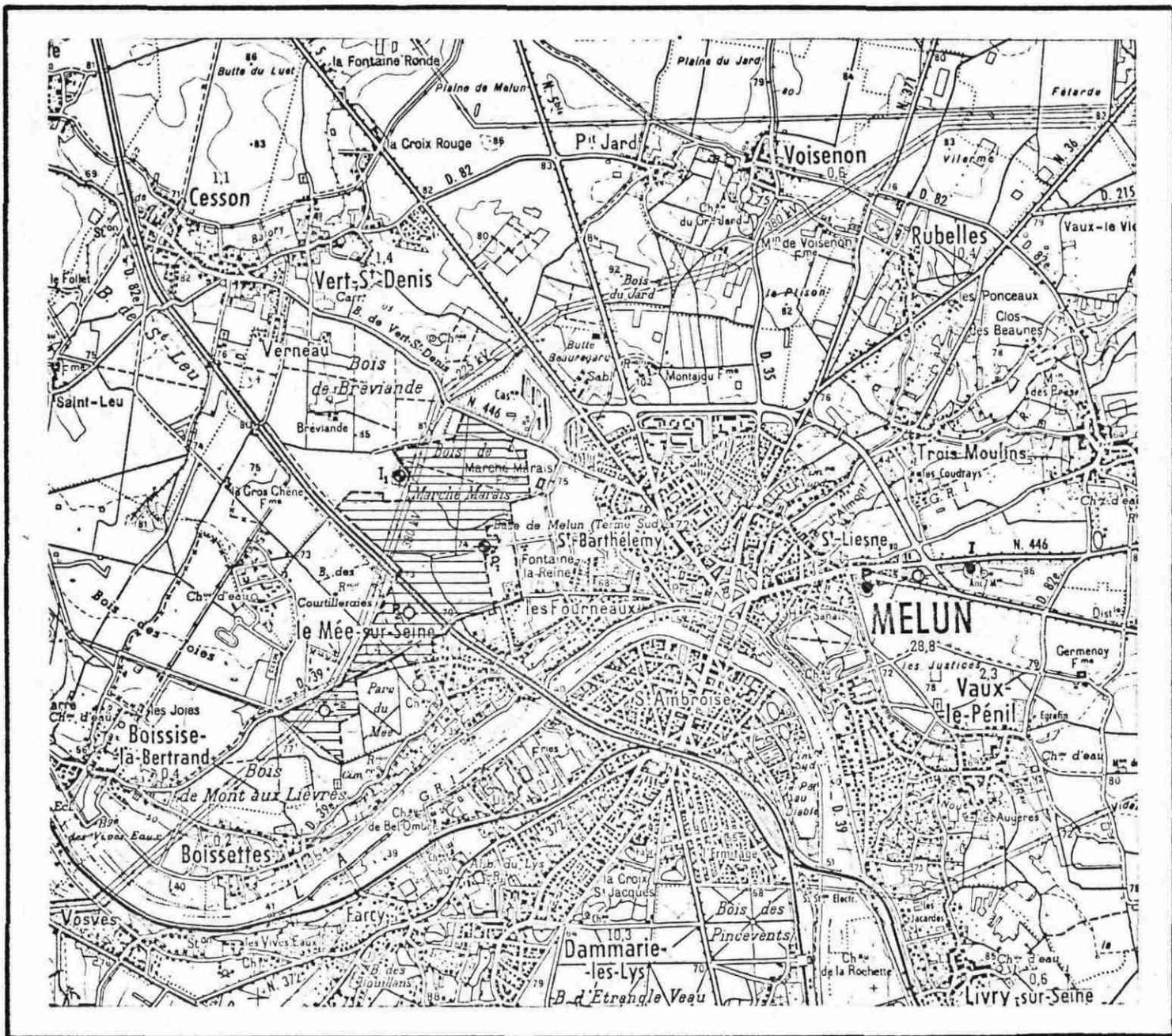
LES COURTILLERAIES

(MEE SUR SEINE)

PLAN DE SITUATION

Echelle: 1/50 000

0 1 2 Km.



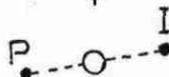
Périmètre approximatif de la ZAC des Courtilleraies



Implantation des forages auxquels se rapporte la coupe géologique prévisionnelle (cf. planche 5).



Implantation possible du deuxième "doublet".



"Doublet" géothermique de Melun-l'Almont.
(P = forage de production ; I = forage d'injection).

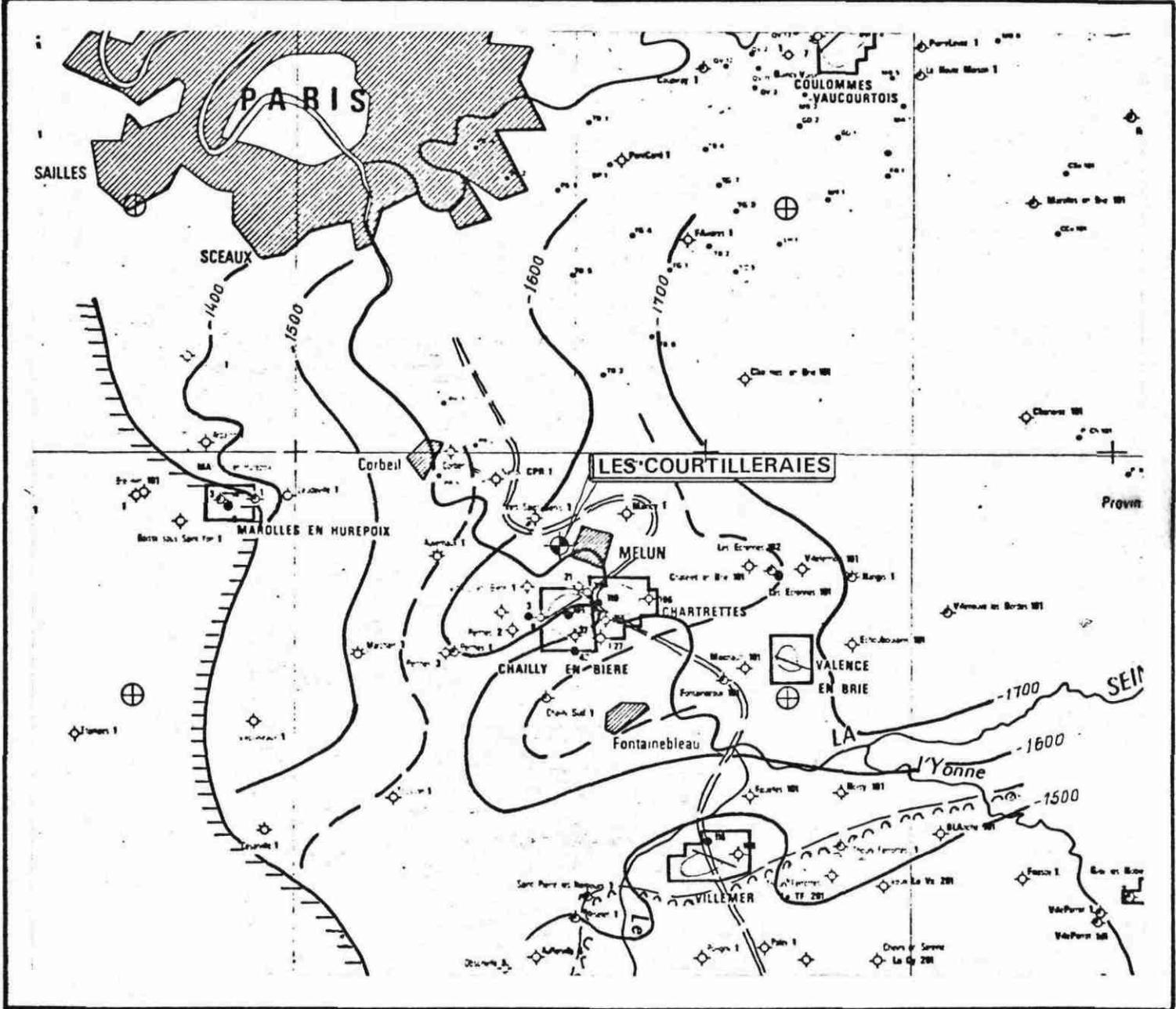
LES COURTILLERAIES
(MEE SUR SEINE)

POSITION SCHEMATIQUE DES PRINCIPALES FORMATIONS AQUIFERES

Etage géologique	Lithologie des réservoirs	Perméabilité			Température approximative	Observation
		nulle	faible	bonne		
Tertiaire						
Sénonien Turonien	craie					
Cénomanién						
Albien	sable				38°	Exploitation réglementée
Néocomien	sable				45°	Température faible
Purbeckien	dolomie				45°	Epaisseur trop réduite
Portlandien						
Kimméridgien						
Lusitanien	calcaire gréso-crayeux				55°-60°	Médiocre dans l'ensemble
Oxfordien Callovien						
Dogger	calcaire				70°	(Aquifère étudié)
Lias						
Rhétien	grès argileux				80°	Epaisseur très réduite
Trias	grès, grès argileux				90°-100°	Réservoir discontinu Eau très salée Formation mal connue

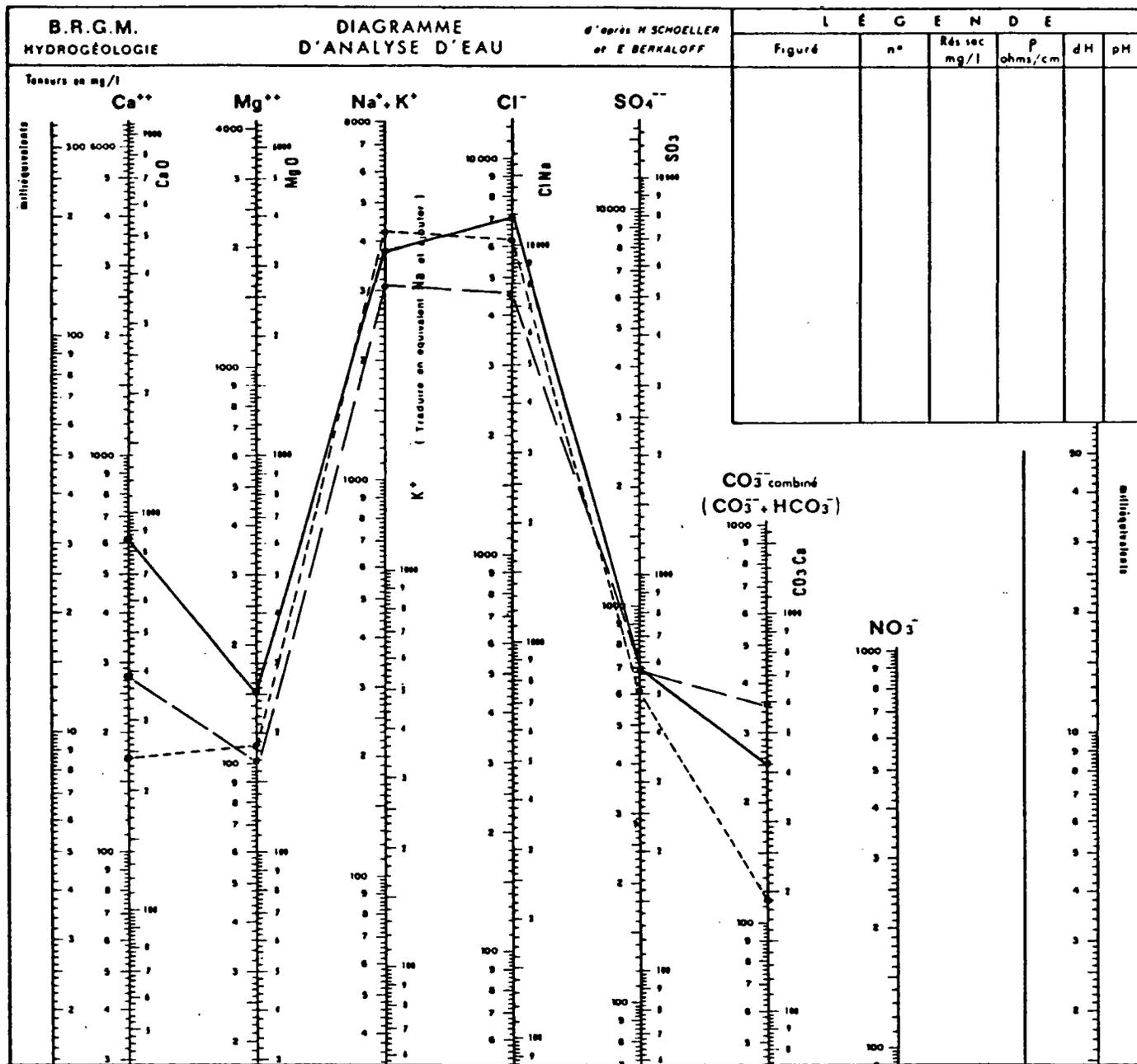
LES COURTILLERAIES
 (MEE SUR SEINE)
 CADRE GEOLOGIQUE
 PROFONDEUR DU RESERVOIR

Echelle: 1/ 500 000
 0 10 20 Km.



-  Forage de recherche pétrolière
-  -1500 Courbe d'égale profondeur du sommet du réservoir (en mètres, cote NGF).
-  Courbe intercalaire.
-  Limite occidentale des calcaires poreux.
-  Limite orientale du Dogger terminal plus ou moins poreux.
-  Limite septentrionale du niveau crayeux.-

LES COURTILLERAIES (MEE SUR SEINE) HYDROCHIMIE



FORAGE	INDICE BRGM	FIGURE	SALINITE (g/l)	
			NaCl	Totale
Melun - l'Almont	258.2.175	— — — —	/	13
Maincy	258.3. 11	- - - -	11,5	12,06
Villiers-en-Bière	258.5. 1	— — — —	10	9,2

COUPE GÉOLOGIQUE PRÉVISIONNELLE

FORAGE DE :				Epaisseur m.	Lithologie	Stratigraphie	Aquifères traversés	Remarques			
Injection		Production									
Prof. m.	Cote NGF	Prof. m.	Cote NGF								
0	+ 80	0	+ 75	30 - 25	Calcaire, argile + sableuse, meulière..	TERTIAIRE	pertes probables				
30	+ 50	25	+ 50	40	Calcaire crayeux, gréseux						
70	+ 10	65	+ 10	60	Argile plastique, sable						
130	- 50	125	- 50	310	Craie tendre à silex	SENONIEN	pertes	← Lignite			
440	- 360	435	- 360						200	Craie dure à silex	TURONIEN
										Silex de plus en plus rares	CENOMANIEN
					Craie de plus en plus argileuse vers la base						
640	- 560	635	- 560	25	Argile sableuse, glauconieuse	ALBIEN	NAPPE DE L'ALBIEN eau douce	Aquifère à protéger			
665	- 585	660	- 585	50	Argile plastique (Argile du Gault)						
715	- 635	710	- 635	40	Sable moyen à grossier, glauconieux, pyriteux; passées d'argile						
755	- 675	750	- 675	115	Alternance d'argile plastique et de sable glauconieux	à	nombreux niveaux sableux aquifères				
870	- 790	865	- 790						65	Sable avec nombreuses intercalations d'argile plastique	BARREMIEN
935	- 855	930	- 855	70-80	Alternance d'argile plastique et de sable; Lignite abondante	NEOCOMIEN	Salinité < 2 g/l	Lignite			
1005	- 925	1010	- 935						25	Calcaire dolomitique, dolomie	PURBECKIEN
1030	- 950	1035	- 960	120	Calcaire fin; passées de calcaire argileux et de marne	PORTLANDIEN	Dolomie poreuse				
1050	- 1070	1155	- 1080						165	Marne indurée gris-noir, intercalations de calcaires argileux	KIMMERIDGIEN
1315	- 1235	1320	- 1245	90	Calcaire argileux et coquiller à la base						
1405	- 1325	1410	- 1335		Calcaire gréseux, parfois organogène; calcaire argileux						
					Niveau marneux à la base	" LUSITANIEN "	Niveau faiblement aquifère Salinité ~ 3 g/l				
				135	Calcaire crayeux, parfois gréseux						
1540	- 1460	1545	- 1470	70	Marne sableuse gris-noir; intercalations de calcaire argileux						
1610	- 1530	1615	- 1540	45	Marne sableuse gris-noir, pyriteuse	OXFORDIEN					
1655	- 1575	1660	- 1585	40	← Oolithes ferrugineuses	CALLOVIEN					
1695	- 1615	1700	- 1625	100	Marne sableuse gris-noir, pyriteuse; petits niveaux de grès	BATHONIEN	AQUIFERE DU DOGGER Salinité : 12 g/l (NaCl)	↑ hauteur à capter			
		1720			Calcaire oolithique et graveleux, parfois cimenté; calcaire fin						
1795	- 1715	1790	- 1725		Alternance de : - Calcaire bioclastique à grosses gravelles - Calcaire oolithique						
		1800			Calcaire graveleux à ciment gréseux						
					Calcaire graveleux à ciment argileux						

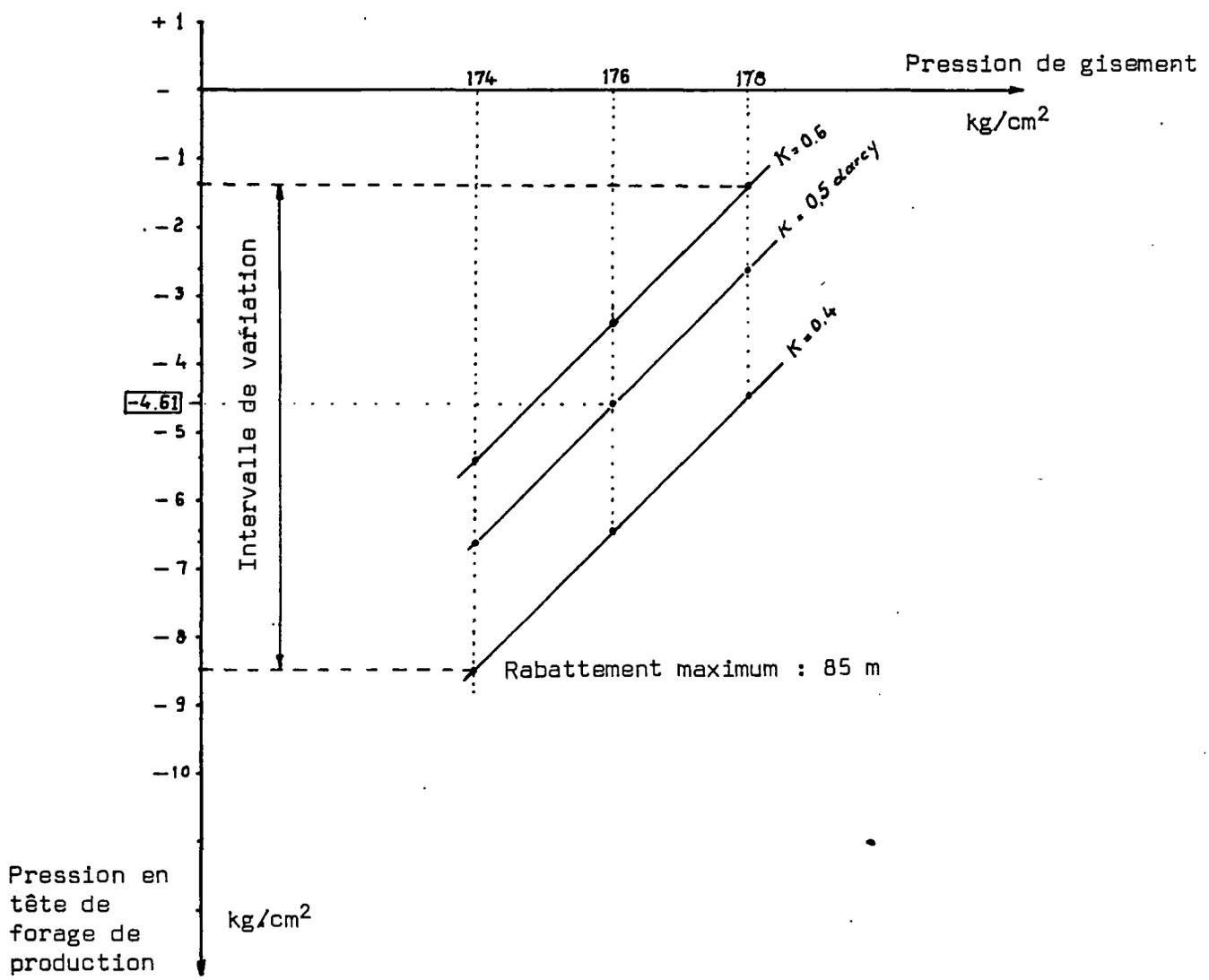
LES COURTILLERAIES
(MEE SUR SEINE)

PRESSIION EN TETE DU FORAGE DE PRODUCTION

Tubage 7"

Variations en fonction des paramètres hydrogéologiques

pour $Q = 150 \text{ m}^3/\text{h}$



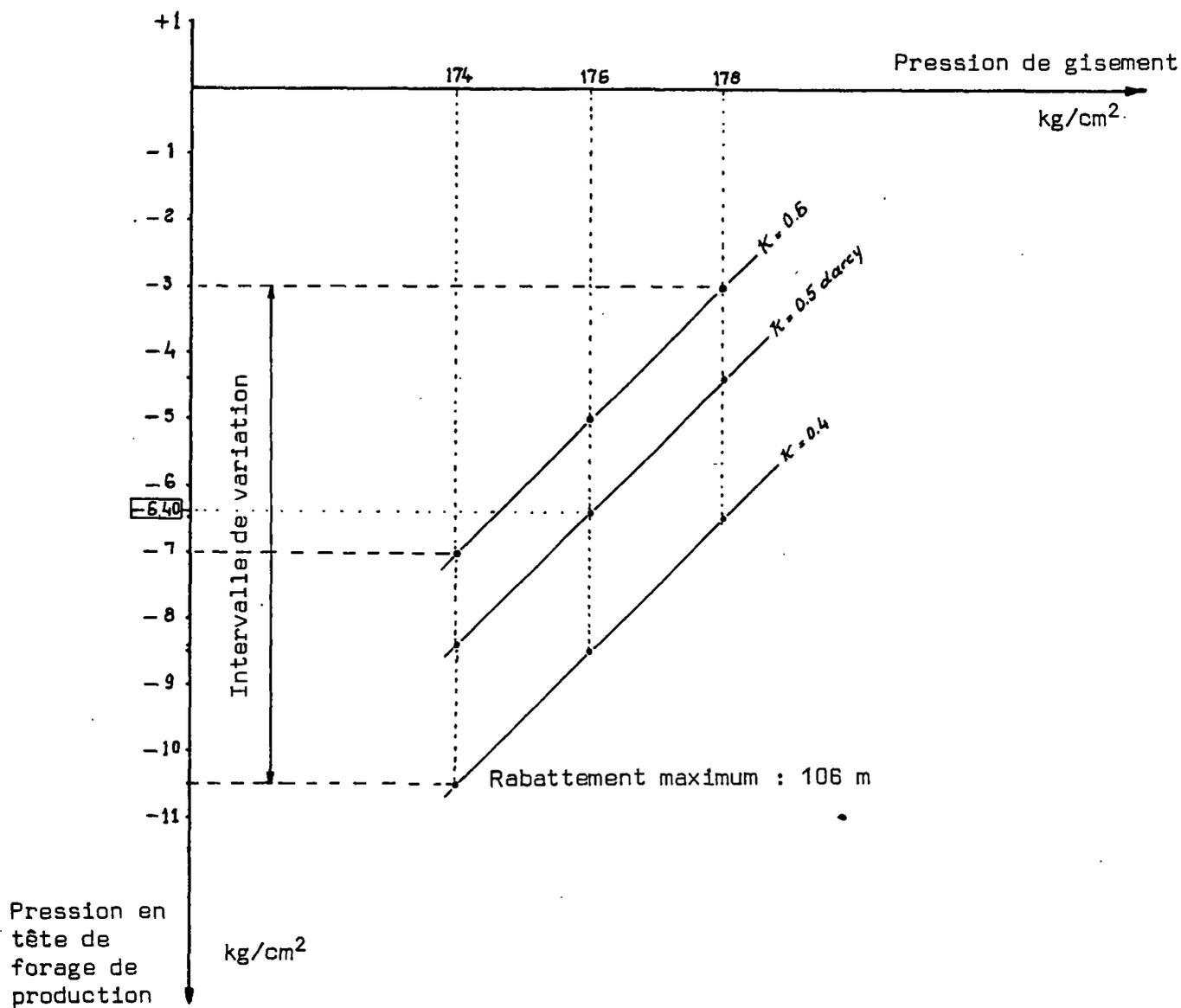
LES COURTILLERAIES
(MEE SUR SEINE)

PRESSIION EN TETE DU FORAGE DE PRODUCTION

Tubage 7"

Variations en fonction des paramètres hydrogéologiques

pour $Q = 170 \text{ m}^3/\text{h}$



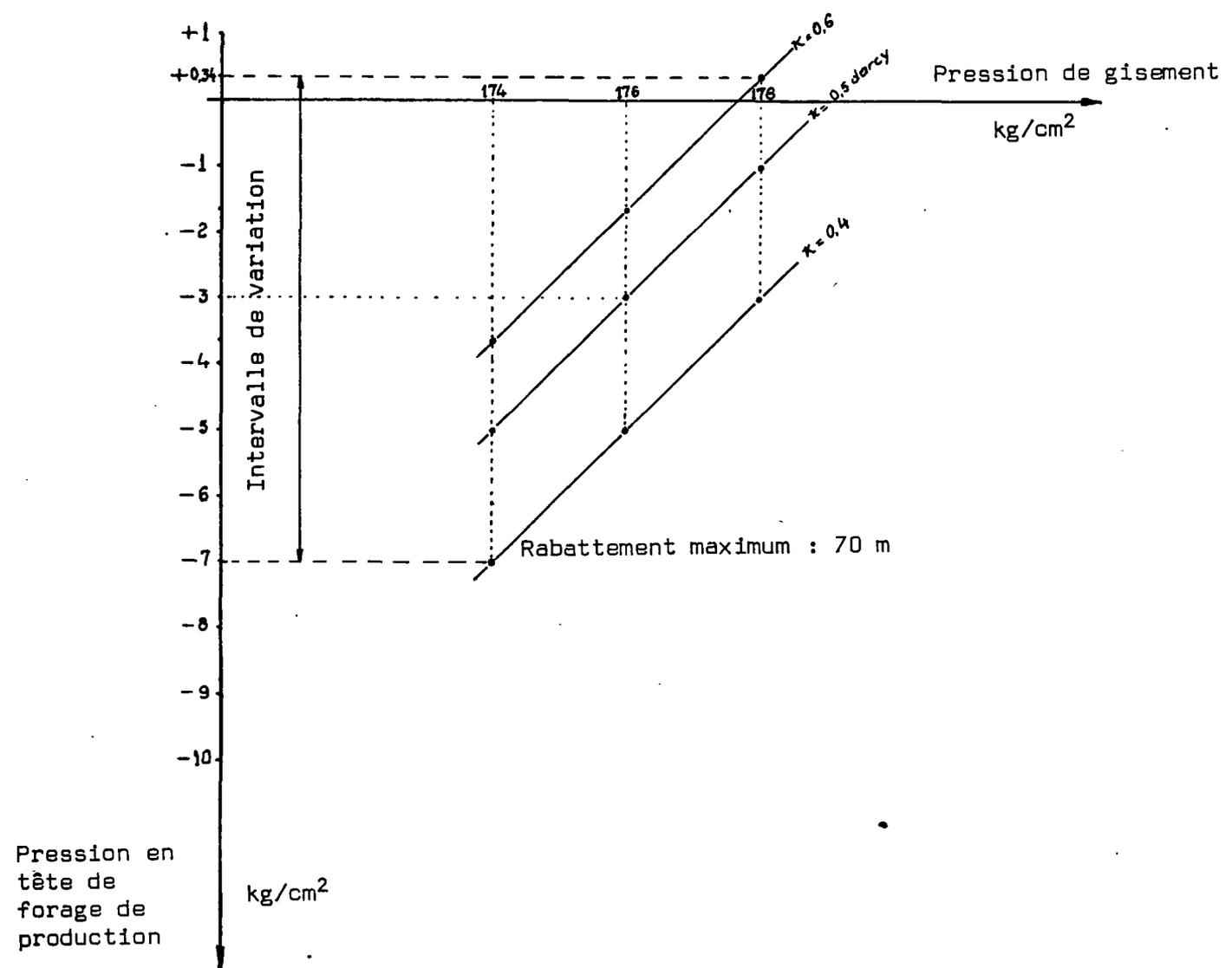
LES COURTILLERAIES
(MEE SUR SEINE)

PRESSIION EN TETE DE FORAGE DE PRODUCTION

Tubage 9" 5/8

Variations en fonction des paramètres hydrogéologiques

pour $Q = 170 \text{ m}^3/\text{h}$



LES COURTILLERAIES

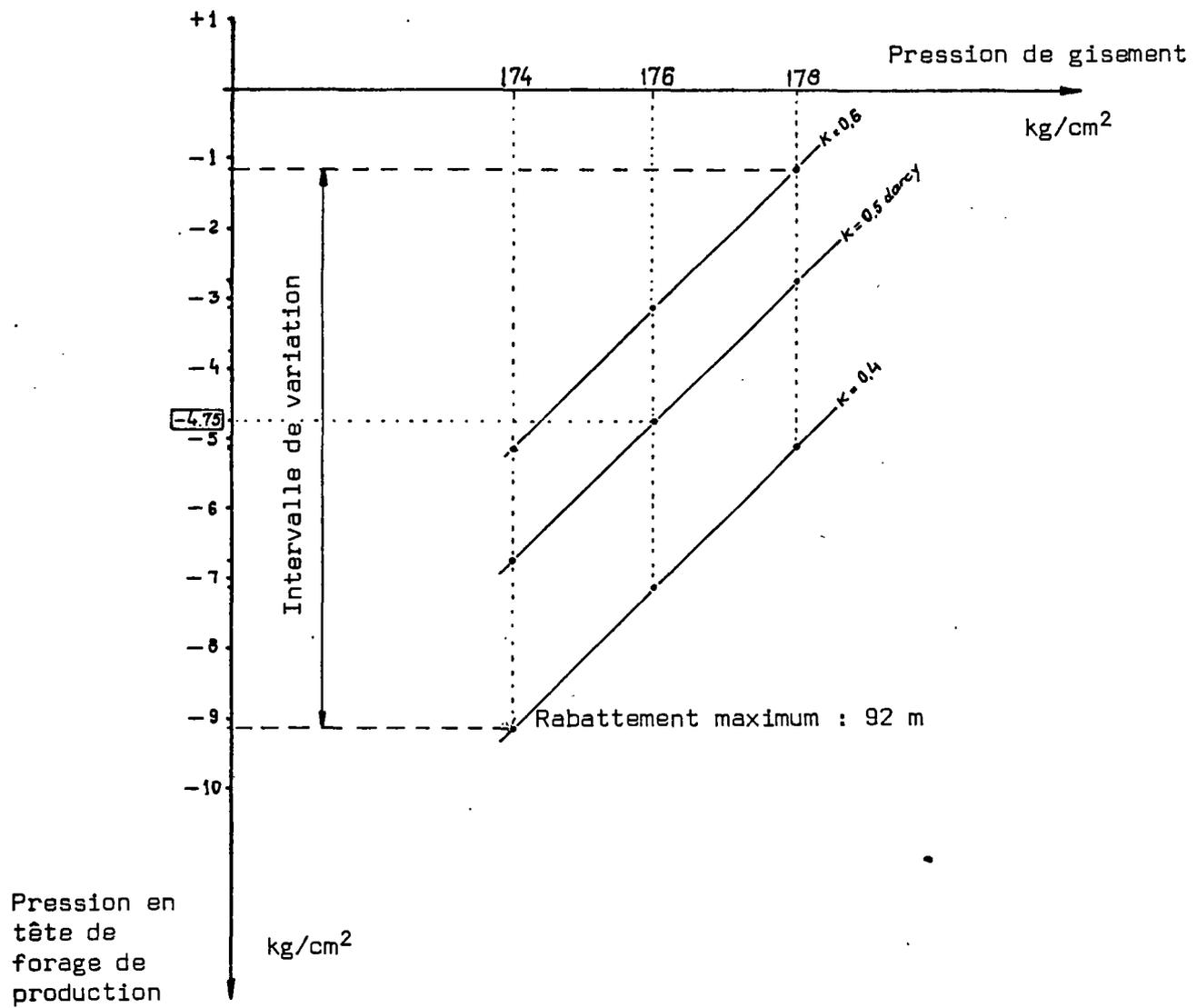
(MEE SUR SEINE)

PRESSION EN TETE DU FORAGE DE PRODUCTION

Tubage - 9" 5/8

Variations en fonction des paramètres hydrogéologiques

pour $Q = 200 \text{ m}^3/\text{h}$



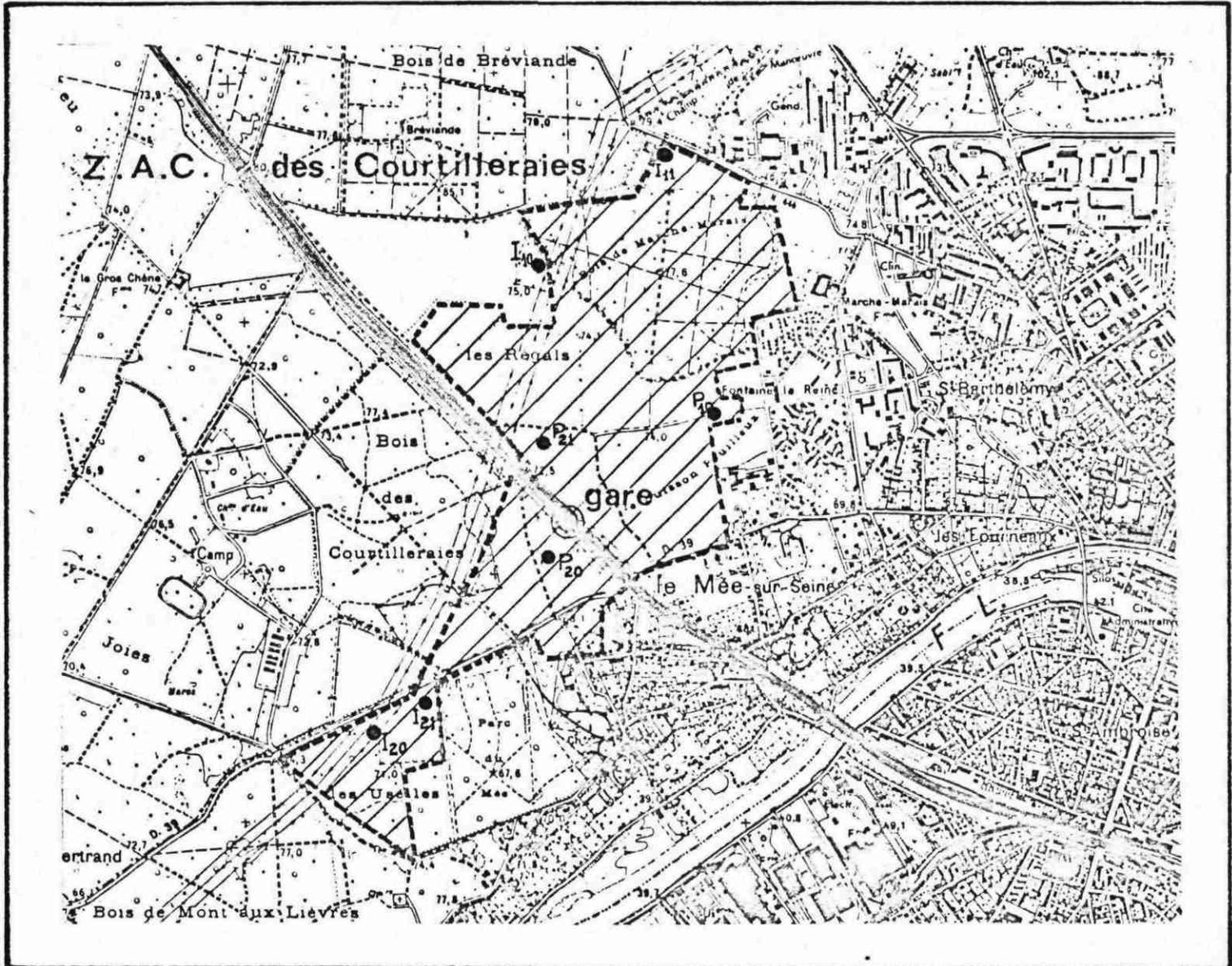
LES COURTILLERAIES

(MEE SUR SEINE)

IMPLANTATION DES FORAGES

ECHELLE : 1/25 000

0 1 Km



IMPLANTATION 1

Doublet 1 : P₁₀, I₁₀
 Doublet 2 : P₂₀, I₂₀

IMPLANTATION 2

Doublet 1 : P₁₀, I₁₁
 Doublet 2 : P₂₁, I₂₁

LES COURTILLERAIES VISUALISATION

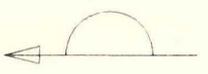
AVANCEE
FRONTS THERMIQUES

VITESSE REELLE D'ECOULEMENT NATUREL = 0.20E-2 M/AN
 POROSITE = 15.00 %
 HAUTEUR UTILE DE L'AQUIFERE = 75 METRES
 CAPACITE CALORIFIQUE DU FLUIDE = 1.00 CAL/CM3/°C
 CAPACITE CALORIFIQUE DE LA ROCHE = 0.50 CAL/CM3/°C
 CONDUCTIVITE THERMIQUE DES EPONTES = 0.60E-2 CAL/CM/S/°C

DEBITS EN M3/H :

PRODUCTION		INJECTION	
COURT. P1	: 170.00	COURT I 10	: 170.00
COURT. P20	: 170.00	COURT I 20	: 170.00
PM 2	: 90.00	PM 1	: 90.00

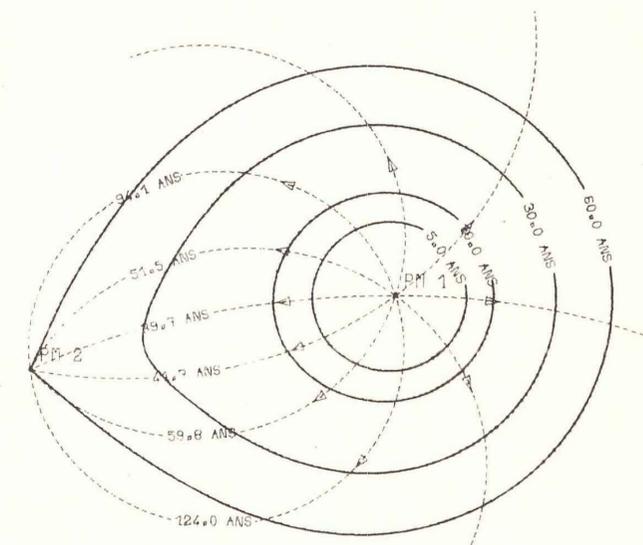
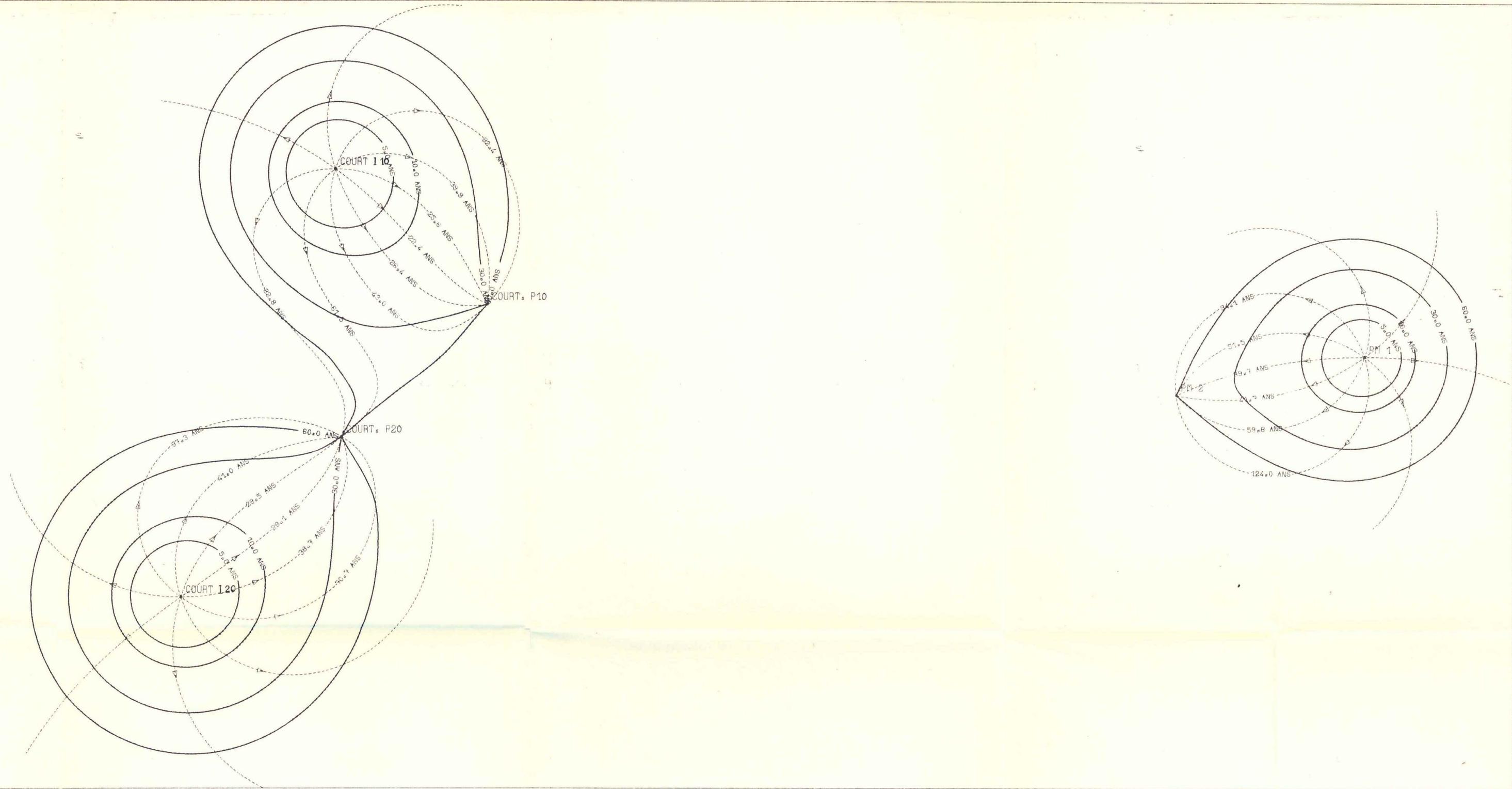
IMPLANTATION 1



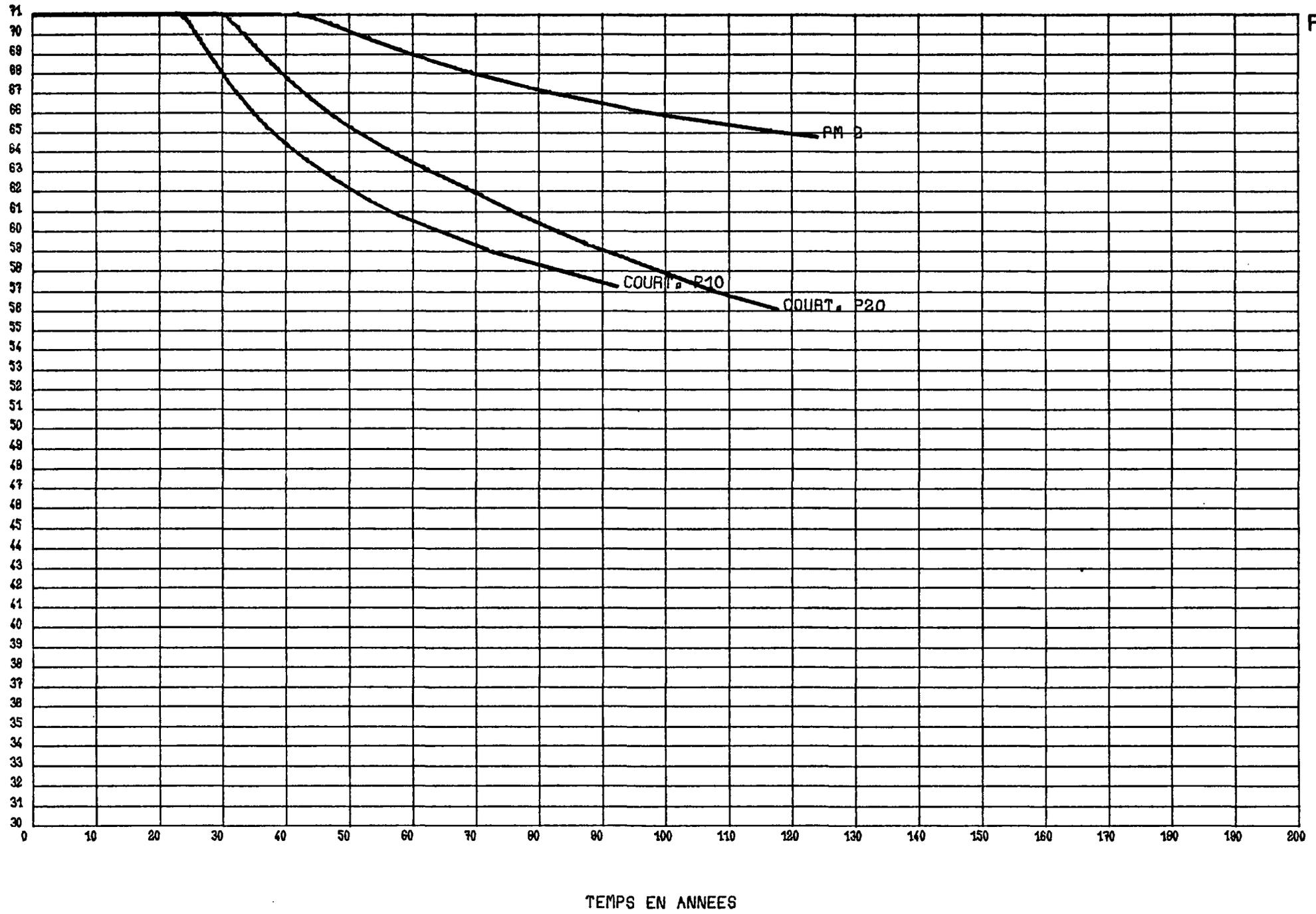
ECOULEMENT
NATUREL: 180.00°

ECHELLE : 1 — 1 = 100 METRES

PL 11

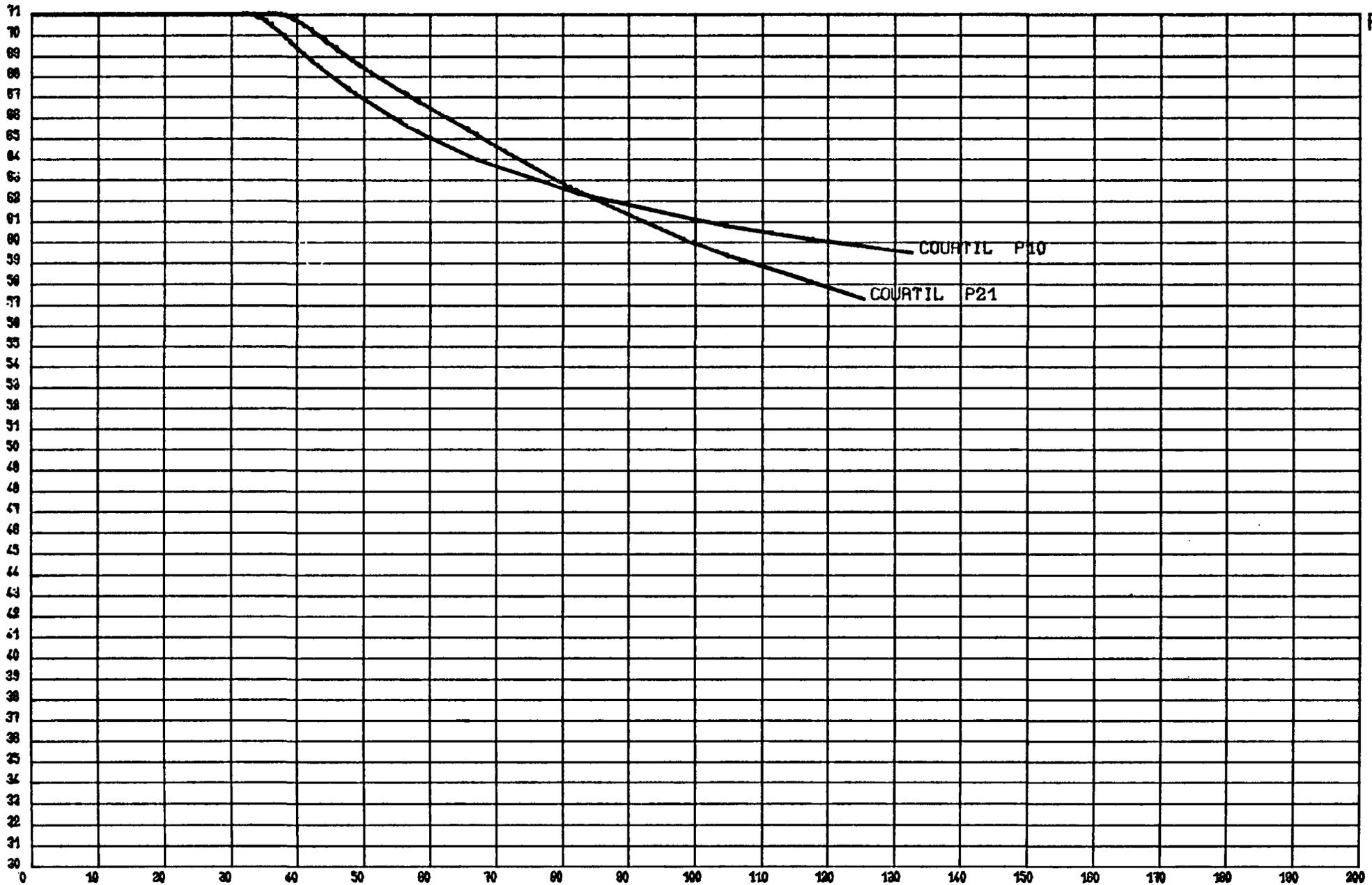


TEMPERATURE EN DEGRES CELSIUS



EVOLUTION DE LA TEMPERATURE AUX PUIITS DE PRODUCTION
IMPLANTATION 1

TEMPERATURE EN DEGRES CELSIUS



TEMPS EN ANNEES

EVOLUTION DE LA TEMPERATURE AUX Puits DE PRODUCTION

IMPLANTATION 2