

SOCIÉTÉ ANONYME D'ÉCONOMIE MIXTE D'AMÉNAGEMENT, DE RÉNOVATION

ET DE RESTAURATION DU SECTEUR DES HALLES (S.E.M.A.H.)

10, rue Pierre Lescot – 75 – PARIS 1^o –

ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

par

J. CAMPINCHI – J. LABOURGUIGNE – P. PEAUDECERF – G. RAMPON – J.P. SAUTY

avec la collaboration de R. CAMART, G. MARQUET

et de l'École nationale supérieure des Mines de Paris



BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGiques ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

B.P. 6009 – 45 Orléans (02) – Tél.: (38) 66.06.60

Département de l'Aménagement

B.P. 6009 – 45 Orléans (02)

Tél.: (38) 66.06.60

Service géologique régional

BASSIN DE PARIS

65, rue du général-Leclerc, 77 Brie-Comte-Robert

Tél.: (1) 405.01.46

72 SGN 077 BDP

Brie, mars 1972

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

-o-o-o-

RESUME

La SEMAH réalise dans le quartier des Halles de Paris des ouvrages enterrés comportant, à leur base, les stations Châtelet, les lignes du métro et du réseau express régional.

Tout cet ensemble est enchassé dans des terrains aquifères et la SEMAH a confié au BRGM l'étude hydrogéotechnique concernant :

- 1 - l'influence de ces ouvrages sur les niveaux d'eau des nappes,
- 2 - l'influence des variations des niveaux d'eau des nappes sur la stabilité hydrostatique de ces ouvrages.

Après des travaux préliminaires permettant de préciser le système aquifère (géologie détaillée, reconnaissance complémentaire, pompage d'essai, actualisation des prélèvements, cartes piézométriques, influence d'une crue de la Seine sur les niveaux d'eau par le calcul de la diffusivité), des modèles mathématiques de simulation des écoulements en milieu poreux multicouche ont été mis en oeuvre.

Un modèle en régime permanent MOBIL a montré que :

- le débit d'exhaure nécessaire à l'assèchement de la fouille était faible,
- la réalisation d'un forage de pompage pour eau de climatisation était à déconseiller.

Un modèle en régime transitoire SAMIR a montré que :

- les risques d'instabilité des ouvrages sous l'action d'une crue des nappes en relation avec une crue de la Seine étaient faibles.
- cependant, un système de drainage sous le radier, dans le Calcaire grossier uniquement doit être envisagé.

Enfin il est apparu nécessaire de mettre en place et surveiller régulièrement un réseau de piézomètres.

- SOMMAIRE -

- RESUME	
- INTRODUCTION.....	1
- DOCUMENTS CONSULTES.....	4
A - ETUDE DES CONDITIONS GEOLOGIQUES DANS LE PERIMETRE DU QUARTIER DES HALLES	6
A.1 - Généralités.....	6
11 - Délimitation du secteur étudié.....	6
12 - Avertissement au lecteur.....	6
A.2 - Données géologiques du secteur.....	6
21 - Mode d'exécution des profils géologiques.....	7
22 - Résultats obtenus.....	7
23 - Description et commentaires des profils géologiques.....	8
231 - Profil n° 1.....	8
232 - Profil n° 2.....	9
233 - Profil n° 3.....	11
234 - Profils n° 4, 5 et 6.....	14
235 - Profil Nord-Ouest - Sud-Est.....	14
A.3 - Développé géologique de la fouille générale.....	16
31 - Développé géologique des parois.....	16
311 - Section A.B.....	16
312 - Section B.C.....	16
313 - Section C.D.....	16
314 - Section D.E.....	16
315 - Section E.F.....	16
316 - Section F.G.....	17
317 - Section G.H.....	17
318 - Section H.A.....	17
32 - Carte de faciès du fond de la fouille générale.....	17
A.4 - Fouille du Réseau Express-Régional : R.E.R.....	17
41 - Développé géologique.....	17
411 - Plancher de la fouille.....	17
412 - Parois de la fouille.....	19
42 - Faciès de l'Yprésien.....	19
421 - Toit des Sables du Soissonnais.....	19
422 - Sables du Soissonnais.....	19

A.5 -	Faciès de l'Yprésien sous le périmètre étudié.....	20
A.6 -	Conclusions.....	21
B -	OUVRAGES DE RECONNAISSANCE COMPLEMENTAIRES.....	21
B.1 -	Caractéristiques des ouvrages.....	23
11 -	Coupes techniques des forages.....	23
12 -	Développement des forages.....	24
B.2 -	Coupes géologiques des ouvrages.....	25
C -	POMPAGES D'ESSAI REALISES SUR LE FORAGE BF.....	27
C.1 -	Buts - situation.....	27
C.2 -	Déroulement des essais.....	30
21 -	Moyens mis en oeuvre.....	30
211.-	Personnel.....	30
212 -	Pompe.....	31
213 -	Débit.....	31
214 -	Dispositif de mesures de niveaux d'eau.....	31
215 -	Autres relevés.....	33
216 -	Graphiques.....	33
22 -	Appréciation générale de la qualité de l'essai.....	33
C.3 -	Interprétation des données mesurées.....	35
31 -	Pompages d'essai du puits BF.....	35
311 -	Courbe caractéristique et pertes de charge.....	35
312 -	Effet de capacité dû au forage BF.....	35
32 -	Essai de nappe.....	37
321 -	Analyse des rabattements dans les différents piézomètres.....	37
322 -	Description des courbes construites en graphiques semi-logarithmiques.....	38
C.4.-	Conclusions.....	43
41 -	Paramètres de l'aquifère calcaire.....	43
411 -	Transmissivités.....	43
412 -	Coefficient d'emmagasinement.....	43
42 -	Paramètres de l'aquifère sableux.....	43
43 -	Système hydraulique du quartier des Halles.....	44
D -	PIEZOMETRIE ET PRELEVEMENTS.....	45
D.1 -	Ouvrages existants dans les limites de l'étude.....	45
D.2 -	Cartes piézométriques.....	47
21 -	Surface piézométrique de la nappe des Sables cuisisiens.....	47
22 -	Surface piézométrique de la nappe du Calcaire grossier....	48

D.3 - Alimentation des nappes et relation entre elles.....	49
E- CALCUL DES DIFFUSIVITES PAR L'ETUDE DE LA PROPAGATION DES ONDES DE CRUE DANS LA NAPPE.....	51
E.1 - Méthode de calcul.....	51
E.2 - Données disponibles pour les nappes des Halles.....	52
E.3 - Calcul des diffusivités.....	52
31 - Nappe du Cuisien.....	52
32 - Nappe du Calcaire grossier et des Marnes et Caillasses.....	52
E.4 - Approche de l'effet des crues.....	53
E.5 - Conclusions.....	55
F- MODELES DE SIMULATION DES ECOULEMENTS.....	57
F.1 - Schématisation du domaine étudié.....	57
11 - Maillages et limites géographiques.....	57
12 - Schématisation en multicouche.....	57
13 - Les conditions aux limites.....	58
131 - Aquifère supérieur.....	58
132 - Aquifère profond.....	58
14 - Programmes utilisés.....	60
F.2 - Réglage du modèle.....	61
21 - Objet du réglage.....	61
22 - Choix de la période de réglage.....	61
23 - Données nécessaires aux calculs.....	62
24 - Valeurs adoptées pour les différents paramètres.....	62
241 - Cotes du toit de l'aquifère supérieur.....	62
242 - Cotes du mur du Calcaire grossier.....	63
243 - Perméabilité de l'aquifère supérieur.....	63
244 - Perméabilités verticales.....	63
245 - Transmissivités du Cuisien.....	64
246 - Débits pompés ou injectés dans les deux aquifères.....	64
247 - Coefficients d'emmagasinement.....	65
248 - Piézométrie.....	66
25 - Conclusions.....	66
F.3 - Exploitation du modèle permanent B R G M (MOBIL).....	67
31 - Influence des travaux durant la fouille.....	67
311 - Travaux de fouille en période d'étiage.....	67
312 - Travaux de fouille en période de crue.....	71
313 - Travaux de fouille en période de crue et voile partiellement étanche.....	75

32 - Travaux réalisés - influence d'un pompage pour climatisation...	79
321 - Climatisation - pompage de 20 l/s aux Sables cuisien...	79
322 - Baisse des nappes.....	83
323 - Augmentation des pompages.....	86
33 - Limite étanche à l'aval.....	86
34 - Conclusions sur les exploitations du modèle permanent BRGM-MØBIL	92
F.4 Modèle transitoire des Mines (SAMMIR).....	96
41 - Premier groupe de simulations.....	97
411 - Etablissement du régime permanent.....	97
412 - Influence d'une crue transitoire.....	97
42 - Deuxième groupe de simulations.....	102
421 - Etablissement du régime permanent.....	102
422 - Influence d'une crue - régime transitoire sans drainage...	102
423 - Influence d'une crue - régime transitoire avec drainage...	107
43 - Troisième groupe de simulations.....	112
431 - Etablissement du régime permanent.....	112
432 - Régime transitoire sans drainage, (F432.T).....	112
433 - Régime permanent avec drainage, (F433.F).....	117
434 - Régime transitoire avec drainage, (F434.T).....	117
44 - Conclusions sur les exploitations du modèle transitoire de l'Ecole des Mines (SAMMIR).....	117
F.5 Conclusions sur les simulations par modèles.....	121
CONCLUSIONS.....	123
Amélioration des données.....	123
Réalisation de modèles mathématiques de simulation des écoulements...	124
Résultats pratiques.....	126

- LISTE DES FIGURES -

A. CONDITIONS GEOLOGIQUES

A.2310 - Profil géologique n° 1.....	10
A.2320 - Profil géologique n° 2.....	10
A.2330 - Profil géologique n° 3.....	12
A.2341 - Profil géologique n° 4.....	12
A.2342 - Profil géologique n° 5.....	13
A.2343 - Profil géologique n° 6.....	13
A.2350 - Profil géologique n° 7.....	15
A.3211 - Nature géologique des terrains au fond des fouilles.....	18
A.3212 - Epaisseur du Lutétien compris entre les radiers et le toit de l'Yprésien.....	18

B. OUVRAGES DE RECONNAISSANCE COMPLEMENTAIRES

B.0010 - Plan de situation.....	22
---------------------------------	----

C. POMPAGES D'ESSAI REALISES SUR LE FORAGE BF

C.1011 - Plan de situation de la station de pompage.....	28
C.1012 - Ouvrages ayant fait l'objet de mesures du niveau d'eau.....	29
C.2161 - Mesures piézométriques durant le pompage d'essai.....	34
C.3111 - Courbe caractéristique du forage BF.....	36
C.3112 - Diagramme rabattement/log distance.....	36
C.3221 - Variations des niveaux - descente rabattement/log temps....	39
C.3222 - Rabattements résiduels - remontée rabattement/log $1 + \frac{tp}{tr}$...	40

E. CALCUL DE LA DIFFUSIVITE PAR L'ETUDE DE LA PROPAGATION D'UNE ONDE DE CRUE

E.3210 - Calcul de la diffusivité - forage CH ⁵	54
E.4010 - Réponse de la nappe à la crue de 1955 - forage CH ⁵	56

F. MODELES DE SIMULATION DES ECOULEMENTS

F.1010 - Schématisation du secteur d'étude.....	57-58
F.1310 - Schématisation en coupe du modèle.....	59
F.2410 - Toit du réservoir calcaire.....	62-63
F.2420 - Mur du réservoir calcaire.....	63-64
F.2430 - Perméabilités horizontales couche supérieure calcaire.....	63-64
F.2440 - Facteurs d'échanges verticaux entre les réservoirs.....	63-64
F.2481 - Cartes piézométriques de la nappe du réservoir calcaire....	66-67
F.2482 - Cartes piézométriques de la nappe du réservoir sableux....	66-67
F.3111 - Profils piézométriques - fouille, en étiage.....	68
F.3112 - Débits drainés - fouille, en étiage.....	68
F.C.1 - Variation de niveaux - fouille, en étiage, Calcaire grossier	69
F.C.2 - Variation de niveaux - fouille, en étiage, Sables cuisiers	70

F.3121	- Profils piézométriques - fouille, en crue.....	72
F.3122	- Débits drainés - fouille, en crue.....	72
F.D.1	- Variation de niveaux - fouille, en crue, Calcaire grossier	73
F.D.2	- Variation de niveaux - fouille, en crue, Sables cuisiers	74
F.3131	- Profils piézométriques - fouille, en crue, voile d'injection non étanche.....	76
F.3132	- Débits drainés - fouille, en crue, voile d'injection non étanche.....	76
F.E.1	- Variation de niveaux - fouille, en crue, voile non étanche Calcaire grossier.....	77
F.E.2	- Variation de niveaux - fouille, en crue, voile non étanche Sables cuisiers.....	78
F.3211	- Profils piézométriques, 20 l/s climatisation.....	80
F.3221	- Profils piézométriques, 20 l/s climatisation, baisse des nappes.....	80
F.F.1	- Variation de niveaux sous influence 20 l/s climatisation Calcaire grossier.....	81
F.F.2	- Variation de niveaux sous influence 20 l/s climatisation Sables cuisiers.....	82
F.G.1	- Variation de niveaux, 20 l/s climatisation, baisse des nappes, Calcaire grossier.....	84
F.G.2	- Variation de niveaux, 20 l/s climatisation, baisse des nappes, Sables cuisiers.....	85
F.3231	- Profils piézométriques, 20 l/s climatisation, baisse des nappes, augmentation pompages.....	87
F.3311	- Influence d'une limite étanche à l'aval.....	87
F.H.1	- Variation de niveaux, 20 l/s climatisation, baisse des nappes, augmentation pompages Calcaire grossier.....	88
F.H.2	- Variation de niveaux, 20 l/s climatisation, baisse des nappes, augmentation pompages Sables cuisiers.....	89
F3312	- Profils piézométriques, 20 l/s climatisation, baisse des nappes, limite étanche.....	90
F.3313	- Profils piézométriques, 20 l/s climatisation, baisse des nappes, limite étanche, augmentation du pompage.....	90
F.3412	- Tableaux des opérations effectuées sur Modèle MOBIL.....	95
F.4010	- Hydrogramme de crue de 1910.....	98
F.4121	- Influence du passage d'une crue, pompages actuels.....	100
F.4122	- Influence du coefficient d'emménagement sur la courbe de variation des niveaux d'eau dans les réservoirs.....	101
F.I.1	- Courbes isopièzes, Calcaire grossier, sommet de la crue, sans drainage, pompages actuels.....	103
F.I.2	- Courbes isopièzes, Sables cuisiers, sommet de la crue, sans drainage, pompages actuels.....	104
F.J.1	- Courbes isopièzes, Calcaire grossier, pompages arrêtés...	105
F.J.2	- Courbes isopièzes, Sables cuisiers, pompages arrêtés.....	106
F.4220	- Influence du passage d'une crue, pompages arrêtés.....	108
F.K.1	- Courbes isopièzes, Calcaire grossier, pompages arrêtés, sommet de la crue.....	109

F.K.2.	- Courbes isopièzes, Sables cuisiers, pompages arrêtés, sommet de la crue.....	110
F.4231	- Mailles drainées, pompages arrêtés, sommet de la crue..	111
F.4232	- Variation du débit drainé, pompages arrêtés.....	111
F.L.1	- Courbes isopièzes, Calcaire grossier, pompages arrêtés, voile partiellement étanche.....	113
F.L.2	- Courbes isopièzes, Sables cuisiers, pompages arrêtés, voile partiellement étanche.....	114
F.M.1	- Courbes isopièzes, Calcaire grossier, pompages arrêtés, voile partiellement étanche, avec drainage.....	115
F.M.2	- Courbes isopièzes, Sables cuisiers, pompages arrêtés, voile partiellement étanche, avec drainage.....	116
F.4330	- Mailles drainées, pompages arrêtés, voile partiellement étanche, sommet de la crue.....	118
F.4340	- Variation du débit drainé, pompages arrêtés, voile partiellement étanche.....	118
F.4410	- Tableau des opérations effectuées sur modèle SAMMIR....	120

- LISTE DES ANNEXES -

- A.1 - Sondages et profils géologiques - faciès de l'Yprésien
- A.2 - Développés géologiques de la fouille
- A.3 - Développés géologiques des parois du R.E.R.

- B.1 - Diagraphies électriques et coupe technique du forage BF
- B.2 - Diagraphies électriques et coupe technique du piézomètre Ba
- B.3 - Diagraphies électriques et coupe technique du piézomètre Bb
- B.4 - Diagraphies électriques et coupe technique du piézomètre Bc
- B.5 - Diagraphies électriques et coupe technique du piézomètre B1
- B.6 - Diagraphies électriques et coupe technique du piézomètre B2
- B.7 - Diagraphies électriques et coupe technique du piézomètre B3
- B.8 - Diagraphies électriques et coupe technique du piézomètre B4
- B.9 - Diagraphies électriques et coupe technique du piézomètre B5

- C.1 - Implantation des piézomètres - cartes piézométriques des nappes des deux réservoirs

I N T R O D U C T I O N

-o-o-o-

Présentation de l'étude

La Société d'études et d'aménagement des Halles s'est intéressée tout particulièrement aux problèmes géotechniques et hydrogéologiques, concernant les fondations et travaux souterrains, car le choix des techniques à utiliser est primordial pour l'ensemble du projet. Il faut non seulement créer une fouille gigantesque avec parois moulées et radier, mais encore inclure en fond de fouille les stations de métro et du réseau express régional. Ceci implique un accord sur les techniques à utiliser par concertation entre les chargés d'étude de la S.E.M.A.H. (Coyne et Bellier, B.R.G.M.), et les chargés d'étude de la R.A.T.P. (service géotechnique R.A.T.P., géohydrologique et SIMECSOL).

La solution proposée consiste dans la réalisation en fouille à ciel ouvert de tout ce complexe dont l'aménagement final ressemblera à un gigantesque bateau (parois moulées et radier S.E.M.A.H.) dont la quille serait constituée par les deux stations du métro et du R.E.R. Une étude complète du comportement hydrodynamique des réservoirs aquifères dans lesquels s'ancre cette construction était indispensable. Cette étude s'intéresse aux deux périodes de réalisation : d'une part, à la période de fonçage et d'assèchement de la fouille avec les problèmes de pompages qu'elle nécessite et les influences piézométriques qu'elle engendre dans le quartier, d'autre part, après la construction, à la stabilité de l'ensemble soumis aux fluctuations des niveaux d'eau des nappes aquifères en relation avec la Seine toute proche.

Ces études ont véritablement commencé en 1966 et ont fait l'objet de rapports et notes techniques nombreux de la part des deux organismes et de leurs chargés d'étude. Une liste sommaire de ces documents est présentée ci-après : leur qualité technique et leur diversité sont un signe de l'ampleur et de la difficulté des problèmes à résoudre.

A la veille de l'exécution des travaux, la S.E.M.A.H. a confié au B.R.G.M. la réalisation de la synthèse et la vérification de la cohérence de toutes les données à l'aide des moyens de simulation des écoulements par ordinateur.

Un marché d'étude a été signé le 27 août 1971. Son objet était la détermination :

- durant la période de fouille
 - + des débits d'exhaure à évacuer
 - + de l'influence piézométrique de ces travaux aux alentours
- après la réalisation des aménagements
 - + de l'influence de pompages nouveaux
 - + de la répartition des pressions sous le radier sous l'influence de crue de la Seine
 - + du débit à drainer dans ces conditions pour assurer la stabilité des constructions.

Les études et travaux concernant ce marché ont été réalisés de juillet 1971 à mars 1972. Leur ordre de déroulement a été celui repris dans le plan de ce rapport, c'est à dire :

- l'étude des conditions géologiques - rappel des nombreuses données géologiques existantes sous l'aspect structural et caractéristiques hydrodynamiques des réservoirs.
- la réalisation d'ouvrages de reconnaissance complémentaires dans des secteurs du quartier moins bien étudiés.
- la réalisation de pompages d'essai destinés à l'obtention de caractéristiques hydrodynamiques et notamment de la perméabilité verticale.
- l'actualisation des données sur les prélèvements effectués dans le domaine d'étude et réalisation de cartes piézométriques des nappes des deux réservoirs.
- l'étude de l'influence d'une crue de la Seine sur les niveaux d'eau dans les réservoirs par détermination de la diffusivité.
- la réalisation de modèles de simulation des écoulements en milieu poreux en régime permanent et en régime transitoire permettant de déterminer les effets probables des aménagements sur la piézométrie du secteur et de la piézométrie sur la stabilité de ces aménagements.

l'interprétation de ces renseignements et les conclusions pratiques à en tirer.

Des réunions de concertation avec les organismes réalisateurs et leurs chargés d'étude permanents ont permis une confrontation des idées et hypothèses admises tout au long du déroulement des travaux.

DOCUMENTS CONSULTÉS

-o-o-

- COYNE ET BELLIER - Reconnaissance du sous-sol - rapport général. Janv.1969
- COYNE ET BELLIER - Les Halles - S.E.M.A.H. Traitement du banc de Calcaire grossier - octobre 1970
- COYNE ET BELLIER - Etude de la stabilité, en temps de crue, des constructions souterraines projetées aux Halles (gare souterraine du R.E.R. et réalisations de la S.E.M.A.H.) février 1971
- COYNE ET BELLIER - Relevés piézométriques
- E.D.F. CHATOU - Influence du réservoir Seine sur la propagation des crues de la Seine jusqu'à Paris - J.C. Lebreton et G.Benoist - 1968
- GEOHYDRAULIQUE - Interactions entre le fleuve Seine et le système aquifère du secteur des Halles de Paris - mai 1970 Geoh. 287
- R.A.T.P. - Essai de pompage dans le Calcaire grossier dans le secteur des Halles de Paris - puits CH5 - sept. 1969
- R.A.T.P. - Secteur des Halles de Paris - Essai de pompage dans le Calcaire grossier sondage CH 13 - octobre 1969
- R.A.T.P. - Secteur des Halles de Paris - Essai de pompage dans le Calcaire grossier sondage CH 14 - novembre 1969
- R.A.T.P. - Station Châtelet - essais de pompage dans les Sables cuisisiens - puits CH 22 et CH 23 - juillet 1970
- R.A.T.P. - Station Châtelet - étude de stabilité - fév. 1971
- R.A.T.P. - Station Châtelet - plan et profils de la solution de base - juillet 1971
- R.A.T.P. - Relevés piézométriques
- R.A.T.P. - S.E.M.A.H. Travaux préparatoires - exécution d'une enceinte étanche et de parois de soutènement - plan de repérage - septembre 1971

- S E I L - R.E.R. Mesures de contraintes dans le Calcaire grossier - septembre 1970
- S I M E C S O L - Note technique sur la stabilité des stations sous l'action des poussées hydrostatiques de la nappe en période normale et en période de crue - mars 1969 2163/1
- S I M E C S O L - Note technique complémentaire - juillet 1969 - 2163/2

A. ETUDE DES CONDITIONS GEOLOGIQUES DANS LE PERIMETRE
DU QUARTIER DES HALLES

A.1. Généralités

11. Délimitation du secteur étudié

La zone étudiée déborde largement le quartier des Halles proprement dit de manière à pouvoir préciser les conditions géologiques et hydrogéologiques dans le voisinage de la fouille.

Le périmètre est limité : au Nord par la rue Réaumur, à l'Est par la rue du Temple, au Sud par la Seine et à l'Ouest par le Palais-Royal.

12. Avertissement au lecteur

Ce chapitre ne reprend pas la description générale des couches géologiques, cette partie ayant été traitée dans le rapport établi par la Société COYNE et BELLIER (Janvier 1969).

Cette étude s'attachera davantage à définir avec le maximum de précision et de détail possible, les caractéristiques géologiques des terrains à l'intérieur du périmètre délimité ci-dessus. C'est ainsi que seront précisées, en particulier, la lithologie et les variations de faciès de l'Yprésien en même temps que la disposition structurale des différentes assises.

A.2. Données géologiques du secteur

De manière à caractériser les formations géologiques constituant le sous-sol du périmètre des Halles, il a été tracé un certain nombre de profils recoupant le secteur selon un axe sensiblement Sud-Nord. Le tracé de ces profils a été guidé par la densité de la documentation existant dans la zone, constituée d'une part par des ouvrages anciens archivés au B.R.G.M., et d'autre part par tous les ouvrages récents, en particulier ceux exécutés par la R.A.T.P. lors des travaux du R.E.R.

Cette documentation n'est pas homogène, les ouvrages récents ayant fait l'objet de description lithologique détaillée, au contraire des ouvrages anciens pour lesquels seules des coupes sommaires existent.

Les profils sont au nombre de six, ils sont tous orientés S.SO-N.NE et sont sensiblement parallèles. Ils sont implantés sur la planche A.1 en annexe.

21. Mode d'exécution des profils géologiques

Ces profils ont été établis à l'aide des coupes détaillées de forages. Dans la mesure du possible, le profil passe par le maximum d'ouvrages, sauf dans certains cas où le forage a dû être projeté sur la ligne de coupe, ceci reste cependant compatible avec la précision générale escomptée.

22. Résultats obtenus

Les buts recherchés sont de deux ordres, d'une part fournir des caractéristiques lithologiques détaillées pour les terrains compris entre la base du Calcaire grossier Lutétien et les Fausses glaises, c'est-à-dire les Sables du Soissonnais, d'autre part donner la disposition structurale des différentes assises à l'intérieur du périmètre étudié.

En ce qui concerne la description lithologique des différentes formations, le rapport COYNE et BELLIER l'a traitée en grande partie en donnant pour chacune d'elle la succession des diverses couches, leurs caractéristiques lithologiques etc... Dans la réalisation des profils, il était quasiment impossible de reproduire dans le détail la lithologie fine des terrains, par suite d'une information détaillée insuffisante mais surtout étant donné l'hétérogénéité importante des formations. C'est le cas en particulier des Marnes et Caillasses, formation hétérogène par excellence dont l'alternance de marnes, marno-calcaires et de calcaires silicifiés peut être difficilement corrélable d'un sondage à l'autre. Il en est de même du Calcaire grossier qui ne constitue pas sur toute sa hauteur un ensemble homogène. En effet, certains passages peuvent être plus tendres, marneux ou sableux. La base représentée, soit par un calcaire sableux très glauconieux, soit par un ensemble de sables très grossiers glauconieux, constituant "La Glauconie grossière" n'existe pas partout ou n'a pu être individualisée lors de l'établissement des coupes.

Cet ensemble de considération fait que pour les terrains situés au-dessus de l'Yprésien, nous n'avons pas établi une lithologie fine, mais seulement exprimé les caractères lithologiques dominants.

23. Description et commentaires des profils géologiques

23.1 Profil n° 1 - graphique A 2310

- . Début : La Seine, Pont Notre-Dame
- . Fin : Rue du Grenier St Lazare
- . Longueur : 0,775 km environ

- Caractères géologiques

L'ensemble Remblais-Alluvions représente une épaisseur de l'ordre de 10 à 12 m. Les Remblais constituent une formation très discontinue avec des épaisseurs pouvant varier très rapidement. Quant aux alluvions, l'épaisseur maximale est de 8 m avec un minimum de 5 m. C'est un ensemble sablo-graveleux devenant de plus en plus grossier vers la base.

Les Marnes et Caillasses, peu épaisses (3 à 5 m) dans la partie sud (forages CA 4 et CA 3) où elles ont du être vraisemblablement érodées, s'épaississent vers le Nord pour atteindre près de 20 m dans le sondage HS 6. Il est intéressant de signaler des poches alluvionnaires assez importantes dans les sondages HS 8 et HS 7. Ces cavités ont du se former par dissolution de bancs gypseux existant dans les Marnes et caillasses. Les effondrements et les fissures dans le toit de ces cavités ont entraîné leur remplissage par les matériaux sus-jacents.

Le Calcaire grossier se présente comme une assise d'épaisseur constante (15 m).

L'Yprésien (Sables du Soissonnais) débute dans le Sud du profil par des sables avec de rares intercalations argileuses. L'épaisseur des sables est de l'ordre de 8 m (CA 4). Dans le sondage HS 8, ils débutent par un niveau argileux peu épais auquel fait suite un ensemble sableux avec une intercalation argileuse médiane. L'ensemble représente 12 mètres env.

Dans l'extrême partie nord, forages HS 7 et HS 6, l'Yprésien se présente sous un faciès argileux, recoupé sur 3,50 m par le sondage.

- Disposition structurale

Depuis la Seine jusqu'au sondage HS 9, le pendage est dirigé vers le Sud et atteint 1%, il s'inverse ensuite et devient Nord avec une valeur de l'ordre de 3%.

Cette disposition résulte d'une zone anticlinale située au Sud du périmètre entre les Halles et la Seine. Cette ride orientée Ouest-Est jusqu'au Boulevard Sébastopol s'infléchit vers le SE ensuite en direction de l'Hôtel de Ville.

Le flanc nord plonge en direction du NE, le flanc méridional vers le Sud, avec, au niveau de la rue Pierre Lescot, une sorte de col.

- Données hydrogéologiques

Les différentes couches ont fait l'objet soit d'essais de perméabilités classiques (essais de pompage), soit d'essais Lugeon. Les résultats ont été mentionnés chaque fois que cela était possible. Les valeurs de K obtenues pour les différentes couches testées témoignent de l'hétérogénéité des terrains.

Les principaux résultats ont été regroupés et analysés dans le rapport COYNE et BELLIER.

23.2 Profil n° 2 - graphique A 2320

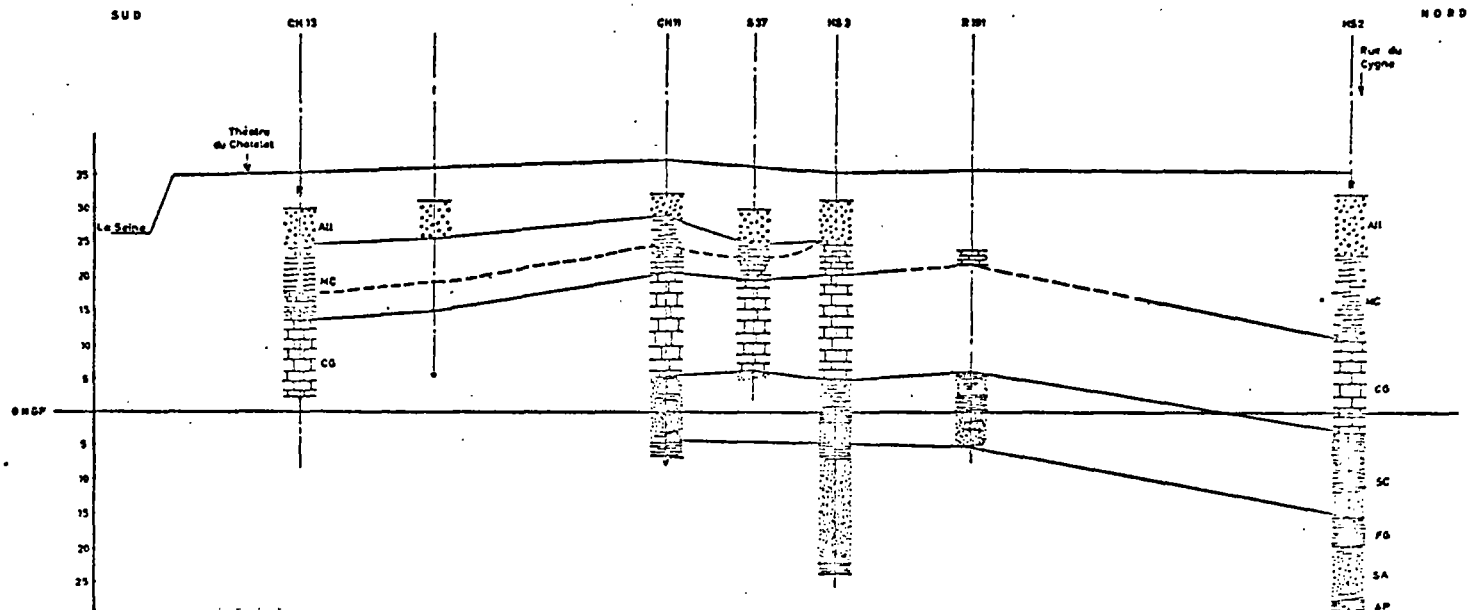
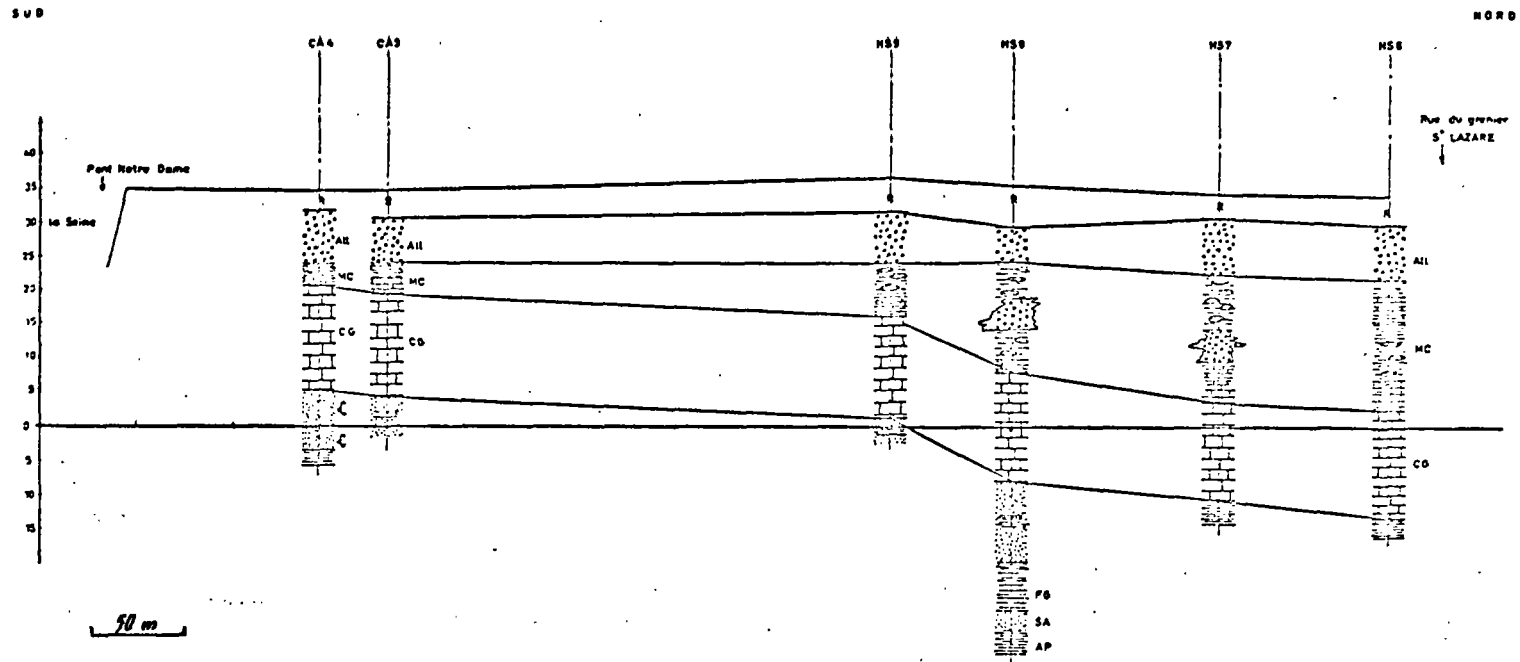
- . Début : La Seine, Quai de la Mégisserie, Théâtre du Châtelet
- . Fin : Rue du Cygne
- . Longueur : 0,710 km environ

- Caractères géologiques

- + Remblais-Alluvions : épaisseur moyenne 10 m. Minimum : 8 m (CH 11) ; maximum 12 m (HS 2).
- + Marnes et Caillasses : épaisseur variable, minimale 5 m (S 37), maximale 12 m (CH 13). Les Marnes et Caillasses ont été érodées par suite de la disposition tectonique des couches sur le sommet de l'anticlinal (sondages CH 11, S 37 et HS 3).
- + Calcaire grossier : il montre une épaisseur assez constante de l'ordre de 15 m.
- + Yprésien : Sables du Soissonnais : Nous n'avons pas d'indication pour la partie sud du profil, par contre dans la partie médiane (sondages CH 11, S 37 et HS 3), on note la présence de faciès sableux avec niveau argileux très fin en tête 0,50 m, et intercalations argileuses dans les sondages HS 3 et R. 191. Dans la

Rénovation du quartier des Halles de Paris
profil géologique n°1 et 2

A 2310



A 2320

partie nord HS 2, l'Yprésien débute par 8,50 m d'argile.
L'épaisseur des Sables du Soissonnais est de l'ordre de 10 à 12 m. Ils reposent sur les Fausses glaises 3 à 5 m auxquelles font suite les Sables d'Auteuil.

- Disposition structurale

Ce profil montre parfaitement l'existence d'une ride anticlinale dont l'axe apparaît dans les sondages CH 11, S 37 et HS 3. Les couches plongent d'un côté doucement vers le Sud en direction de la Seine, de l'autre vers le N.E. avec un pendage plus accentué 3%.

23.3. Profil n° 3 - graphique A 2330

- . Début : La Seine, Quai de la Mégisserie, face rue des Bourdonnais
- . Fin : Rue Réaumur
- . Longueur : 1,125 km

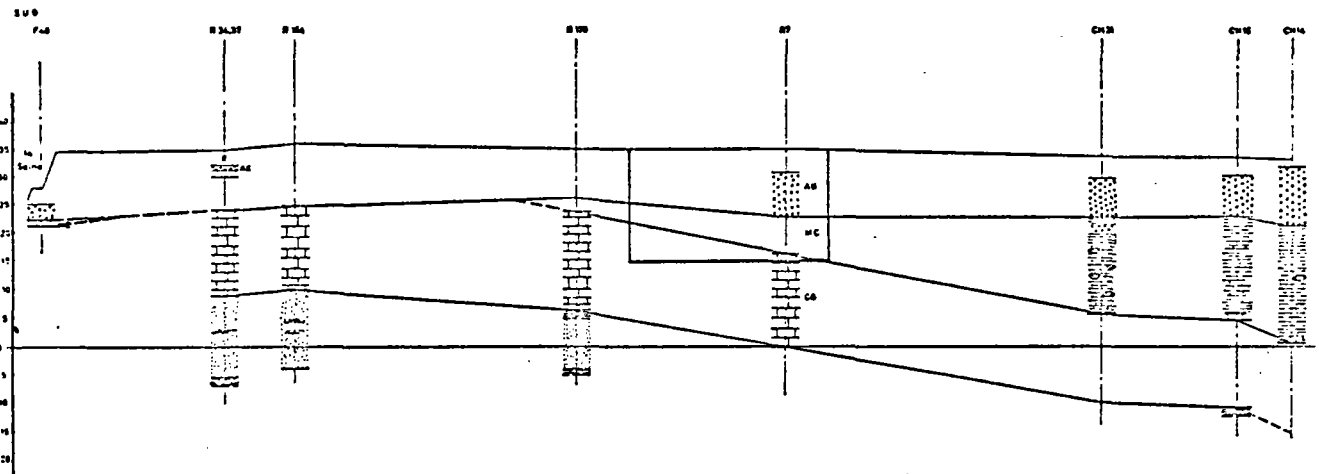
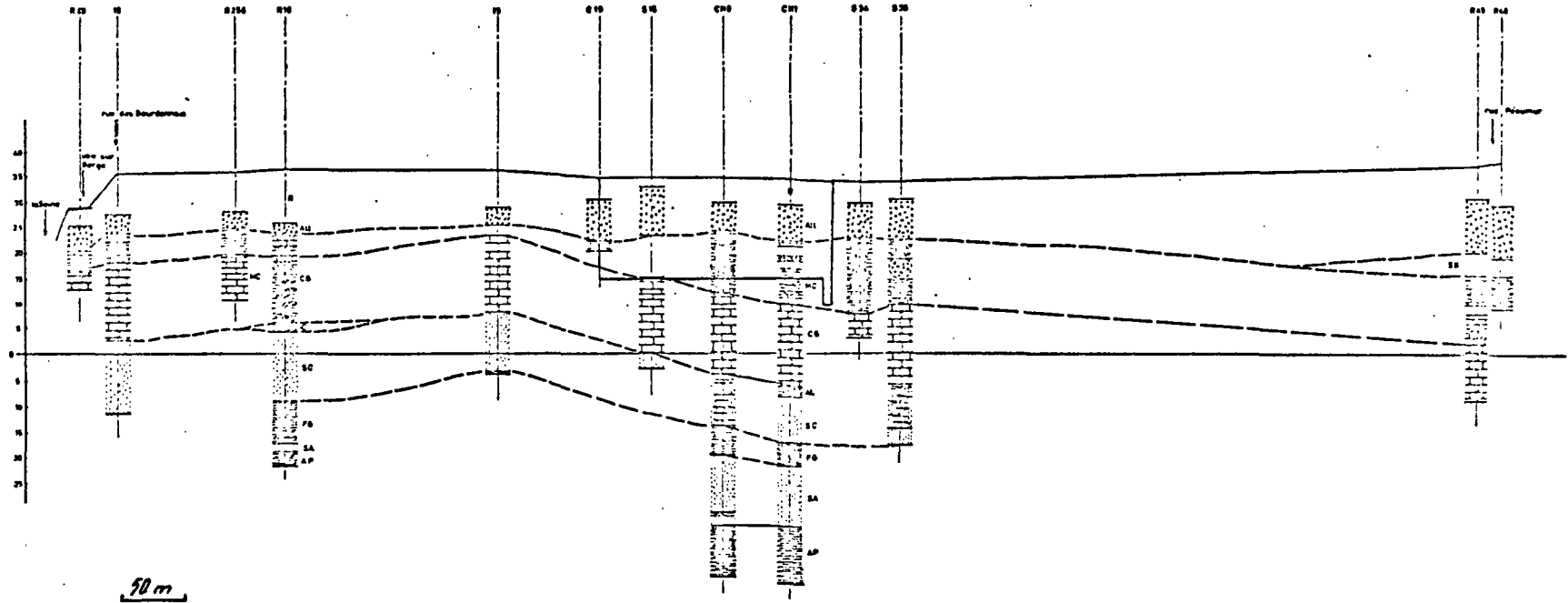
- Caractères géologiques

Les Remblais et Alluvions représentent un ensemble dont l'épaisseur varie entre 10 et 12 m avec des variations très rapides pour chacun d'eux.

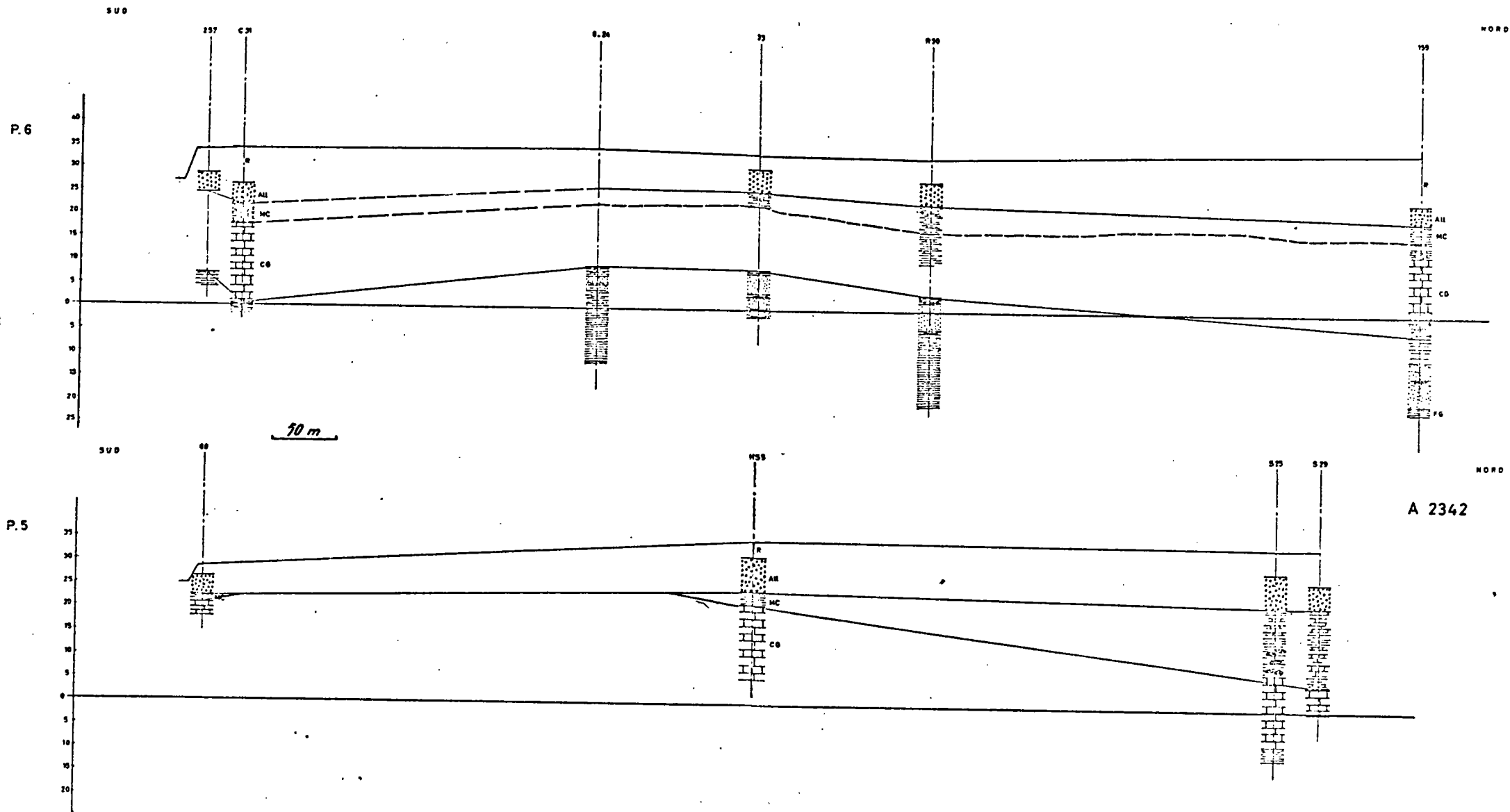
Les Marnes et Caillasses peu épaisses 5 m dans la partie sud ne comptent plus que 2,50 m au niveau du sondage 13 au sommet de l'anticlinal, puis elles s'épaississent en direction du Nord pour atteindre 15 m. Au niveau de la rue de Réaumur, sondages R 49 et R 48, les Sables de Beauchamp ont été rencontrés sur 4 m environ.

Le Calcaire grossier conserve tout au long du profil une puissance très constante de l'ordre de 15 m.

Les Sables du Soissonnais sont représentés par un faciès sableux dans toute la partie sud du profil. L'épaisseur des sables est de l'ordre de 12 à 14 m. Dans la partie médiane, les sables deviennent plus argileux. Nous n'avons pas d'indication pour la partie nord, celles fournies par les autres profils laissent supposer que l'Yprésien débute ici par des formations argileuses.



Rénovation du quartier des Halles de Paris
profils géologiques n° 5 et 6



- Disposition structurale

Ce profil montre parfaitement la disposition anticlinale des couches avec un enfoncement plus marqué des terrains vers le Nord.

. REMARQUE : Ce profil recoupe dans sa partie médiane la fouille générale dont le plancher se situera dans les Marnes et caillasses, sauf dans le Sud où il entaillera légèrement le sommet du Calcaire grossier. Dans la partie nord apparaît une partie de la fouille R.E.R. ; son plancher sera situé 1 à 1,5 m sur le toit du Calcaire grossier.

23.4 - Profils n° 4, 5 et 6 - graphiques A 2341, 42 et 43

Ces profils montrent la même disposition générale des couches. L'Yprésien débute par des sables dans la partie sud du profil 4, dans la partie nord le forage CH 16 indique 1 m d'argile en tête de l'Yprésien.

. REMARQUE : Sur le profil 4, le tracé de la fouille montre que le plancher de la fouille générale se situera dans le Calcaire grossier excepté l'extrémité nord qui sera dans les Marnes et Caillasses.

Le profil 6 indique pour l'Yprésien des faciès nettement plus argileux surtout au sommet, où il débute partout par des argiles.

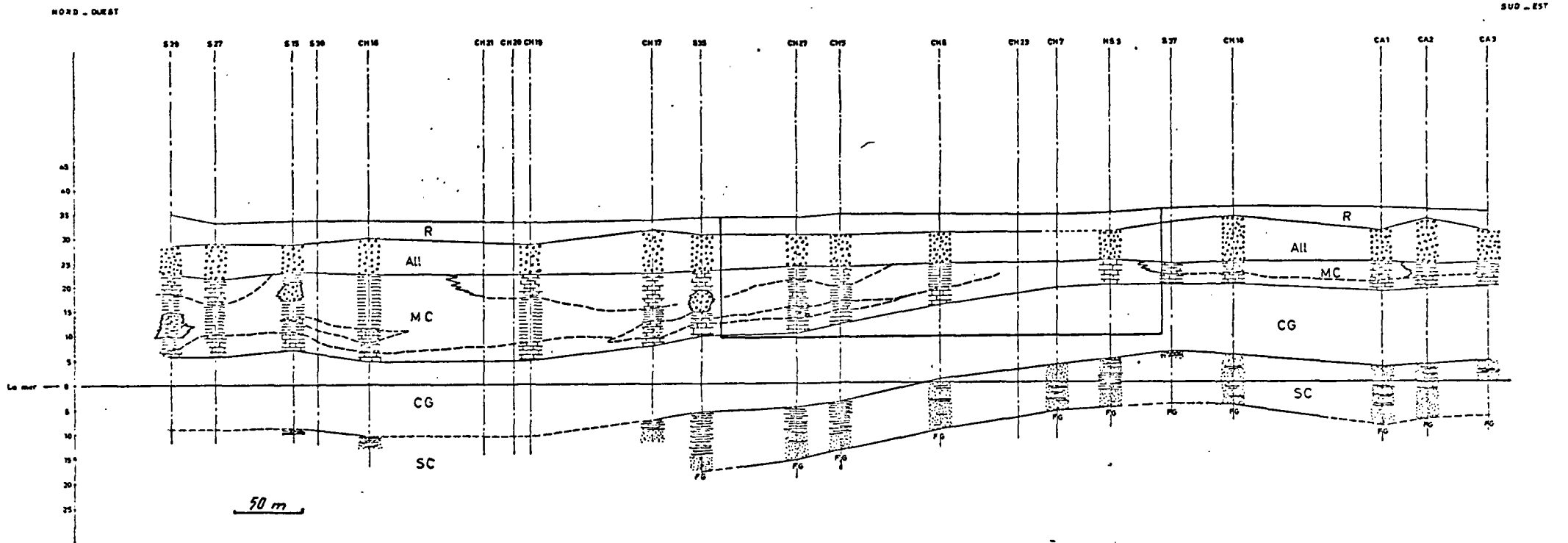
23.5 - Profil Nord-Ouest - Sud-Est - graphique A 2350

Ce profil recoupe dans le sens longitudinal la fouille du R.E.R.

Il permet de se rendre compte de la remontée rapide des couches à la faveur de l'anticlinal ; le plancher de la fouille dans sa partie sud se rapprochant du sommet des Sables du Soissonnais. L'épaisseur du Calcaire grossier restant au-dessus de l'Yprésien est ici de l'ordre de 4 m. Au Nord, le plancher de la fouille arrive à la hauteur du mur des Marnes et Caillasses.

Il faut signaler en outre, que les faciès du toit de l'Yprésien dans cette zone sont sableux à sablo-argileux, ce qui confère à ces terrains une perméabilité assez grande avec risque de formation de "renard", lors du creusement de la fouille. En direction du Nord-Ouest, le sommet de l'Yprésien devient plus argileux, d'abord argilo-sableux puis franchement argileux.

Rénovation du quartier des Halles de Paris
profil géologique n°7



A.3. Développé géologique de la fouille générale : planche A 2 en annexe

Afin de préciser les caractéristiques géologiques au voisinage de la fouille, il a été procédé à la réalisation d'un développé géologique des parois de la fouille.

Comme pour les profils géologiques, seul l'Yprésien et plus précisément les Sables du Soissonnais ont fait l'objet d'une description détaillée des faciès.

3.1 - Développé géologique des parois

31. 1 - Section A.B.

La fouille recoupera les Remblais, Alluvions, Marnes et Caillasses et le sommet du Calcaire grossier. Le plancher de la fouille sera situé 4 m sur le toit du Calcaire grossier en A et 4.50 m en B.

31. 2 - Section B.C.

Le plancher de la fouille reposera à 4,50 m sous le toit du Calcaire grossier dans la partie sud de la section au point B. Ensuite l'épaisseur du Calcaire grossier entaillé diminuera. Elle sera nulle à proximité de B.2. Plus au Nord en C, il restera 1,50 m de Marnes et Caillasses au fond de la fouille.

31. 3 - Section C.D.

Plancher de la fouille dans les Marnes et Caillasses, 7 à 7,50 m au-dessus du mur du Calcaire grossier.

31. 4 - Section D.E.

Plancher de la fouille dans les Marnes et Caillasses, 9,50 m au-dessus du plancher du Calcaire grossier.

31. 5 - Section E.F.

Plancher de la fouille dans les Marnes et Caillasses pour toute la partie orientale et médiane.

Dans le Calcaire grossier pour l'extrême partie occidentale, par suite du relèvement des couches à l'Ouest du secteur.

31. 6 - Section F.G.

Plancher de la fouille dans le Calcaire grossier, 4 m sous le toit en F et 7 m environ en G.

31. 7 - Section G.H.

Plancher dans le Calcaire grossier excepté vers H où la fouille arrive juste en limite du mur des Marnes et Caillasses.

31. 8 - Section H.A.

Plancher dans le Calcaire grossier, excepté à proximité de H.

32. - Carte de faciès du fond de la fouille générale :

Les remarques précédentes sont corroborées par la carte (A 32II) indiquant la nature des terrains du fond de la fouille (cote + 15 m). Ce schéma montre que la moitié nord de la fouille reposera sur les Marnes et Caillasses, la moitié sud sur le Calcaire grossier.

. REMARQUE : Une carte de l'épaisseur des formations lutétiennes, (A 3212) comprises entre le plancher de la fouille (+ 15 m) et le toit des Sables du Soissonnais montre un épaissement de ces formations du Sud-Ouest vers le Nord-Est. Dans la partie sud, elle est voisine de 10 - 12 m, alors que dans le Nord de la fouille, elle atteint 20 à 21 m.

A.4. Fouille du Réseau Express-Régional : R.E.R.

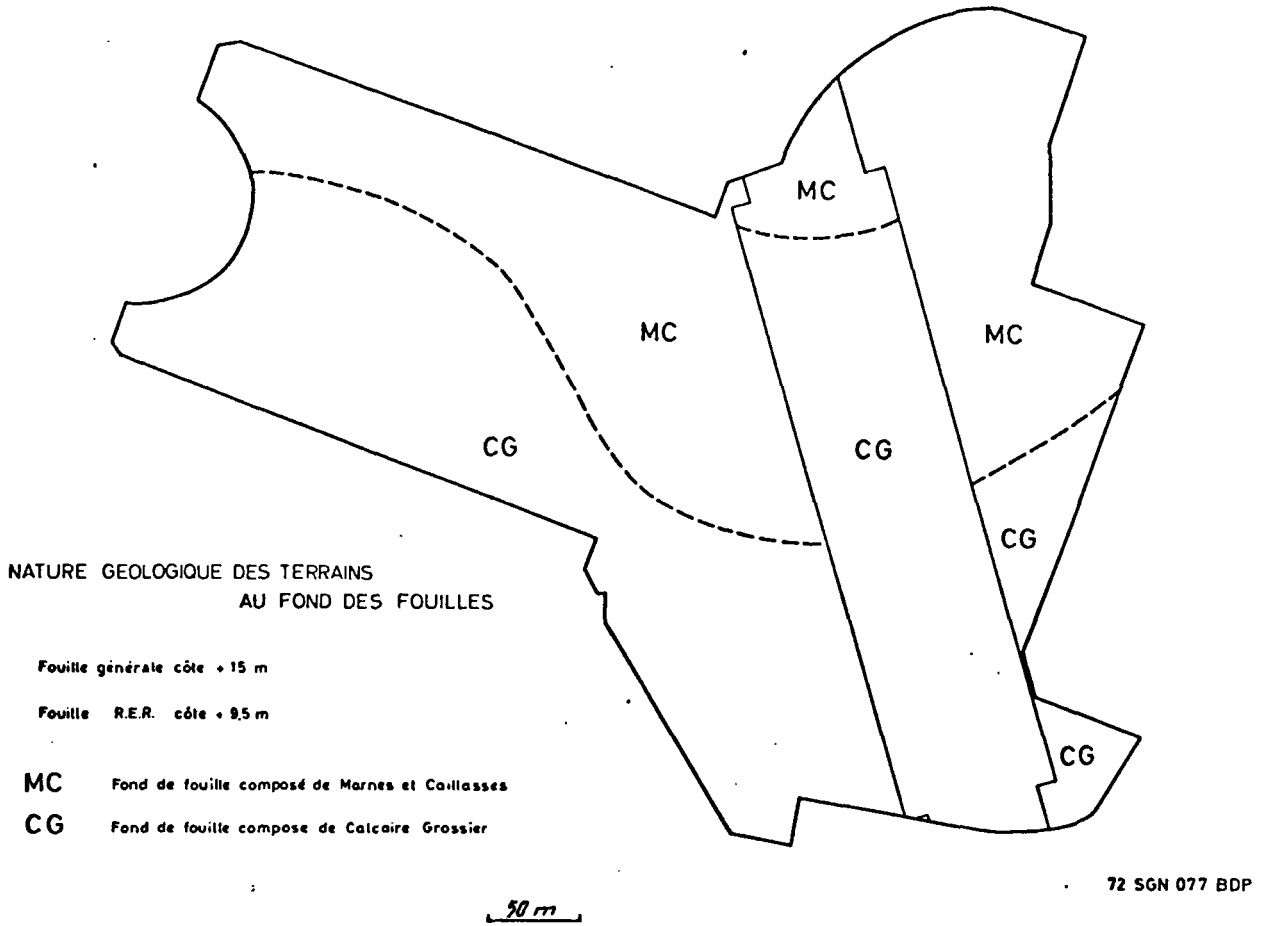
41. - Développé géologique

L'examen du développé géologique de la fouille du R.E.R. appelle les remarques suivantes :

41. 1 - Plancher de la fouille : Cote + 9,5 m (fig. A3211
et A3212)

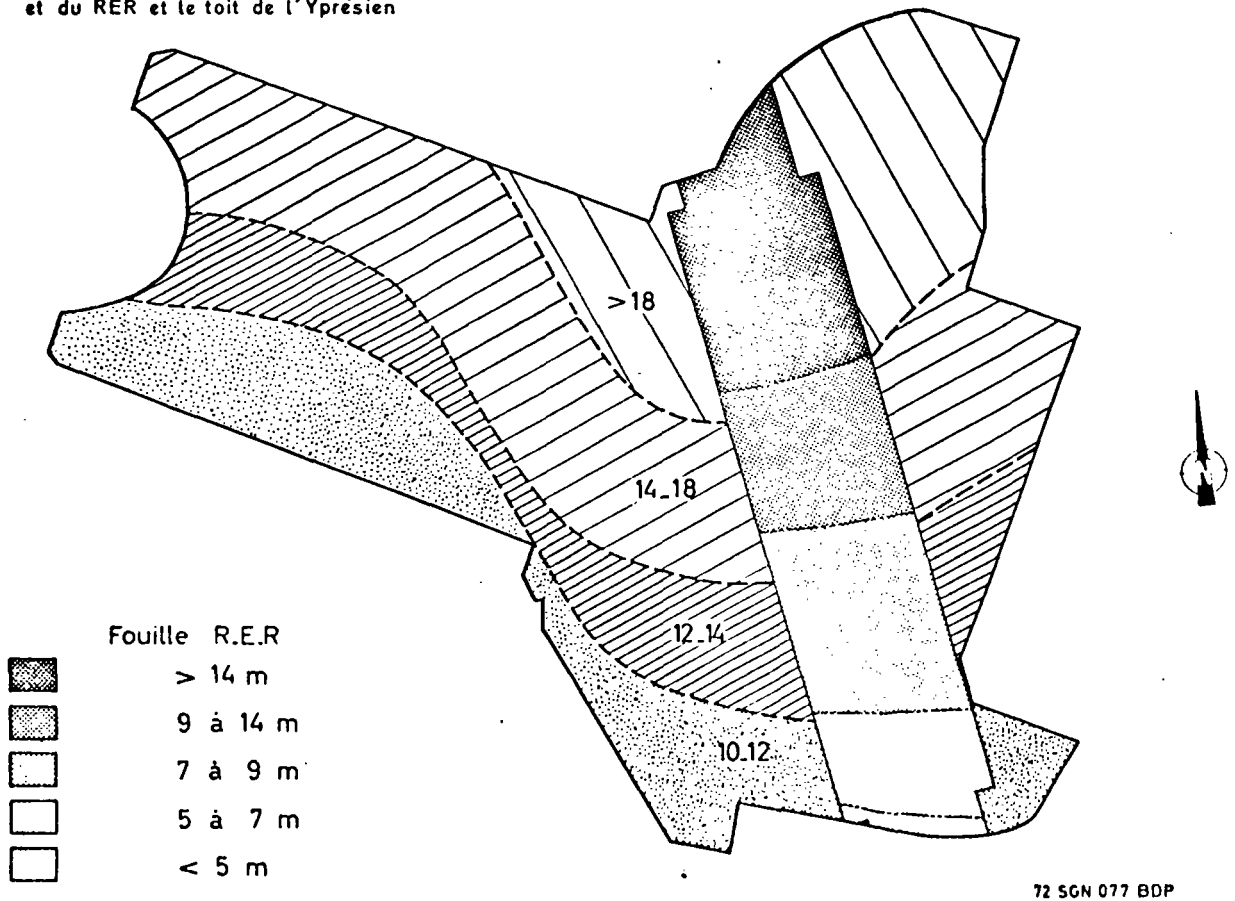
Il repose sur toute sa surface sur le Calcaire grossier avec selon les cas des différences notables d'épaisseur au-dessus des "sables yprésiens"

Rénovation du quartier des Halles de Paris



RENOVATION DU QUARTIER DES HALLES DE PARIS

Carte d'épaisseur du Lutétien compris entre les radiers de la fouille générale et du RER et le toit de l'Yprésien



C'est ainsi qu'au Sud, l'épaisseur est de l'ordre de 4 à 5 m, elle va croissant vers le Nord où elle atteint 16 m.

41. 2 - Parois de la fouille : planche A 3 en annexe

. La paroi sud est entièrement constituée par le Calcaire grossier.

. Les parois ouest et est sont du fait de la tectonique, partiellement constituées de Calcaire grossier (40 à 70%) et de Marnes et Caillasses (30 à 40%). La paroi nord est presque entièrement composée de Marnes et Caillasses.

42. - Faciès de l'Yprésien :

42. 1.- Toit des Sables du Soissonnais

Les faciès du toit de l'Yprésien sont représentés dans toute la partie sud de la fouille par des formations à tendance sableuse ou sablo-argileuse.

Dans la partie nord de la fouille à partir d'une ligne Ouest-Est joignant les sondages CH 8 et CH 5, les faciès sont nettement plus argileux à franchement argileux.

Cette constatation est très importante, car comme nous l'avons vu dans la description du développé de la fouille générale, c'est dans le Sud de la paroi du R.E.R. que l'Yprésien est le plus proche du radier du métro, donc que la pression hydrostatique de la nappe de ce réservoir risque d'être la plus forte et la plus gênante.

42. 2.- Sables du Soissonnais :

Ces sables constituant le sommet de l'Yprésien reposent partout sur les Fausses glaises dont la nature lithologique peut les faire considérer comme une couche imperméable. Par contre, les Sables du Soissonnais peuvent par suite de variations lithologiques présenter des caractéristiques hydrodynamiques locales bien particulières.

Etant donné la difficulté de reproduire sur un profil la nature lithologique détaillée des formations et leurs variations latérales, nous avons plutôt essayé de définir un rapport sable-argile et montrer ses variations.

Ce rapport très approché est de l'ordre de 75 % de sables dans le Sud, il augmente légèrement pour atteindre 80 % (sondages CH 9 et CH 6) puis diminue assez rapidement vers le Nord où il se situe aux alentours de 50 %.

A.5. Faciès de l'Yprésien sous le périmètre étudié

Le manque de renseignements détaillés sur l'ensemble du secteur ne permet pas de donner une image précise des faciès de l'Yprésien. Cependant, quelques données concernant le toit de la formation ont pu être indiquées et représentées sur la planche A 1 en annexe.

On a pu de cette façon différencier trois grandes zones :

- Au Sud, une zone dans laquelle le toit de l'Yprésien se présente sous un faciès sableux où l'épaisseur des sables est voisine de 10 m avec une fourchette variant entre 5 et 15 m.
- Dans la partie médiane du périmètre étudié, une zone où l'Yprésien est représenté par un faciès sablo-argileux.
- Au Nord enfin une zone à faciès nettement argileux.
(Sur cette même planche, nous avons reporté les zones où les Marnes et Caillasses sont érodées et où les Alluvions reposent directement sur le Calcaire grossier . Elles se situent à proximité de la Seine.

A.6. Conclusions

L'analyse fine des conditions géologiques du périmètre de la fouille des Halles a permis de mettre en évidence :

- la grande hétérogénéité des terrains constituant le sous-sol du périmètre étudié.
- l'allure tectonique des formations.
- la lithologie aussi détaillée que possible des couches rencontrées et leur variation latérale.

Ces résultats permettront d'orienter les études ultérieures qui seront entreprises sur le secteur, ainsi que les travaux de fouille proprement dits.

B. OUVRAGES DE RECONNAISSANCE COMPLEMENTAIRES

-o-o-o-

C'est pour compléter les renseignements hydrogéologiques possédés dans le secteur des Halles que nous avons demandé l'exécution de 9 ouvrages supplémentaires. Un forage et 3 piézomètres situés rue Rambuteau à hauteur du pavillon 9 devaient nous permettre de réaliser des pompages d'essai au Calcaire grossier. Les 5 autres ouvrages devaient nous renseigner en particulier sur la géologie des bords de la fouille et nous permettre d'établir un développé géologique plus précis de ceux-ci.

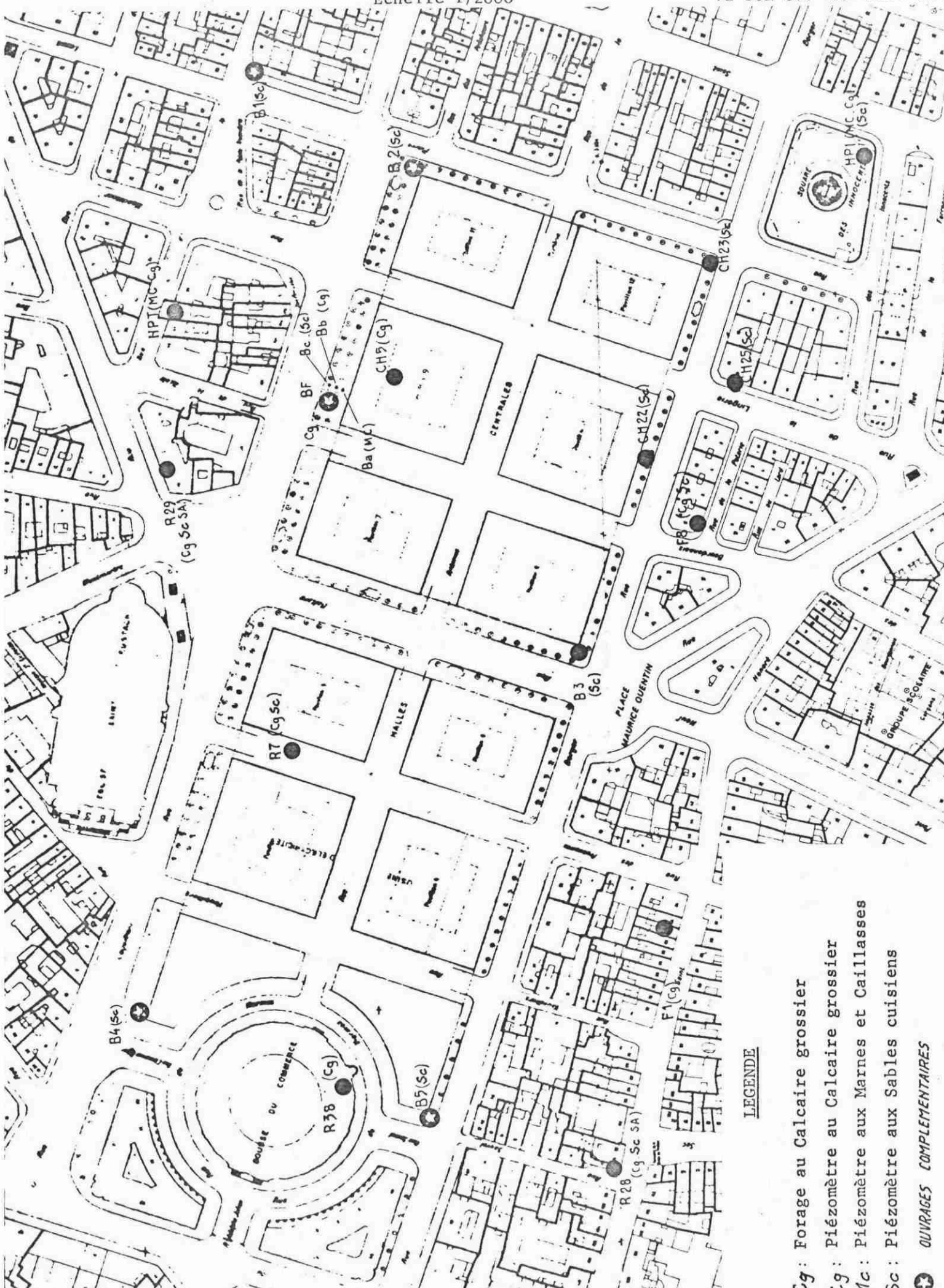
Les sondages ont été exécutés du 9 août au 10 octobre 1971 par l'entreprise SOLETANCHE. Pour diminuer le coût de l'opération, ils ont été réalisés en destructif, les coupes géologiques étant restituées à partir de diagraphies gamma-ray (sonde B.R.G.M.).

La figure B 0010 donne la position de tous ces ouvrages.

Plan de situation des ouvrages de reconnaissance complémentaires

Echelle 1/2000

72 SGN 077 BDP mars 72



LEGENDE

- Cg : Forage au Calcaire grossier
- Cg : Pézomètre au Calcaire grossier
- Mc : Pézomètre aux Marnes et Caillasses
- Sc : Pézomètre aux Sables cuisis
- OUVRAGES COMPLEMENTAIRES

B.1. - Caractéristiques des ouvrages11. - Coupes techniques des forages

Les caractéristiques techniques des sondages sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Ouvrages	Nappe sollicitée	Ø du forage (mm)	Profondeur totale (m)	Ø du tubage (mm)	Profondeur de la crépine et du massif de gravier filtrant (m)	Profondeur de la cimentation (m)
B.F.	Calcaire grossier	560	40	270	26 à 37	0 à 25 et 39,5 à 40
B.a.	Marnes et Caillasses	200	25	100	20 à 24	0 à 19 et 24 à 25
B.b.	Calcaire grossier	"	40	"	25 à 39	0 à 24 et 38,6 à 40
B.c.	Cuisien	"	50	"	41 à 49	0 à 40 et 49 à 50
B.1.	"	"	"	"	36 à 49	0 à 35 et 49 à 50
B.2.	"	"	"	"	"	0 à 35 et 48,4 à 50
B.3.	"	"	"	"	"	0 à 35 et 48,2 à 50
B.4.	"	"	"	"	"	0 à 35 et 48,4 à 50
B.5.	"	"	45	"	30,7 à 43,7	0 à 29,7 et 43,7 à 45

Les ouvrages ont été réalisés avec une X CH 90 travaillant à la fois en rotation et en percussion, avec une boue à l'amidon.

Le tubage du forage B.F est métallique ; sa crépine est composée de fentes à nervures repoussées de 2 mm d'ouverture, présentant un pourcentage de vide de 11%. Le gravillon filtrant mis en place est granitique et de dimension comprise entre 5 et 15 mm. La cimentation a été réalisée avec un tube plongeur en remontant ; avant l'exécution de la cimentation, sur le massif de gravillon un lit de sable très fin d'1 m de hauteur a été mis en place pour éviter une contamination du filtre par le ciment.

Les 8 piézomètres ont des tubages plastiques ; leurs crépines présentent un pourcentage de vide voisin de 2,5 % et sont recouvertes de toile nylon à maille de 98/100 mm. Le gravillon granitique mis en place a des dimensions comprises entre 3 et 5 mm. La cimentation a été réalisée de la même façon que pour le forage.

12. - Développement des forages - Vérification du décolmatage des ouvrages et de l'isolation des niveaux captés - Cote des niveaux d'eau.

Tous les ouvrages ont été nettoyés avec une solution riche en amylo-bactéries pour dissoudre le cake à l'amidon.

Le forage a été développé par des pompages à débits variables coupés d'arrêt du 11 au 13.10.1971, les piézomètres à l'air-lift du 1 au 13.10.1971.

Le décolmatage de tous les sondages a été vérifié par le B.R.G.M. en injectant de l'eau durant 1/2 heure, en suivant les variations des niveaux d'eau et en constatant un rétablissement rapide du niveau initial.

Durant les essais d'injection sur les ouvrages crépinés aux Marnes et Caillasses et au Calcaire grossier (B.F., B.a., B.b.) il n'y a pas eu d'influence sur le piézomètre au Cuisien (B.c.), par contre, on a noté

que les ouvrages au Calcaire grossier et aux Marnes et Caillasses étaient en relation. Les cimentations de ces ouvrages étant correctement réalisées, ceci est dû au fait qu'entre ces deux formations, il n'y a pas, dans le site de la station d'essais, de couches imperméables intermédiaires étendues.

Dans les ouvrages qui sollicitent les Marnes et Caillasses et le Calcaire grossier, la cote du toit de la nappe se situe entre + 16,40 m et + 16,14 m, dans les piézomètres au Cuisien entre + 10,94 m et + 12,10 m. Il y a donc 2 nappes distinctes l'une est celle du Cuisien, la seconde celle de l'ensemble Calcaires grossier-Marnes et Caillasses. La première est franchement captive, la seconde libre.

B.2. - Coupes géologiques des ouvrages

Des coupes géologiques prévisionnelles des 9 ouvrages précités avaient été établies à partir de celles des forages réalisés auparavant dans le secteur, en particulier pour la S.E.M.A.H. et la R.A.T.P. Ces 9 ouvrages ayant été réalisés en destructif, leurs coupes géologiques ont été reconstituées grâce à des diagraphies gamma-ray effectuées de septembre à octobre 1971.

Le tableau ci-dessous récapitule les cotes des coupes géologiques adoptées (en N.G.F.).

Ouvrages	Cote du sol (m)	Cote de la coupure Alluvions/Marnes et Caillasses (m)	Cote de la coupure Marnes et Caillasses/ Calcaire grossier (m)	Cote de la coupure Calcaire grossier/ Yprésien (m)
B.F.	+ 34,5	+ 25	+ 11	
B..a.	+ 34,55	+ 24,55		
B.b.	+ 34,55	+ 24,55	+ 10,55	
B.c.	+ 34,55	+ 24,05	+ 10,55	- 4,45
B.1.	+ 34,42	+ 25,22	+ 13,42	- 1,58
B.2.	+ 34,45	+ 22,95	+ 14,95	- 0,05
B.3.	+ 34,6	+ 25,6	+ 16,6	+ 0,6
B.4.	+ 34,72	+ 24,52	+ 15,72	+ 0,72
B.5.	+ 34,85	+ 25,65	+ 21,85	+ 5,35

Pour comparaison, nous rappelons les cotes des coupures géologiques observées dans les forages carottés CH.5 et CH.27 situés à proximité immédiate des ouvrages (B.F., B.a. , B.b., B.c.).

CH. 5	+ 31,82	+ 24,02	+ 11,67	- 4,18
CH.27	+ 34,33	+ 24,33	+ 10,53	- 4,82

Les coupures fournies par les gamma-ray entre Alluvions - Marnes et Caillasses d'une part, Marnes et Caillasses - Calcaire grossier de l'autre ne sont pas très nettes, par contre celles entre le Calcaire grossier et l'Yprésien sont bien visibles par suite de la présence d'une formation argileuse intermédiaire (Argile de Laon) dont l'épaisseur atteint 1 m dans le piézomètre B.c. et 2 m en B.1.

L'épaisseur des Alluvions et Remblais varie peu (9,5 à 11,5 m). Il y a des irrégularités d'épaisseur dans les Marnes et Caillasses ; la moyenne qui est voisine de 10 m (14 à 8,80 m) à l'Est et au Nord diminue fortement en direction du B.5. (3,80 m) annonçant la proximité de la zone située au Sud-Ouest d'une ligne passant par le Palais Royal et le Pont Neuf, dans laquelle les Marnes et Caillasses sont complètement érodées. L'épaisseur du Calcaire grossier est assez constante, elle oscille entre 15 m et 16,5 m dans l'enceinte des Halles . Le mur du Calcaire grossier descend du B.5. (+ 5,35 m) vers le B.c. (-4,45 m) puis remonte vers le B.1. (-1,58 m). Le mur des Marnes et Caillasses suit dans l'ensemble une évolution parallèle. Ces variations entrent bien dans le contexte géologique connu.

Sur chacun des 9 profils gamma-ray présentés, nous avons reporté d'une part l'interprétation géologique, de l'autre les coupes techniques et les niveaux d'eau afin d'avoir sur une même planche tous les renseignements concernant ces ouvrages (planches B.1. à B.9. en annexe).

C. POMPAGES D'ESSAI REALISES SUR LE FORAGE BF

-O-O-O-O-

C. 1. - Buts, situation

Les buts de la station d'essai (forage BF et piézomètres Ba, Bb, Bc) réalisée dans le cadre de l'étude hydrogéologique du secteur des Halles, étaient les suivants :

- recherche des caractéristiques hydrodynamiques du Calcaire grossier
- relation avec les réservoirs sus-jacents (Marnes et Caillasses) et sous-jacents (Sables cuisiers), drainance, échanges
- hétérogénéité verticale, anisotropie du Calcaire grossier.

Il faut rappeler ici que la R.A.T.P. avait procédé à des pompages d'essai sur des forages aux Sables cuisiers (CH 22 et CH 23) (1).

La station d'essai a été implantée en fonction des considérations suivantes :

- être dans le périmètre défini par la paroi étanche prévue.
- être à l'aplomb des futures stations de R.E.R.
- être dans une zone où le réservoir calcaire a une charge hydraulique maximale.
- être dans un secteur qui ne gêne ni la circulation, ni les travaux de surface (démolition des pavillons de Baltard).

La figure C 1011 présente la disposition de la station d'essai. La figure C 1012 situe cette station d'essai par rapport au contexte géographique du secteur des Halles.

(1) R.A.T.P. - R.E.R. - Station Chatelet - essais de pompage dans les Sables cuisiers - résultats et prévisions rapport R.A.T.P. - Direction des travaux neufs - N/Géologie CM/271.

RENOVATION DU QUARTIER DES HALLES DE PARIS

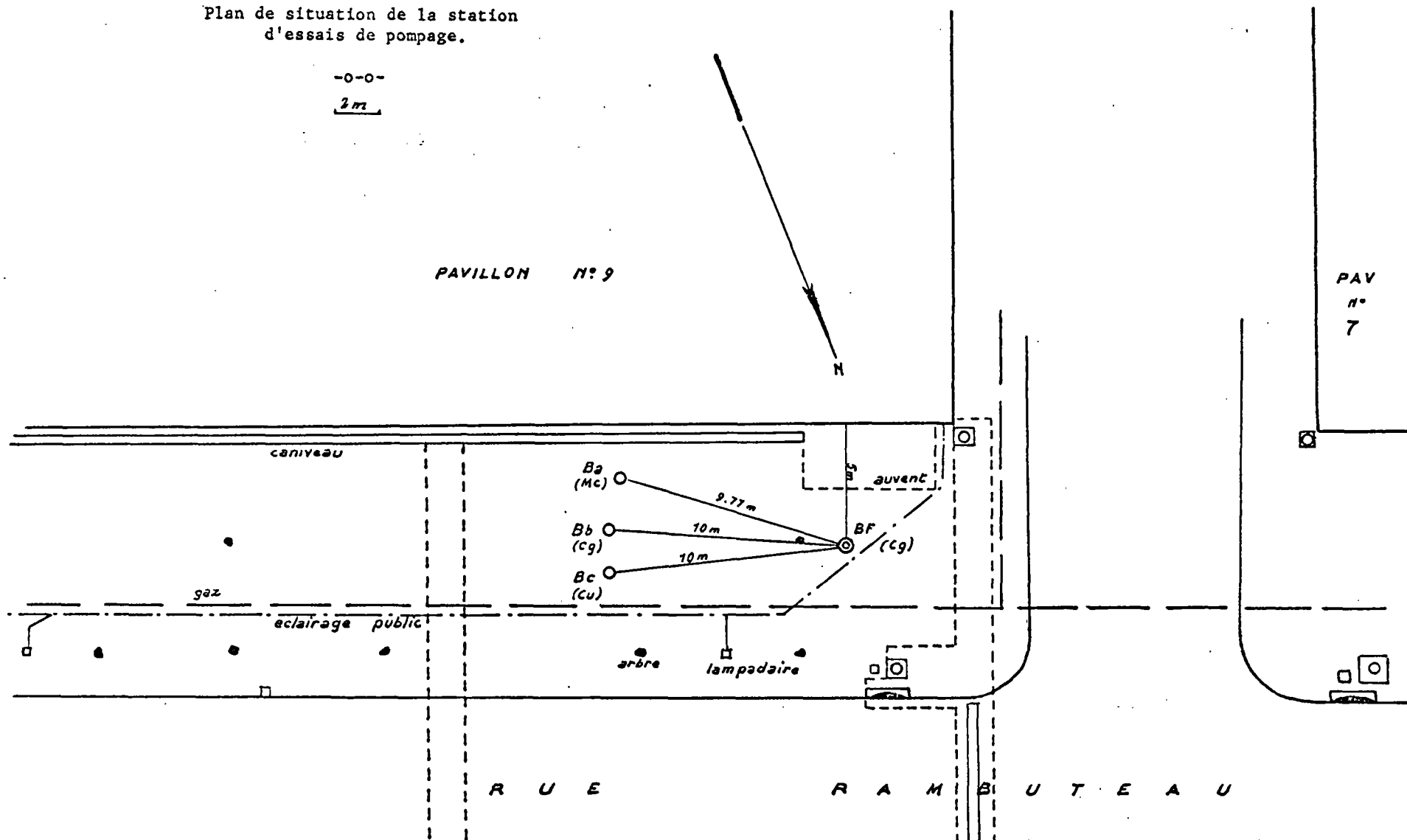
Plan de situation de la station
d'essais de pompage.

-0-0-

2 m

PAVILLON N° 9

PAV
N°
7



pompage des Halles du 19 au 24.10.71

Echelle 1/2000

72 SGN 077 BDP mars 72



- LEGENDE
- station d'essais de pompage B.R.G.M.
 - ouvrage avec limnigraphe
 - ouvrage sans limnigraphe
 - ouvrage avec limnigraphe (en exploitation)
 - ouvrage sans limnigraphe (en exploitation)

La réalisation technique du forage et des piézomètres ainsi que la description géologique des terrains traversés sont indiquées dans la partie géologie du rapport. Nous nous contenterons donc de résumer ces renseignements dans le tableau suivant :

Dés.	Dist. au fge (mm)	Prof. tot. (m)	Cote au sol	diamètre			partie crépinée				réservoirs captés
				fge (mm)	tub. (mm)	prof. toit	prof. min.	haut.	type	mas.	
Fe BF		40,00	34,5	560	270	26,00	37,00	11,00	fente	grav.	Calcaire gros.
Pz Ba	977	25,00	34,55	200	100	20,00	24,00	4,00	toile	grav.	M et C inf.
Pz Bb	1000	40,00	34,55	200	100	25,00	39,00	14,00	métal	"	Calcaire gros.
Pz Bc	1000	50,00	34,55	200	100	41,00	49,00	8,00	"	"	Sables cuis.

Le forage BF a été nettoyé par pompage à l'aide d'une pompe immergée les 12, 13 et 14 octobre 1971.

Les piézomètres Ba, Bb et Bc forés à la boue à l'amidon, ont été traités par une solution contenant des amylobacters. Ils ont été nettoyés à l'air-lift le 10 et 11/10/71. Des expériences de traçage à la fluorescéine ont été effectuées le 11/10/71 pour vérifier qu'il n'existait pas de relation directe entre les 3 piézomètres (mauvaise cimentation, bouchon non étanche, terrain trop remanié.)

C.2. - Déroulement des essais

21. Moyens mis en oeuvre

211. Personnel

Durant la période des essais, le B.R.G.M. a assuré le programme et la conduite des essais, la surveillance et le relevé des niveaux d'eau et des limnigraphes. L'entreprise SOLETANCHE a assuré la mise en oeuvre et la surveillance des installations de pompage d'essai.

212 . Pompe

La pompe installée dans le forage était de type immergée KSB BDP 271-7 alimentée à partir d'un transformateur relié au réseau. Cette pompe contrôlée par l'entreprise SOLETANCHE après réparation avait les possibilités suivantes :

hauteur manométrique	59 m	50 m	40 m	30 m
débit en m ³ /h	17	37	42	49

Le refoulement de la pompe était muni d'une vanne de réglage du débit permettant de descendre, sans inconvénient, jusqu'à 1 m³/h.

La crépine d'aspiration de la pompe était située à 37,30 m de profondeur.

213 . Débit

La mesure du débit était effectuée à l'aide d'un bac de 1 m³ et d'un compteur totalisateur. L'évacuation des eaux se faisait dans une bouche d'égout.

214 . Dispositif de mesures de niveaux d'eau

Les mesures de niveau sur le forage BF ont été effectuées à la sonde électrique OTT durant la majeure partie de la période d'essai. Un limnigraphe a été installé sur le forage le 23/10/71 à 10h40 (env. 23 h avant la fin du pompage).

De plus, des mesures à l'aide de limnimètres (1 par jour durant l'essai de longue durée) ont été faites sur les piézomètres B1, B4, B5, CH23.

215. Autres relevés

Durant la période des essais, ont été recueillies les variations du niveau d'eau de la Seine et les variations de la pression atmosphérique.

216. Graphiques

Tous les relevés effectués ont été reportés sur des graphiques (fonction du temps) que l'on trouvera sur la figure C2161. Sur cette planche sont portés :

- les variations du niveau de la Seine
- les variations inversées de la pression atmosphérique
- la période de pompage dans le forage BF (10,4 m³/h)
- les périodes de pompages des forages R7, R38, R28
- les variations des niveaux d'eau des piézomètres

+ au Calcaire grossier ou aux Marnes et C. (Ba, Bb, CH5, R29, HPT, HPI)

+ aux Sables cuisiers (Bc, B2, B3, F1, F8, CH22, CH25)

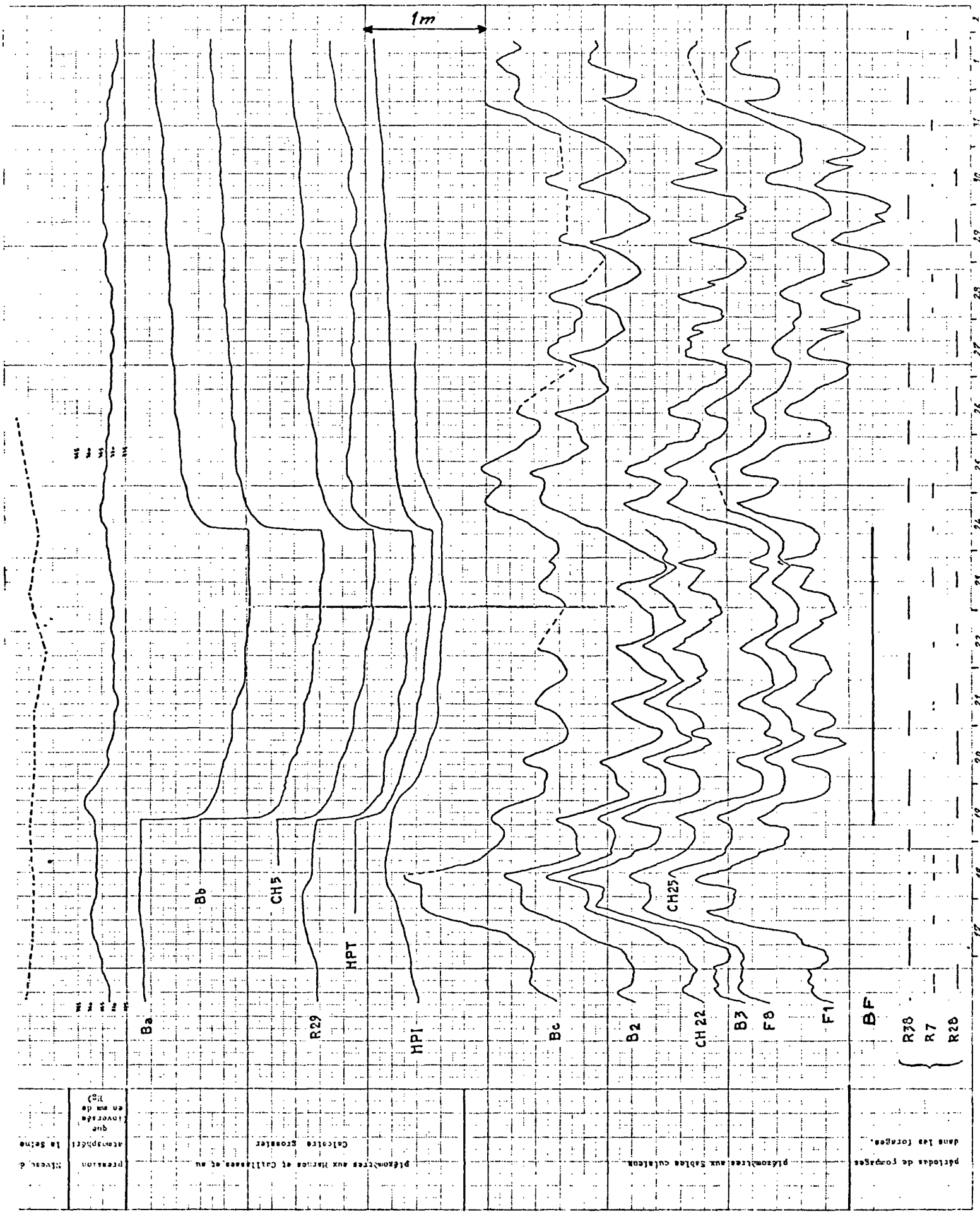
22. Appréciation générale de la qualité de l'essai

Les essais se sont déroulés d'une manière satisfaisante. Après les essais préliminaires destinés à déterminer la courbe caractéristique du forage BF (pompages effectués le 14 octobre 1971), le pompage pour essai de nappe a débuté le 19/10/71 à 9 h et a été arrêté le 24/10/71 à 9 h (soit 5 jours).

Le débit a légèrement diminué durant les 5 jours (de 10,6 à 10,4m³/h), variation peu importante.

Les appareils limnigraphes ont, dans l'ensemble, bien fonctionné. Le nombre de points suivis étant important, il est toujours aisé de corriger les mesures que l'on juge défectueuses. En définitive, la précision absolue sur les mesures de niveau est de l'ordre de 1 cm, la précision absolue sur les mesures de temps est de l'ordre de 5 secondes pour les mesures à la sonde, 1 mn pour les enregistrements limnigraphes à la journée, 10 mn pour les enregistrements limnigraphes à la semaine.

POMPAGE DES HALLES DU 19 au 24 10 71



pression Niveau d' atmosphère que inversée en m de

Ba Bb CH5 R29 HPT HPI

piézomètres aux Marnes et Callasses et au Calcaire Grossier

Bc B2 CH22 CH25 B3 F8 F1

piézomètres aux Sables culetens

périodes de pompages dans les forges. BF R38 R7 R28

C.3. - Interprétation des données mesurées

31. Pompages d'essai du puits BF

Les pompages d'essai du puits BF ont été effectués le 14/10/71. Ils ont consisté en :

- palier de débit à 9,6 m³/h de 11 h à 12 h (1 h)
- remontée de 12 h à 14h30 (2h30)
- palier de débit à 14 m³/h de 14h30 à 16h30 (2h30) suivi d'un palier à 10 m³/h de 16h30 à 17h30 (1 h)
- remontée de 17h30 à 19 h (1h30)

A ces pompages d'essai de puits, on peut ajouter les données fournies par le début de l'essai de nappe, le 19/10/71.

Tous ces éléments nous permettent de définir les caractéristiques du forage BF :

311. Courbe caractéristique et pertes de charge

La figure C 3111 présente la courbe caractéristique du puits BF (rabattement en m. en fonction du débit en m³/h) ainsi que la droite caractéristique (rabattement spécifique en m/m³/h en fonction du débit en m³/h), ceci au bout d'une heure de pompage.

Nous pouvons caractériser le forage BF au bout d'une heure de pompage par l'équation :

$$\Delta = 0,14 Q + 0,04 Q^2$$

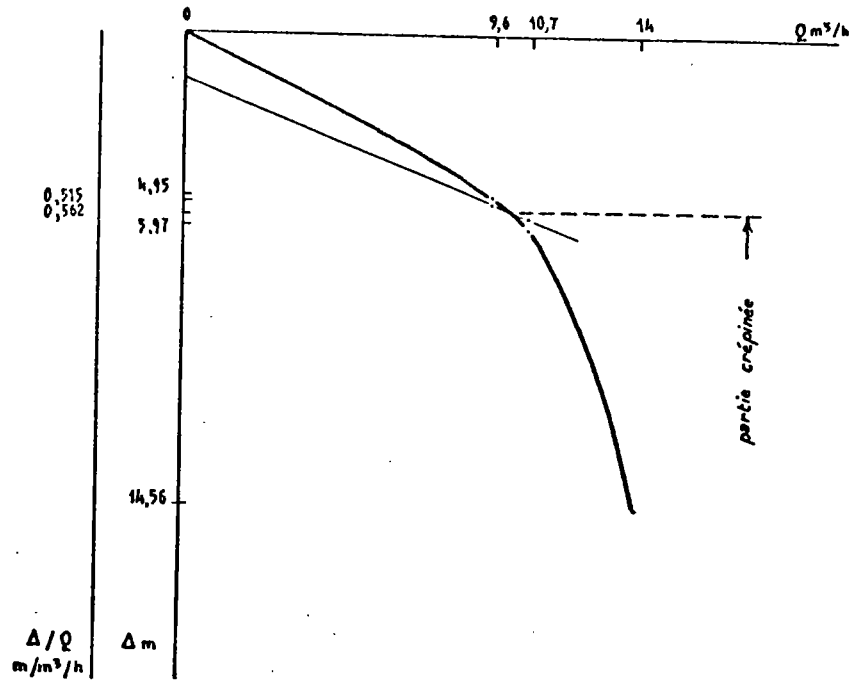
Où Δ est le rabattement en m
Q est le débit en m³/h.

Le terme quadratique 0,04 Q² est causé par les pertes de charge.

La figure C 3112 présente le diagramme rabattement/log de la distance au forage BF au bout d'un jour de pompage à 10,4 m³/h . On peut noter que dans ces conditions, le rabattement mesuré au puits est de 6,50 m alors que le rabattement sans pertes de charge n'aurait dû être que de 1,35 m (soit 5,15 m de rabattement supplémentaire dû aux pertes de charge singulières au voisinage immédiat du puits et notamment par la diminution de la section de passage par dénoyage de la crépine.

312. Effet de capacité dû au forage BF.

Les essais préliminaires, confirmés par l'essai de longue durée, nous ont permis d'évaluer la transmissivité de l'ensemble Calcaire grossier-Marnes et Caillasses à 1,2 x 10⁻³ m²/s. Il faudra donc, pour dépasser l'effet de capacité dû au diamètre du forage BF,



Courbe et droite caractéristiques du forage BF
(au bout d'une heure de pompage)

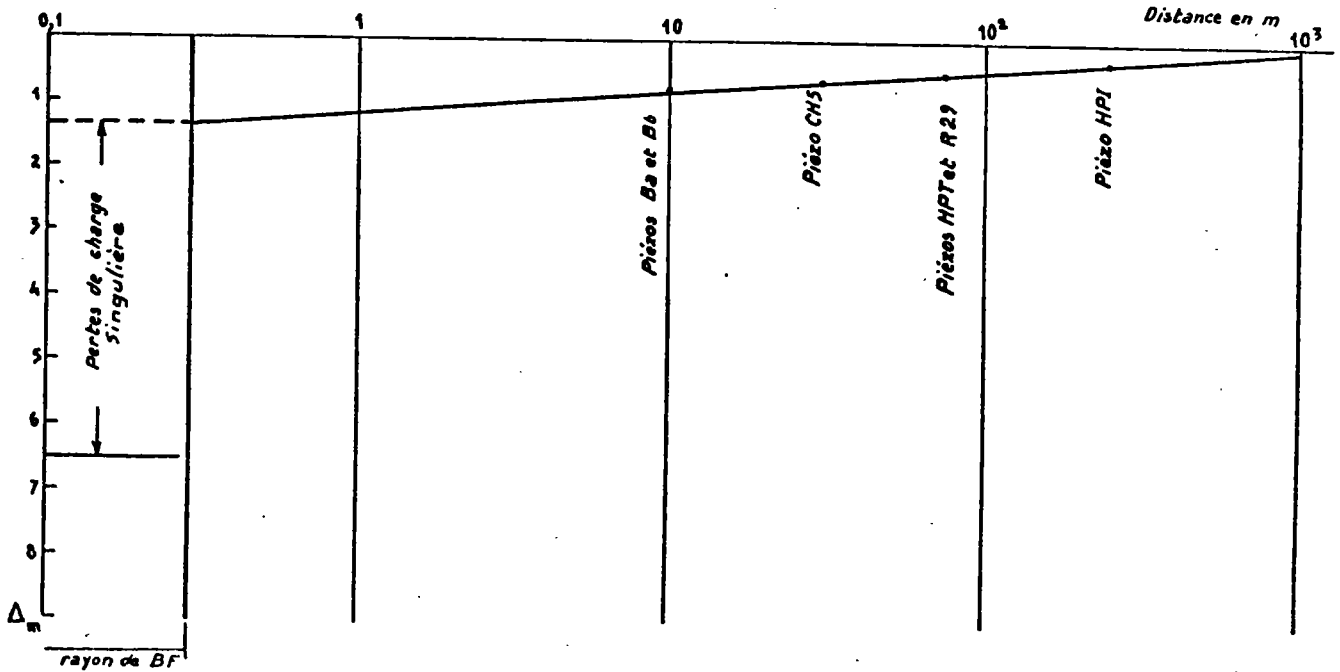


Diagramme rabattement / log distance au forage BF
(au bout d'un jour de pompage à $10,4 m^3/h$).

pomper pendant un temps supérieur à :

$$t > \frac{25 R^2}{T}$$

où R est le rayon du puits BF en m.
T est la transmissivité en m²/s.
t est le temps de pompage en s.

c'est-à-dire

$$t > \frac{25 \times (0,280)^2}{1,2 \times 10^{-3}}$$

$$t > 1400 \text{ secondes}$$

Au delà de ce temps l'effet de capacité du puits ne déforme pas les courbes de rabattement de plus de 2%.

32. Essai de nappe (pompage du 19 au 24/10/71)

321. Analyse des rabattements dans les différents piézomètres

Les graphiques rabattement/temps présentés sur la figure C 2161 montrent que les piézomètres suivis se classent en deux catégories nettes :

- piézomètres Ba, Bb, CH5, HPT, R29, HPI sous l'influence dominante du pompage du forage BF. Ces piézomètres sont crépinés (d'après la coupe technique):
 - + dans la base des Marnes et Caillasses Ba, HPT,
 - + dans le Calcaire grossier Bb, CH5, HPI,
 - + dans le Calcaire grossier et les Sables cuisiers R29.
- piézomètres Bc, B2, B3, CH22, CH25, F1, F8 crépinés aux Sables cuisiers.

L'analyse fine des variations piézométriques des piézomètres aux Sables cuisiers permet de se rendre compte que les niveaux d'eau sont déterminés principalement par l'influence des pompages effectués dans les forages R7 et R38, dont nous avons suivi les variations. Le forage R7 (10 m³/h) fonctionne quelques heures par jour (sauf les dimanches). Le forage R38 (14 m³/h) fonctionne tous les jours, généralement de 20 h le soir à 6 h le lendemain. Mais on sent également l'influence de deux autres pompages :

- un pompage que l'on peut qualifier de permanent, mais qui se décompose en périodes de pompage de 10 mm séparées par un arrêt de 10 mm. La pompe équipant ce forage doit alimenter un ballon et son débit doit être égal au double des besoins de l'utilisateur. Ce forage influence notamment les piézomètres F1, R7, R38. Nous le situons près du carrefour de la rue du Roule et de la rue St-Honoré, sans avoir pu l'implanter plus précisément malgré une enquête sur le terrain.

- un pompage, d'environ 10 m³/h, fonctionnant généralement de 8 h à 18 h. En utilisant les caractéristiques hydrodynamiques des Sables cuisiers obtenues par la R.A.T.P. au cours de ces essais sur les forages CH22 et CH23 (1) et en fonction de l'influence que ce pompage détermine sur les piézomètres F1, B3, F8, CH22, CH25, Bc, B2, nous avons pu déterminer que ce pompage était effectué dans le forage R28.

Il est donc possible d'expliquer complètement les variations des niveaux d'eau des piézomètres aux Sables cuisiers par :

- l'influence des variations de la pression atmosphérique,
- l'influence des pompes effectués dans les 4 forages (R7, R38, R28 et le forage de la rue du Roule).

récioproquement, il est possible d'évaluer les faibles corrections à effectuer sur les niveaux obtenus dans les piézomètres aux Marnes et Caillasses et au Calcaire grossier :

- abaissement général des niveaux piézométriques : 0,20 m valeur médiane entre le 19/10/71 à 9 h et le 29/10/71 à 9 h (soit environ 2 cm par jour).
- légère influence des pompes aux Sables cuisiers notamment par l'intermédiaire des forages crépinés dans les deux réservoirs : sinusoïde de période journalière et d'amplitude totale de 0,06 m sur le piézomètre R29.

322. Description des courbes construites en graphiques semi-logarithmiques

Nous avons reporté sur des graphiques communs les descentes et les remontées enregistrées sur les piézomètres Ba, Bb, CH5, HPT, HPI (figure C 3221 et C 3222).

Durant la descente (C 3221), les rabattements évoluent en fonction du logarithme du temps suivant deux groupes de droites sensiblement parallèles. Ces deux groupes de droites font un angle tel que les pentes des deux groupes sont environ dans le rapport de 1 à 2.

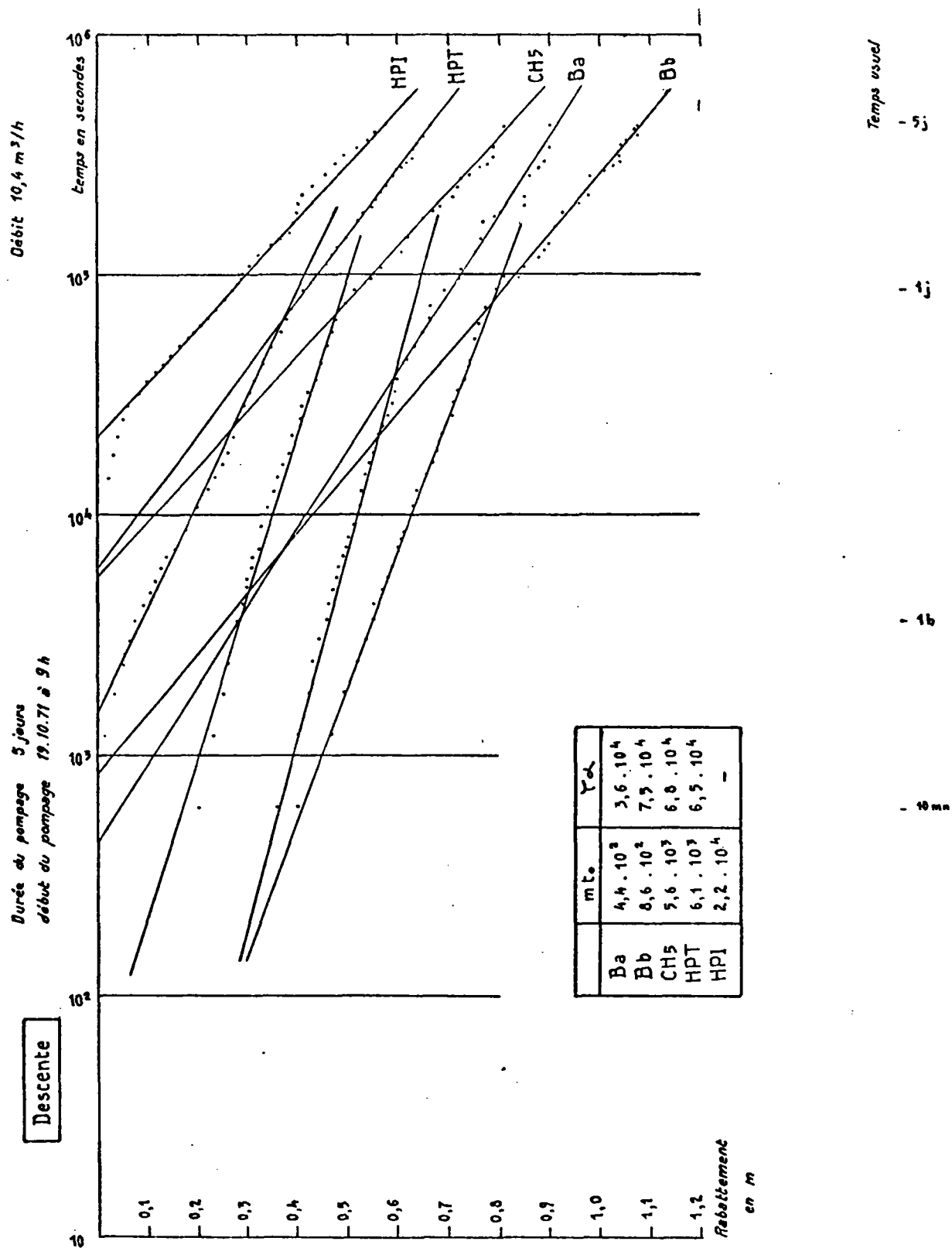
Après avoir vérifié si cette non linéarité pouvait être due à une limite étanche, (colmatage des berges de la Seine), influence des lignes de métro implantées pour partie dans le Calcaire grossier :

la ligne 4 entame les Marnes et Caillasses au Sud de la rue Berger et passe sous la Seine perpendiculairement, dans les Marnes et Caillasses.

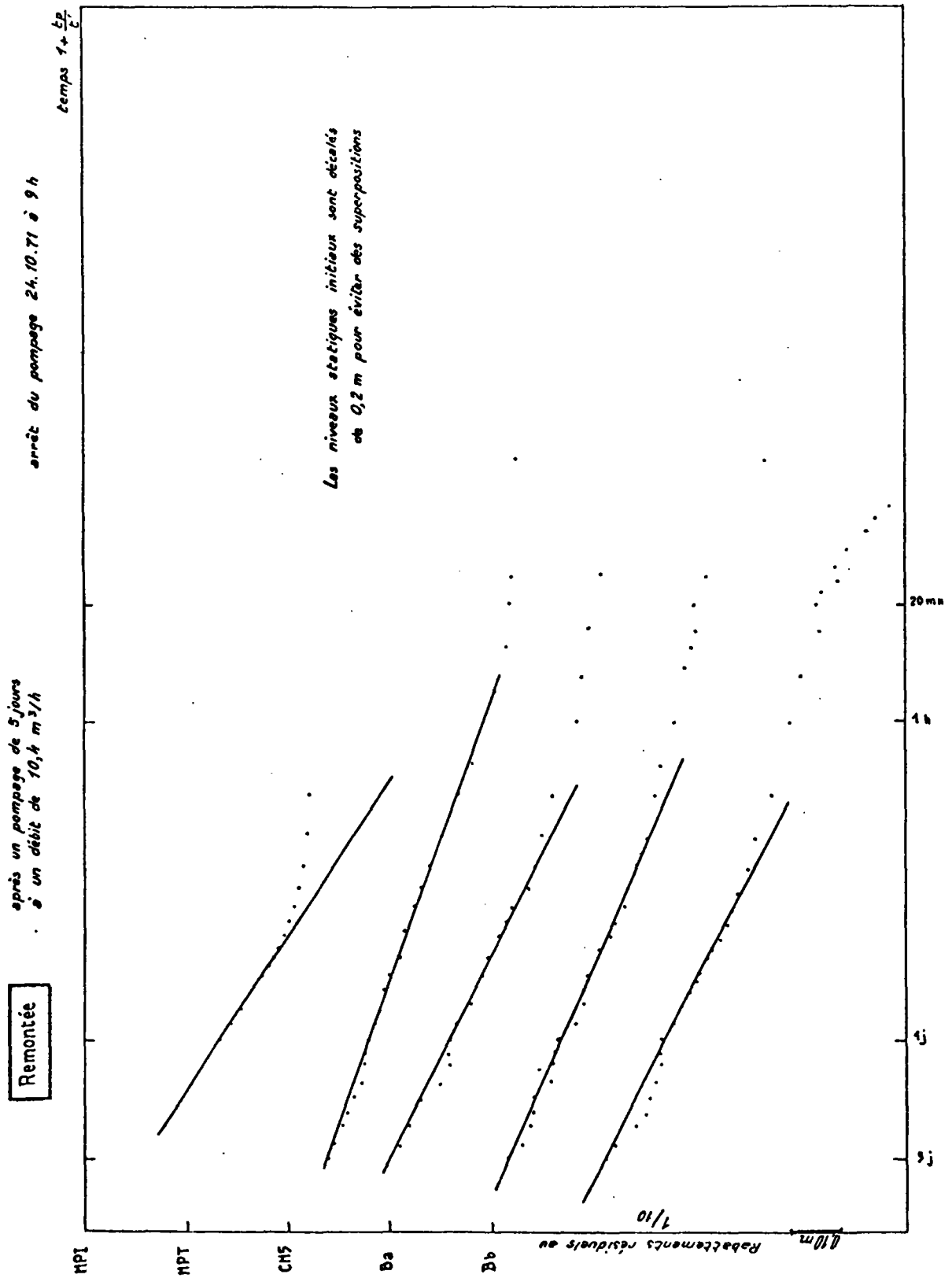
la ligne 7 entame les Marnes et Caillasses et le Calcaire grossier entre la rue de Valois et la rue du Louvre).

(1) Voir note infra-paginale page 27

VARIATIONS DES NIVEAUX D'EAU EN COURS DE POMPAGE



RABATTEMENTS RESIDUELS APRES L'ARRET DU POMPAGE C 3222



Nous avons choisi comme méthode appliquée à l'analyse de ces courbes, la méthode de la strate conductrice d'eau privilégiée d'après le schéma hydraulique imaginé par E. BERKALOFF (1), à partir d'un schéma de M. HANTUSH (1964). En effet, la base des Marnes et caillasses et le Calcaire grossier constitue un ensemble de "roche magasin" dans lequel des fissurations horizontales créent des "strates conductrices d'eau privilégiées".

En se basant sur cette méthode d'interprétation, les courbes en graphique semi-logarithmique de l'évolution des rabattements dans les piézomètres Ba, Bb, CH5, HPT, HPI donnent les résultats suivants regroupés dans le tableau suivant :

DESCENTE

! Piézo. !	! distance !	! transmissivité !	! Coefficient !	! Paramètre de !
! !	! au BF !	! en m^2/s !	! d'emmagasinement !	! drainance σ !
! !	! !	! T !	! S !	! !
! Ba !	! 9,77 !	! $1,2 \times 10^{-3}$!	! $1,2 \times 10^{-2}$!	! $1,9 \times 10^{-7}$!
! Bb !	! 10,00 !	! $1,3 \times 10^{-3}$!	! $2,5 \times 10^{-2}$!	! $1,9 \times 10^{-7}$!
! CH5 !	! 30,00 !	! $1,2 \times 10^{-3}$!	! $1,7 \times 10^{-2}$!	! 1×10^{-7} !
! HPT !	! 75,00 !	! $1,5 \times 10^{-3}$!	! $3,7 \times 10^{-3}$!	! $3,2 \times 10^{-8}$!
! HPI !	! 250,00 !	! $1,2 \times 10^{-3}$!	! $9,5 \times 10^{-4}$!	! - !

Les transmissivités T sont très homogènes.
 Les coefficients d'emmagasinement S varient de 2,5% à 1,2% autour du forage, ce qui indique que la nappe est localement libre (peut-être à cause d'un dénoyage au voisinage du forage BF au cours du pompage). Mais les valeurs plus lointaines 0,4% et 0,1% montrent que la nappe peut être considérée comme captive.

(1) E.BERKALOFF - Interprétation des pompages d'essai. Cas des nappes captives avec une strate d'eau privilégiée. Rapport BRGM 69 SGL 175 HYD - juin 1969.

Les paramètres de drainance sont extrêmement faibles 10^{-7} , ce qui confirme les très faibles paramètres de perméabilité verticale K_v . L'anisotropie verticale du réservoir constitué par la base des Marnes et Caillasses et le Calcaire grossier est importante ; le rapport $\frac{K_v}{K_h}$ est d'environ 10^{-4} .

REMONTEE

Les courbes des remontées (figure C 3222) semblent montrer des transmissivités plus fortes qu'à la descente. En fait, l'abaissement de la nappe durant la période d'essai a faussé la mesure des rabattements. Nous avons tenté de corriger les valeurs des rabattements en répartissant cet abaissement durant la période de remontée et nous avons obtenu des valeurs de transmissivités égales à celles de la descente. De plus, cette correction fait également apparaître la cassure des courbes qui n'apparaît pas sur la figure C 3222.

Nous ne considérons donc que les transmissivités obtenues à la descente. Elles sont d'ailleurs corroborées par les résultats des pompes d'essai exécutés et communiqués par la R.A.T.P. que nous remercions. Quant aux coefficients d'emmagasinement, on pourra remarquer certaines différences que nous commentons plus loin.

Forage	Dates	Transmissivité en m^2/s	Coefficient d'emmagasinement
CH5	sept. 69	0,8 à 1,2 x 10^{-3}	1,2 à 5 x 10^{-3}
CH 13	oct. 69	0,2 à 1 x 10^{-3}	1 à 3 x 10^{-4}
CH 14	nov. 69	0,9 à 1 x 10^{-3}	10^{-4} à 10^{-3}

C.4. Conclusions

41. Paramètres de l'aquifère calcaire

Le réservoir constitué par la base des Marnes et caillasses et le Calcaire grossier peut être caractérisé par les paramètres suivants :

411. Transmissivités

Piézo	Ba	Bb	CH5	HPT	HPI	CH13	CH14
T en $10^{-3}m^2/s.$	1,2	1,3	1,2	1,5	1,2	1	1

toutes ces valeurs sont très homogènes.

412. Coefficient d'emmagasinement

Piézo	Ba	Bb	CH5	HPT	HPI	CH13	CH14
S en %	-	-	0,5	0,4	0,1	0,3	0,5

les valeurs caractérisent une nappe à la limite de la captivité.

42. Paramètres de l'aquifère sableux

Le réservoir constitué par les Sables cuisiers peut être caractérisé, à l'aide des pompages d'essai effectués par la R.A.T.P. dont les résultats ont été corroborés par notre expérience, par les paramètres suivants :

Forages	Transmissivité en m ² /s	Coefficient d'emmagasinement en %	
CH 22	1,5 x 10 ⁻³	0,03	La transmissivité est de 10 ⁻³ m ² /s. Le coefficient d'alimentation de 0,05% nappe captive alimentée par drainance par le réservoir calcaire sus-jacent dont la perméabilité verticale est faible 10 ⁻⁷ /s. (1)
CH 23	9,4 x 10 ⁻⁴	0,07	

43. Système hydraulique du quartier des Halles

Le système hydraulique du quartier des Halles peut être schématisé par un ensemble de deux réservoirs superposés :

- un réservoir calcaire (base des Marnes et Caillasses et Calcaire grossier) à transmissivité homogène de 1,2 x 10⁻³m²/s, à forte anisotropie 10⁻⁴, à nappe à la limite de captivité, dont le niveau piézométrique est relativement stable (déterminé par le niveau de la Seine, le colmatage relatif des berges et le rabattement causé par le volume moyen des prélèvements effectués dans ce réservoir au Nord de Paris).
- un réservoir sableux (Sables cuisiers) à transmissivité homogène de 10⁻³m²/s, relativement isotrope, à nappe captive, dont le niveau piézométrique est fortement influencé par les pompages effectués dans ce réservoir (battement journalier et hebdomadaire); alimenté difficilement par drainance du réservoir calcaire sus-jacent (forte anisotropie, présence d'argile entre les deux réservoirs). L'alimentation se fait également par l'intermédiaire des forages qui sont crépinés dans les deux formations.

(1) Valeur qui est égale à celle trouvée dans nos essais au Calcaire grossier.

D. PIEZOMETRIE ET PRELEVEMENTS

-o-o-o-o-

De nombreux relevés piézométriques ont été et sont encore effectués par COYNE et BELLIER et par la R.A.T.P. depuis 1966. Des appareils limnigraphiques enregistrent les variations des niveaux d'eau. De plus, durant la période des pompages d'essai, le B.R.G.M. a installé des limnigraphes et suivi les niveaux d'eau de nombreux piézomètres tant aux terrains lutétiens que cuisien.

Afin de caler les modèles mathématiques envisagés dans l'étude en cours, il fallait établir des cartes piézométriques des nappes du Calcaire grossier et des Sables cuisien, et actualiser nos connaissances sur les débits pompés et injectés.

Pour atteindre ce but, nous avons effectué durant les mois d'août et septembre 1971 un ratissage de tous les points d'eau situés entre la rue Réaumur, le Palais Royal, la rue du Temple et la Seine. Plus d'une centaine d'ouvrages ont ainsi été visités.

Nous n'avons retenu que 72 points d'eau pour dresser les cartes piézométriques, les autres étant inutilisables (colmatage, remblayage, difficultés de descendre une sonde jusqu'à l'eau...). Sur ces 72 ouvrages, il y a 23 forages ou piézomètres qui intéressent uniquement le Cuisien, 39 qui ne sollicitent que la nappe supérieure, auxquels viennent s'ajouter 10 puits de pompage et 2 puits d'injection qui pour la plupart sont crépinés au droit des 2 formations ci-dessus.

D.1. Ouvrages existants dans les limites de l'étude

Signalons pour commencer :

- que les ouvrages suivants ne sont plus en activité : F1 (CG-SC), F9 (CG-SC), F8 (SC), R23 (CG), R58 (CG) et R29 (CG-SC)
- que le forage R170 (CG-SC) va être à nouveau équipé d'une pompe.

Nous avons récapitulé dans le tableau ci-dessous les renseignements que nous avons obtenus au cours du ratissage d'août et septembre 1971 sur les forages en exploitation.

Forage avec n° de référence	Pompage= P Injection= I	Nappe sollicitée	Début d'exploitation ou d'injections	Périodicité des pompages ou des injections
R. 28	P	C.G. - SC- S.A.	10 m ³ /h	24h/24 h
R. 10	P	C.G. → Sparnacien	35 m ³ /h	de 4 h à 4 h 30
R. 7	P	C.G. - SC - S.A.	12 à 13 m ³ /h	de 14 h à 24 h sauf week-end
R. 6	P	C.G. → Sparnacien	30 m ³ /h	En continu
R. 6A	P	C.G. - SC	6 à 8 m ³ /h	"
R. 6B	P	Yprésien	30 m ³ /h	"
R. 43	P	C.G. - SC	20 m ³ /h	"
R. 43 bis	P	C.G. - SC	35 m ³ /h	"
F. 4	P	C.G. - SC	50 m ³ /h en hiver 75 m ³ /h en été	"
R. 30 bis	P	C.G. - SC	40 m ³ /h	Suivant besoin
R. 31	P	SC	?	Rarement utilisé
R.232	P	M.C. + C.G.	100 m ³ /h	Occasionnel
R. 48	P	M.C. + C.G.	50 m ³ /h	En continu
R. 49	P	M.C.	35 m ³ /h	"
R. 88	P	C.G.	45 m ³ /h	12h/24h d'avril à septembre
R. 38	P	C.G.	18 à 20 m ³ /h	de 19h30 à 6h sauf week-end
R. 35	I	C.G. - SC	20 à 40 m ³ /h	12 h/24 h
R.191	I	C.G. - SC	≠ 20 m ³ /h	de 6 h à 18 h

Ces 24 ouvrages sont tous pointés sur la planche C 1 en annexe. Compte tenu des durées et de l'intensité des pompages et des réinjections on peut estimer à 47 l/s ($170 \text{ m}^3/\text{h}$) les débits prélevés dans le périmètre étudié.

Notons pour terminer qu'exceptés le R.31 et le R.6 qui ne sont crépinés qu'au droit du Cuisien et les R.232, R.48, R.49, R.88, R.38 qui ne s'intéressent qu'aux Marnes et Caillasses et au Calcaire grossier, tous les autres ouvrages sollicitent les 2 nappes à la fois.

D.2. Cartes piézométriques

Ces cartes ont été dressées à partir d'un relevé effectué les 27, 28 et 29 septembre 1971 (période de très basses eaux). Les courbes isopièzes qu'il a été possible de tracer d'après les cotes des niveaux d'eau mesurées ont été reportées sur la planche C1 en annexe.

21. Surface piézométrique de la nappe des Sables cuisiens

La densité des points d'eau s'adressant au réservoir des Sables cuisiens est très peu homogène, la grande concentration de points s'effectuant aux alentours immédiats des Halles.

Il faut rappeler ici que les niveaux d'eau dans les Sables cuisiens sont extrêmement variables sous l'influence des pompages non continus effectués dans ce réservoir. La figure C 2161 montre des exemples d'enregistrement de variations des niveaux d'eau dans un certain nombre de forages et piézomètres s'adressant aux Sables cuisiens. Les variations journalières peuvent atteindre 0,5 m parfois 1 m et les variations hebdomadaires 1,5 à 2 m. Il est donc extrêmement difficile dans ces conditions d'établir une carte piézométrique totalement cohérente ; celle portée sur la planche C 1 constitue une image moyenne de la surface piézométrique en période d'étiage et en semaine.

Il apparaît que le gradient hydraulique est dirigé vers le Nord-Ouest (+ 14 NGF à 50 m au Nord de la Seine, + 11 NGF aux points situés au Nord). En extrapolant ces résultats et en les comparant à d'autres données en notre possession, on peut supposer qu'à la limite de l'étude, (rue Réaumur), la cote de la surface piézométrique est voisine de + 9 m NGF.

Les gradients sont plus importants à proximité du fleuve qu'au Nord. Au droit de la fouille, la cote piézométrique oscille entre + 10,5 et + 13,5 m avec comme moyenne + 12 m. Dans le périmètre étudié, la cote du toit des Sables cuisiniens varie entre + 11 m (SW) et -19,5 m (N); dans la fouille, la cote du toit varie entre + 5,5 m et - 5 m. La nappe est donc partout captive.

L'influence des pompages et des réinjections est prépondérante ; le pompage sur F 4 détermine un rabattement voisin de 3,5 m.

En faisant abstraction des perturbations dues aux pompages, on peut admettre que les isopièzes sont sensiblement parallèles à la Seine au Sud, les lignes de courant s'infléchissent vers le Nord Ouest au Nord.

22. Surface piézométrique de la nappe du Calcaire grossier

La cartographie de cette surface piézométrique est bien plus satisfaisante et ceci pour les raisons suivantes :

- nombre de points plus important quoique encore mal répartis,
- fluctuations piézométriques journalières très faibles.

Dans les limites de l'étude, la nappe s'écoule grossièrement du Sud (+ 24 env.) vers le Nord (+ 11 m) avec un gradient général voisin de 1/100. Au droit de la fouille, les niveaux piézométriques oscillent entre + 18 et + 15 m avec comme moyenne + 16,5 m.

Sur la carte obtenue, il faut souligner :

1) Le resserrement des courbes piézométriques en limite sud-est de la fouille autour du S 36, ce qui peut correspondre à une diminution locale de la perméabilité.

2) La dépression piézométrique située dans la partie sud-est de la fouille qui peut être due à des pertes de la nappe supérieure vers celle de l'Yprésien, en effet d'après l'inventaire géologique, il n'y a pas entre Calcaire grossier et Yprésien très sableux de faciès nettement argileux. Cette dépression peut être due aussi à un faciès localement moins perméable du réservoir supérieur.

3) Les points hauts piézométriques situés à l'Ouest de la fouille peuvent être dus soit à un faciès localement plus perméable du réservoir supérieur, ainsi qu'à la présence des Argiles de Laon qui isole franchement les 2 réservoirs, soit à des réinjections clandestines (fuites de canalisations ou d'égouts...)

4) L'influence des pompages du BHV sur la piézométrie, au Sud-est du modèle.

En considérant les cotes du toit du Calcaire grossier, qui descend irrégulièrement du Sud vers le Nord entre les cotes + 25 m et 5 m, la nappe peut être considérée comme captive sur la plus grande partie du domaine étudié. Cependant, les mesures piézométriques montrent que les différences de niveaux d'eau sont faibles entre le Calcaire grossier et le tiers inférieur des Marnes et Caillasses ; c'est donc cet ensemble qu'il faut considérer comme réservoir calcaire. Dans le secteur sud, les alluvions reposent directement sur le Calcaire grossier, ce qui, ainsi que les pompages d'essai nous l'indiquent, nous conduit à déclarer cette nappe comme semi-captive à libre (coefficient d'emmagasinement de l'ordre de 0,3 à 1%)

D.3. Alimentation des nappes et relation entre elles

A partir des cartes piézométriques, des résultats obtenus au cours des pompages d'essai et des données géologiques, il est possible de proposer un schéma hydraulique du secteur étudié.

Les terrains du périmètre étudié constituent deux réservoirs aquifères principaux qui sont :

- la base des Marnes et Caillasses et le Calcaire grossier
- les Sables cuisiens.

Ces deux réservoirs ont un comportement hydrodynamique différent (voir figure C 2161) :

- l'ensemble calcaire a une transmissivité de l'ordre de $10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$, une forte hétérogénéité verticale et contient une nappe semi captive à libre.
- l'ensemble sableux a une transmissivité de l'ordre de $10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$ mais une faible hétérogénéité verticale et contient une nappe captive.

Les relations entre ces deux réservoirs se font par drainance à travers une zone de transition argilo-sableuse de faible perméabilité.

La nappe du réservoir calcaire est en relation avec la Seine à travers les berges et le fond du fleuve par l'intermédiaire des alluvions qui reposent directement sur le Calcaire grossier dans le secteur sud-ouest.

La nappe des Sables cuisiers dans laquelle se font les plus importants prélèvements est alimentée par drainance par le réservoir calcaire sus-jacent. Les apports en provenance de la rive gauche doivent être faibles.

Nous reprendrons en détail ce schéma hydraulique pour la mise en oeuvre des modèles de simulation.

E - CALCUL DES DIFFUSIVITES PAR L'ETUDE
DE LA PROPAGATION DES ONDES DE CRUE DANS LA NAPPE

-o-o-o-o-o-

Rappelons que la diffusivité est le rapport des deux paramètres fondamentaux des nappes à savoir la transmissivité et le coefficient d'emménagement. La diffusivité que l'on pourrait appeler de façon imagée "nervosité", caractérise la faculté des formations aquifères à propager les variations de pression. La connaissance de ce paramètre permet :

- de déterminer le coefficient d'emménagement si l'on connaît la transmissivité ou vice versa, d'où une façon peu coûteuse d'obtenir les caractéristiques de la nappe et un gain de temps pour les simulations ultérieures
- d'en déduire le degré de colmatage des berges du fleuve
- de prévoir l'ordre de grandeur des réactions du niveau des nappes à une crue de la Seine.

El.Méthodes de calcul

Cette étude a été effectuée pour les différents horizons aquifères concernés par les ouvrages des Halles, en mettant en oeuvre divers programmes de calcul.

Le premier de ces programmes, HYGPl, permet de déduire de la connaissance de la diffusivité d'une nappe en relation avec un cours d'eau, les variations piézométriques en un point de cette nappe, provoquées par des fluctuations du cours d'eau. Le second, HYGp2, permet de résoudre le problème inverse, c'est à dire de déterminer la diffusivité à partir des variations simultanées des niveaux du cours d'eau et de la nappe. (1)

(1) Ces méthodes sont décrites en détail dans le rapport B.R.G.M. : calcul automatique de la diffusivité des nappes en relation avec un plan d'eau libre par P.PEAUDECERF (70 SGN 083 HYD).

Ces programmes supposent que les propagations soient unidimensionnelles et que soient négligeables les effets perturbateurs : variations de régime des pompages, échanges entre nappes, hétérogénéités non parallèles au fleuve, etc...) Aussi cette étude ne constitue qu'une première approche du comportement des eaux souterraines.

E2. Données disponibles pour les nappes des Halles

Les calculs ont été effectués en utilisant les relevés de niveau de la Seine et de différents piézomètres ou forages de la zone qui nous intéresse, à savoir ceux numérotés 15, CH13 et CH5, crépinés dans le Calcaire grossier et les Marnes et Caillasses ainsi que 14, HS4 et CH2P5 relatifs à la nappe des Sables cuisiers. La mesure des niveaux a été effectuée à des périodes plus ou moins régulières de janvier à juin 1970.

Elles prennent donc en compte les effets de la crue hivernale de cette année.

E3. Calcul des diffusivités

31. Nappe du Cuisien

Les relevés disponibles ont une périodicité variable et ils sont au premier examen peu cohérents avec la crue du fleuve. Il existe manifestement une relation entre les niveaux de la Seine et de la nappe mais elle est complexe et toute interprétation dans notre schéma simplifié est impossible. Il semble notamment que l'effet des pompages ne puisse plus être négligé.

32. Nappe du Calcaire grossier et des Marnes et Caillasses

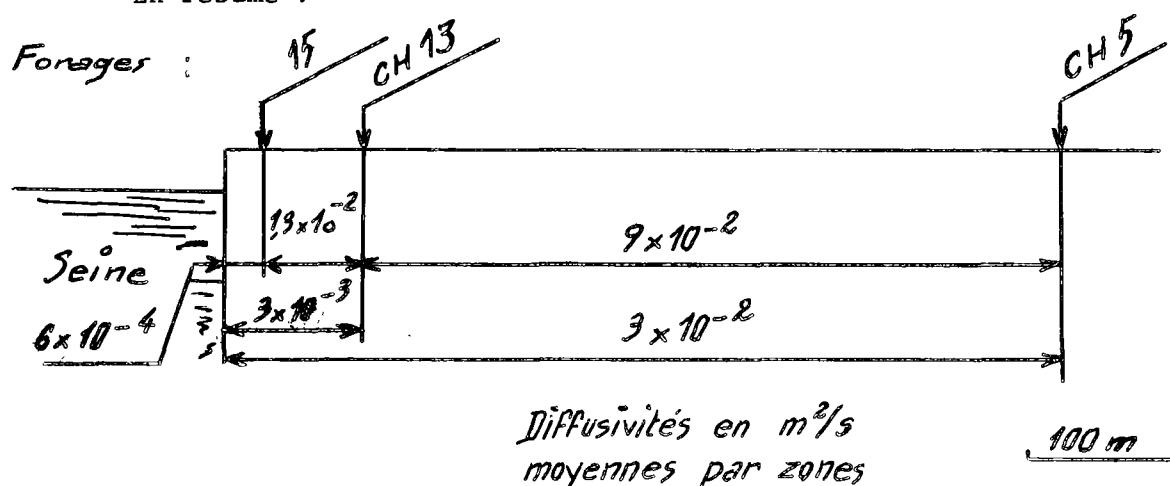
- Les niveaux piézométriques relevés chaque jour sont à priori beaucoup plus conformes aux niveaux du fleuve : ils reproduisent les fluctuations de la Seine avec un certain amortissement et un certain retard.
- Les effets de pompages sont imperceptibles : lorsque le niveau de la Seine est stable (étiage de janvier 1970), le niveau de la nappe est constant.

Les résultats des calculs sont les suivants :

forage 15	à 25 m de la Seine,	$T/S = 5,3 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{jour}$	soit $6,1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$
CH13	à 87 m	" , $T/S = 2,4 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{jour}$	soit $2,8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
CH5	à 555 m	" , $T/S = 2,6 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{jour}$	soit $3,1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

Ces résultats sont approchés. En fait, il n'existe pas de diffusivité qui fasse coïncider parfaitement les variations de niveau mesurées et calculées dans notre schéma hydraulique simplifié. La propagation de l'onde de crue n'est pas tout à fait unidimensionnelle. Ceci est net pour les piézomètres les plus voisins de la Seine, 15 et CH13. Pour le CH5 pour lequel l'amortissement est grand, la coïncidence des variations des niveaux mesurés et des niveaux calculés au moyen de la diffusivité optimale, est beaucoup plus satisfaisante (figure E 3210)

En résumé :



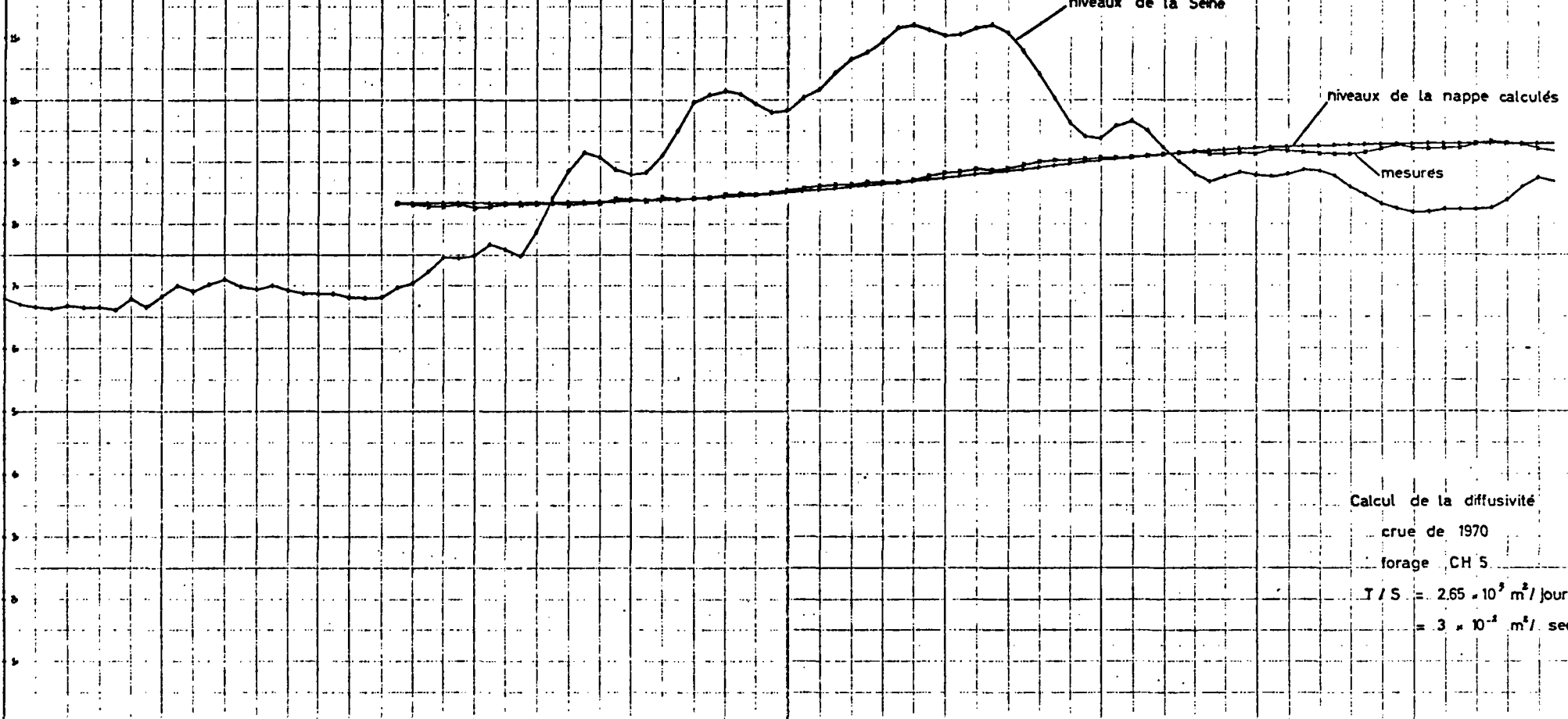
Malgré l'imprécision relative de ces calculs, les résultats montrent le colmatage des zones proches de la Seine. Ainsi la diffusivité moyenne entre le fleuve et le forage 15 est égale à $6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, alors qu'entre CH13 et CH5 elle est cent fois plus importante : $T/S = 9 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

Ces valeurs sont faibles par rapport à celles des essais de débit qui ont fourni un rapport T/S moyen de $1,2 \cdot 10^{-3} / 3 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$

E4. Approche de l'effet des crues

Une fois connue la diffusivité il est très facile de déterminer au moyen du programme HYP2 la réponse théorique de la nappe à une crue donnée de la Seine. Nous avons effectué ce calcul pour le forage CH5 pour lequel la détermination de la diffusivité est plus sûre et qui se trouve sur l'emplacement des ouvrages projetés.

niveaux
en m.



niveaux de la Seine

niveaux de la nappe calculés

mesurés

Calcul de la diffusivité
crue de 1970
forage CH 5
 $T / S = 2.65 \cdot 10^9 \text{ m}^2 / \text{jours}$
 $= 3 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2 / \text{sec}$

temps en jours

La crue de la Seine que l'on a considérée est celle de 1955, la diffusivité, celle précédemment calculée : $3,1 \times 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ soit $2,6 \times 10^3 \text{m}^2/\text{jour}$.

Le graphique de la planche E4010 décrit les variations piézométriques de la nappe du Calcaire grossier,

Le schéma hydraulique réel n'est pas aussi simple que celui considéré dans notre calcul. D'autre part, nous ne tenons pas compte des nouvelles conditions d'exploitation et de la présence des ouvrages projetés. Cependant nous pouvons retenir l'ordre de grandeur des fluctuations de la nappe : au droit de la fouille lorsque la Seine connaît une crue de 6 m la nappe ne monte que de 1m. Ce résultat est intéressant mais il est prudent de le vérifier par un modèle plus représentatif du comportement des eaux souterraines.

E5. Conclusions

En définitive, l'essai de calcul de la diffusivité a donné les résultats suivants :

- la diffusivité calculée est plus faible que celle obtenue à l'occasion des pompages d'essai. Ceci peut être dû à l'existence d'une bande en bordure de Seine où la nappe du réservoir calcaire est libre.
- il existe, en bordure de Seine, une zone de moindre diffusivité qui peut être expliquée par un colmatage des berges.

niveaux
en m.

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

0

-1

-2

-3

-4

variations de la Seine

variations de niveaux de la nappe

Réponse de la nappe

à la crue de 1955

forage CH 5

$T/S = 2,65 \cdot 10^3 \text{ m}^2/\text{jour}$

temps en jours

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000

F. MODELES DE SIMULATION DES ECOULEMENTS

-o-o-o-

F.1. Schématisation du domaine étudié

Le but de la présente étude qui est d'évaluer les conditions hydrauliques de l'assèchement des fouilles et l'influence des crues de la Seine sur la stabilité des ouvrages, a imposé l'utilisation d'un modèle s'étendant dans les deux dimensions du plan horizontal. Par ailleurs l'existence de deux aquifères principaux nettement individualisés nous a amenés à utiliser un modèle multicouche.

Enfin, le souci de reporter suffisamment loin des ouvrages les lignes de courant réputées stables a conduit à étendre le modèle vers l'Est et l'Ouest par des mailles de plus grande dimension.

Les modèles utilisés sont donc des modèles plans multicouches à mailles carrées de dimension variable.

11. Maillages et limites géographiques (figure F.1010)

Les modèles comprennent dans chaque couche 20 x 18 mailles carrées de 60 m de côté qui constituent la partie centrale. C'est cette zone qui est l'objet de l'étude, elle est comprise entre la Seine au Sud, la rue Réaumur au Nord, et les perpendiculaires au tracé de la Seine passant par l'Hôtel de Ville à l'Est et la Banque de France à l'Ouest. Cette zone centrale est prolongée à l'Est et à l'Ouest par 2 carrés de 9 x 9 mailles carrées de 120 m de côté, dans le but d'éloigner des ouvrages les limites est et ouest assimilées à des lignes de courant artificiellement insensibles aux modifications de l'aquifère.

On arrive ainsi à un total de 1044 mailles de calcul pour les deux aquifères.

12. Schématisation en multicouche

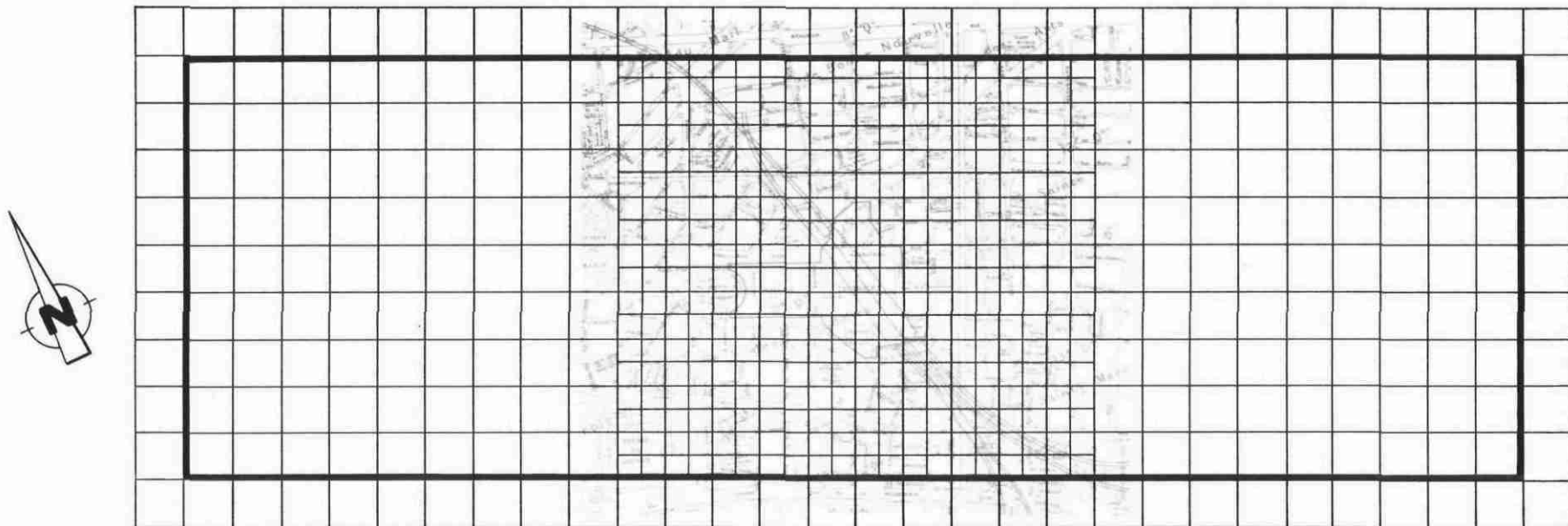
Trois couches superposées sont prises en compte :

- le Calcaire grossier auquel on adjoint la base des Marnes et Caillasses
- le Cuisien
- et une couche intermédiaire de transition. Cette couche

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements ,multicouche

Schématisation du secteur d'étude



comprenant une proportion importante d'argile , est traversée par des échanges verticaux entre les deux nappes, par contre les échanges horizontaux y sont pratiquement nuls ; si bien que le rôle de cette couche se limite dans le modèle à régler les échanges entre les deux aquifères Calcaire grossier et Cuisien.

13. Les conditions aux limites

131. Aquifère supérieur

Au Sud , la Seine impose son niveau à la nappe ; des perméabilités plus faibles en bordure ont été ajustées lors du calage, pour prendre en compte le colmatage des berges.

Au Nord, on a imposé le potentiel observé.

Les limites est et ouest sont assimilées à des lignes de courant donc représentées par des imperméables.

132. Aquifère profond

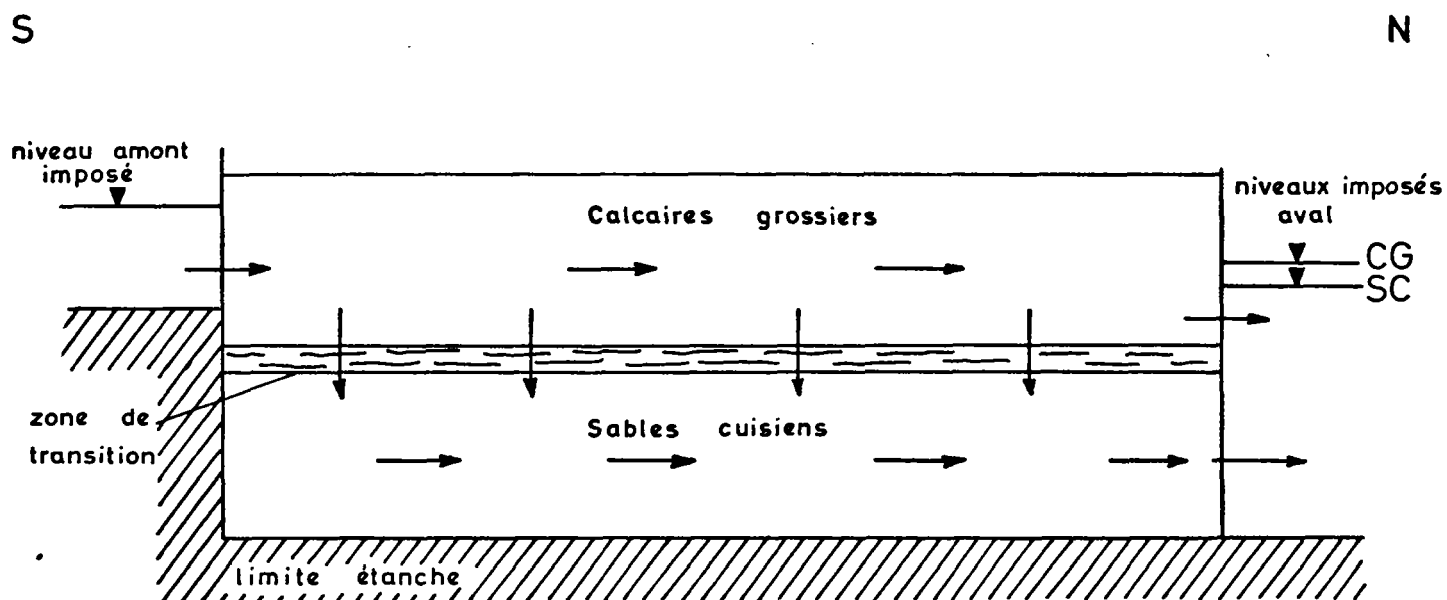
Les limites nord, est et ouest sont caractérisées de la même façon que pour l'aquifère supérieur.

Par contre, la limite sud est imperméable.

Le schéma de liaison avec la Seine est donc le suivant (figure F 1310).

- . Seul l'aquifère supérieur est lié directement à la Seine.
- . Le Cuisien ne reçoit l'eau de la Seine que par l'intermédiaire du Calcaire grossier .
- . Le réglage du modèle a permis par le jeu des perméabilités verticales dans les mailles adjacentes à la Seine, de retrouver le débit correct dans le Cuisien.

Schématisation en coupe du modèle



14. Programmes utilisés

Les programmes de simulation utilisés devront donc être multicouches avec des mailles de dimension variables. De plus, ils permettront la simulation du déversement dans des drains, avec évaluation du débit évacué.

Les simulations de réglage, et les simulations d'exploitation en régime permanent ont été effectuées à l'aide du programme MØBIL (modèle bicouche, surface libre) mis au point au B.R.G.M.

Ce programme prend automatiquement en compte les variations de transmissivité de la nappe des Calcaires, consécutives aux forts rabattements occasionnés par l'assèchement des fouilles ou par les pompages.

Les calculs d'exploitation faisant pour la plupart appel à des régimes transitoires ont été le fait du programme SAMMIR du centre d'information géologique de l'école de Mines de Paris.

Programme MØBIL (BRGM)

Modèle mathématique de simulation des écoulements permanents dans un aquifère bicouche avec surface libre.

Le système d'équation (non linéaires) des écoulements, est résolu par la méthode itérative de GAUSS-SEIDEL.

Le domaine doit être discrétisé en mailles carrées. L'utilisation des mailles à taille variable a été rendue possible par application de la méthode des modèles gigognes.

Programme SAMMIR (Centre d'informatique géologique de l'Ecole des Mines de Paris)

Modèle mathématique de simulation des écoulements permanents et transitoires dans un aquifère multicouche.

Le domaine est découpé en mailles carrées de taille variable (a^2 , $4 a^2$, $16 a^2$), et le temps en pas de longueur variable. Cette discrétisation conduit à la résolution de systèmes linéaires.

Le régime permanent est obtenu par une méthode de surrelaxation par points.

Les calculs du régime transitoire sont réalisés soit par une méthode explicite, soit par une méthode implicite suivant les caractéristiques numériques du modèle.

F.2. Réglage du modèle

21. Objet du réglage

Le but du réglage des modèles est d'ajuster les différents paramètres réglant les écoulements pour assurer au modèle une bonne représentativité des phénomènes réels. Pour cela, on simule le comportement des nappes dans les conditions d'exploitation réelles, en introduisant les valeurs connues ou supposées des paramètres. Le modèle fournit alors une certaine répartition ou évolution de la piézométrie que l'on doit comparer aux valeurs relevées in situ. La connaissance de ces paramètres, par exemple transmissivités, débits prélevés, etc, étant approximatives, il est permis de modifier les données du modèle dans une certaine marge jusqu'à ce que le comportement du modèle et des nappes soit semblable. Ces réglages sont donc l'objet de modifications successives jusqu'à atteindre cette concordance.

22. Choix de la période de réglage

Le relevé synchrone des 27 au 29 septembre 1971 a fourni la piézométrie des nappes dans un état pseudo-permanent, en période de basses eaux. En fait les nappes présentent des fluctuations hebdomadaires et journalières et cette situation observée correspond à une position moyenne de la nappe en cours de la semaine (et plus basse que celle que l'on pourrait relever un dimanche soir ou un lundi matin).

La connaissance de cet état stationnaire des nappes n'a pas permis d'ajuster les coefficients d'emmagasinement. Il aurait fallu pour cela disposer d'observations de piézométrie réparties à la fois dans le temps et dans l'espace, et portant de préférence sur une période durant laquelle les niveaux varient avec une forte amplitude. La collecte des données et le réglage du modèle auraient conduit à une étude beaucoup plus longue que ne le permettait l'urgence des résultats. En fait, les résultats des pompages d'essai se caractérisent par des valeurs homogènes des coefficients d'emmagasinement au sein de chacun des deux aquifères. Ce sont donc ces valeurs qui ont été utilisées dans les simulations transitoires.

Le réglage du modèle a donc porté sur la simulation de l'état pseudo-stationnaire de septembre 1971. Les différents paramètres, et plus spécialement les transmissivités ont été ajustés au cours de 13 calculs successifs en régime permanent.

D'une façon générale, on s'est efforcé de conserver pour chaque paramètre, une bonne concordance entre les valeurs adoptées dans le modèle et les valeurs mesurées dans les différents essais, plutôt que de restituer très fidèlement une carte piézométrique dont le tracé est approximatif, la nappe n'étant pas restée parfaitement stable au cours de l'opération de relevé des niveaux.

23. Données nécessaires aux calculs

Les données nécessaires aux simulations sont les suivantes :

- Débits d'exploitation et cotes piézométriques aux limites pour chacun des deux aquifères.
- Transmissivités dans le Cuisien.
- Perméabilités, ainsi que cotes de la base et du toit de la formation aquifère pour l'ensemble Calcaire grossier-Marnes et Caillasses. Ces trois facteurs joints à la hauteur piézométrique sont nécessaires pour calculer la transmissivité de la couche supérieure suivant que la nappe y est captive ou libre.
- Il faut ajouter les cartes piézométriques nécessaires au contrôle des résultats.

24. Valeurs adoptées pour les différents paramètres

Nous ne présentons que les tableaux concernant la partie centrale des modèles. En effet, les valeurs utilisées à l'extérieur de cette zone qui n'a pas été traitée dans les campagnes de mesures, sont extrapolées.

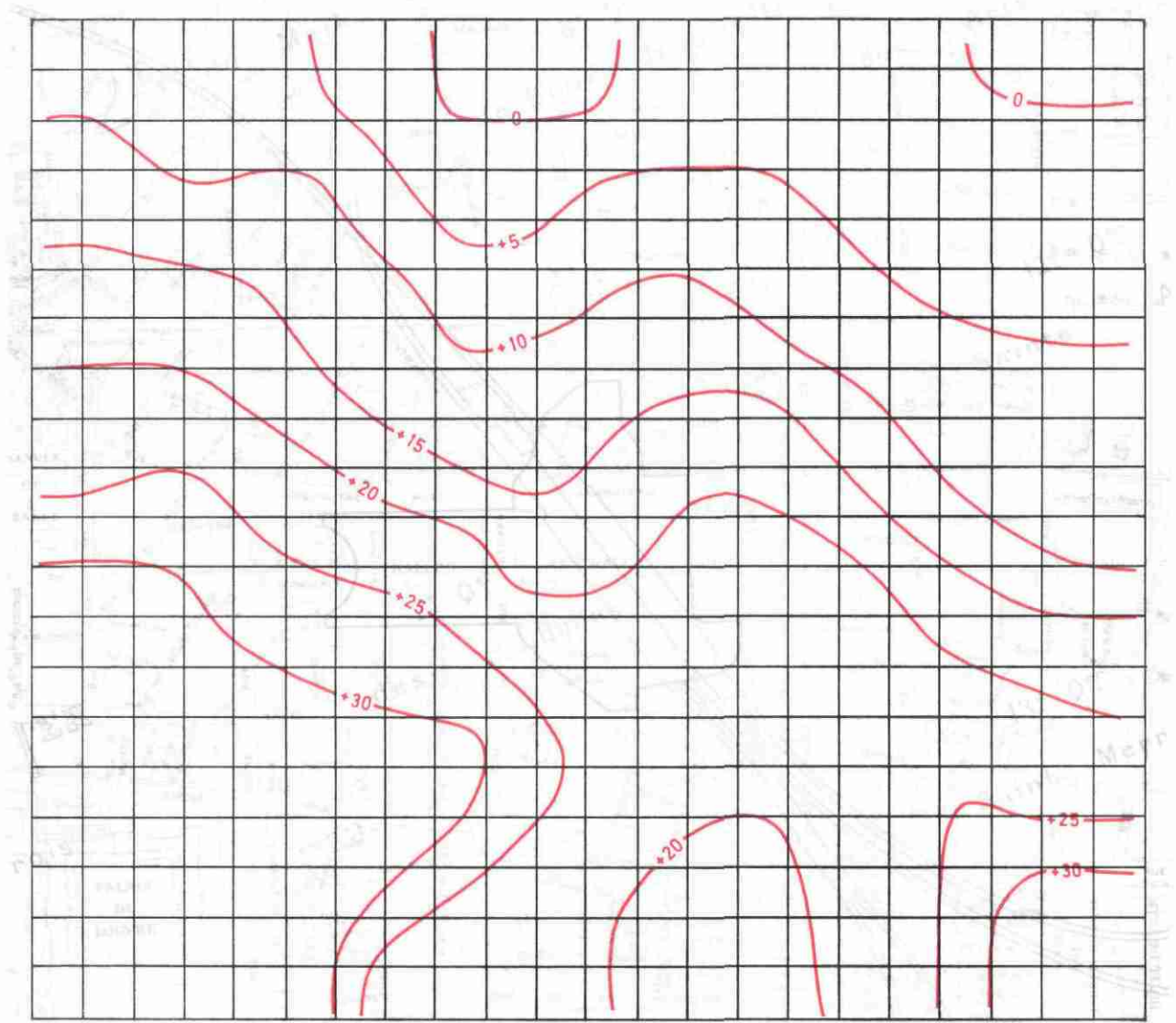
241. Cotes du toit de l'aquifère supérieur (figure F 2410)

Ces cotes correspondent aux niveaux maximaux au delà desquels la nappe du Calcaire grossier et base des Marnes et Caillasses devient captive. En régime permanent, ceci se traduit par le fait que la transmissivité ne varie plus avec la hauteur piézométrique.

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements, multicouche, en régime permanent

Toit du réservoir calcaire



Courbe isobathe (en m)

242. Cotes du mur du Calcaire grossier (figure F 2420)

Il s'agit des cotes supérieures de la zone de transition séparant le Calcaire grossier et le Cuisien. La carte de ce substratum n'a pas non plus été remise en question au cours du réglage.

243. Perméabilité de l'aquifère supérieur (figure F 2430)

Le premier calcul de réglage a été réalisé avec une perméabilité homogène en adoptant la valeur moyenne de 6.10^{-5} m/s. Au cours des calculs suivants, on a été amené à différencier les perméabilités et à utiliser des valeurs qui s'échelonnent de 1.10^{-5} à 12.10^{-5} m/s. La valeur moyenne de 6.10^{-5} s'est avérée correcte et subsiste dans la majorité des mailles.

Une tache de perméabilité plus faible, de 1.10^{-5} m/s est due au resserrement des équipotentielles au centre de la partie est du modèle.

Les perméabilités les plus fortes, de 10.10^{-5} à 12.10^{-5} m/s se trouvent, en gros, entre la Seine et les pavillons des Halles, et traduisent l'avancée des lignes piézométriques qui dans cette zone mettent un dôme en évidence.

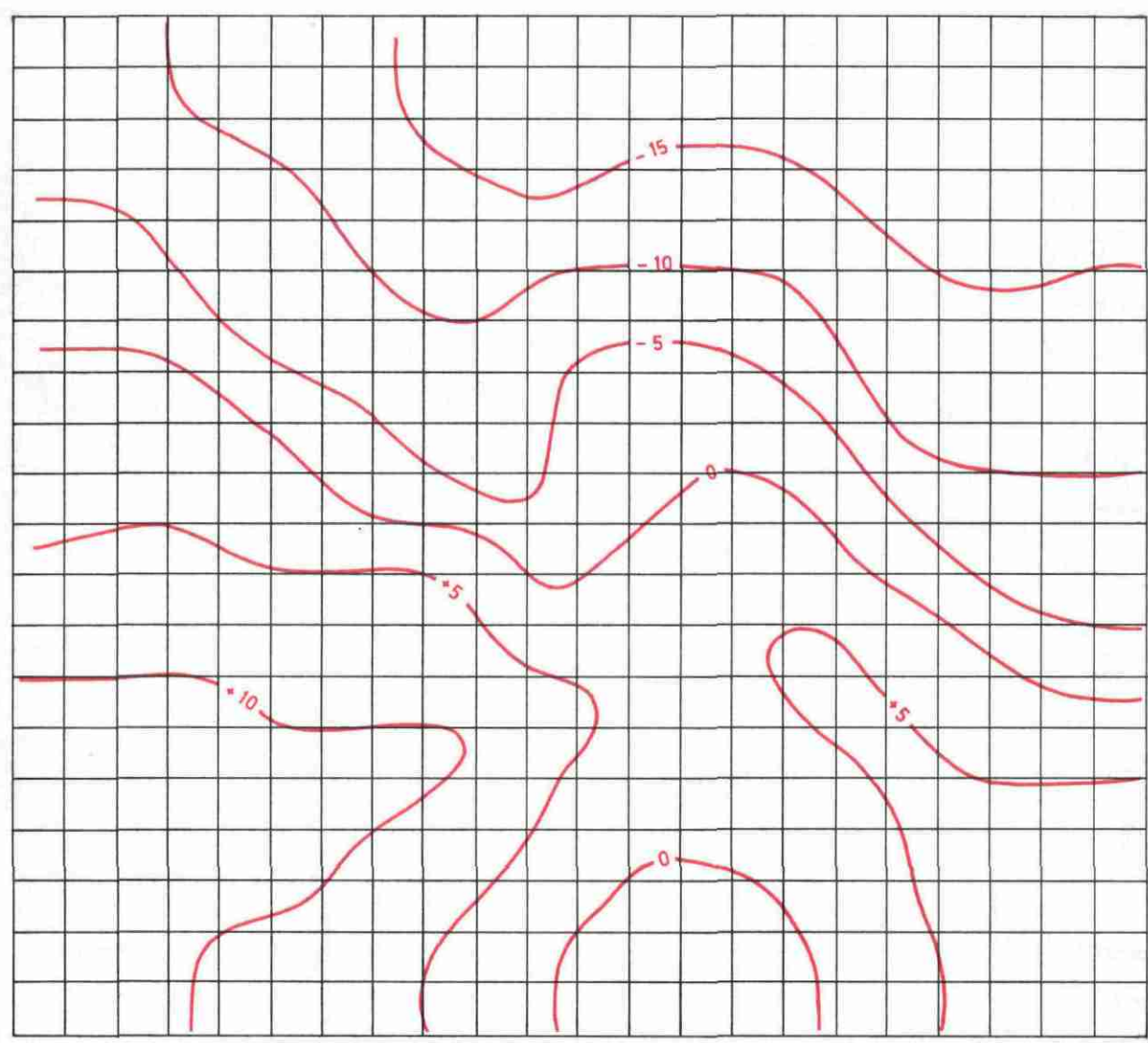
244. Perméabilités verticales (figure F 2440)

Ces perméabilités régissent l'écoulement vertical à travers la zone argileuse de transition. Le facteur d'échanges verticaux utilisé dans le modèle est le quotient K_v/E de cette perméabilité verticale K_v par l'épaisseur des argiles E . En effet, l'essentiel de la perte de charge sur une verticale se produit au passage de cette formation. Il est à remarquer que dans l'équation élémentaire traduisant le bilan d'une maille de calcul, c'est le produit de K_v/E par la section horizontale de la maille qui intervient. Ce produit est "homogène" à une transmissivité. C'est l'utilisation des mailles de taille variable qui a conduit à introduire en donnée K_v/E et non pas la transmissivité verticale équivalente, qui, elle, varierait suivant la taille de la maille adoptée.

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements,
multicouche, en régime permanent

Mur du réservoir calcaire

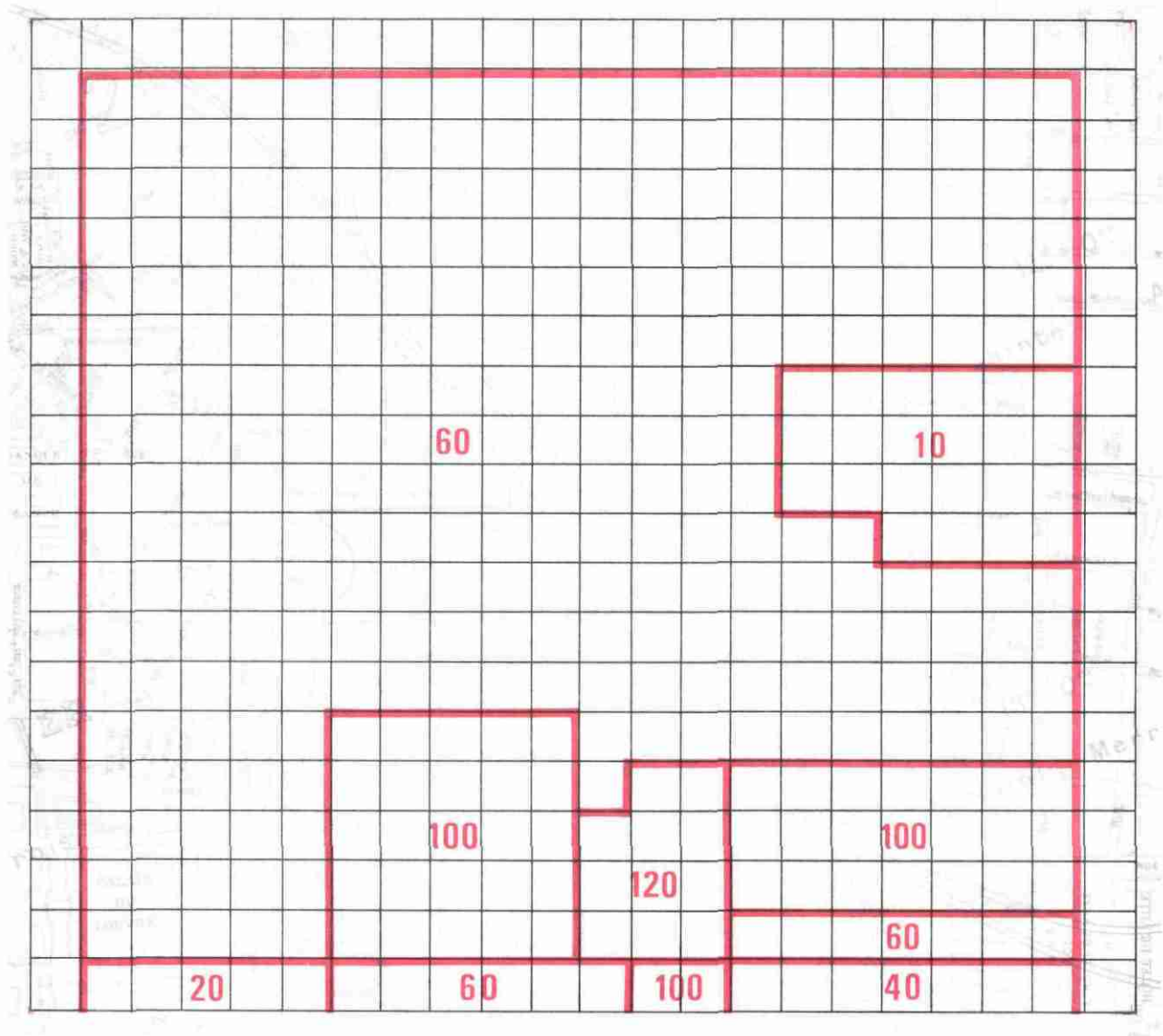


 Courbe isobathe (en m)

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements,
multicouche, en régime permanent

Perméabilités horizontales couche supérieure calcaire



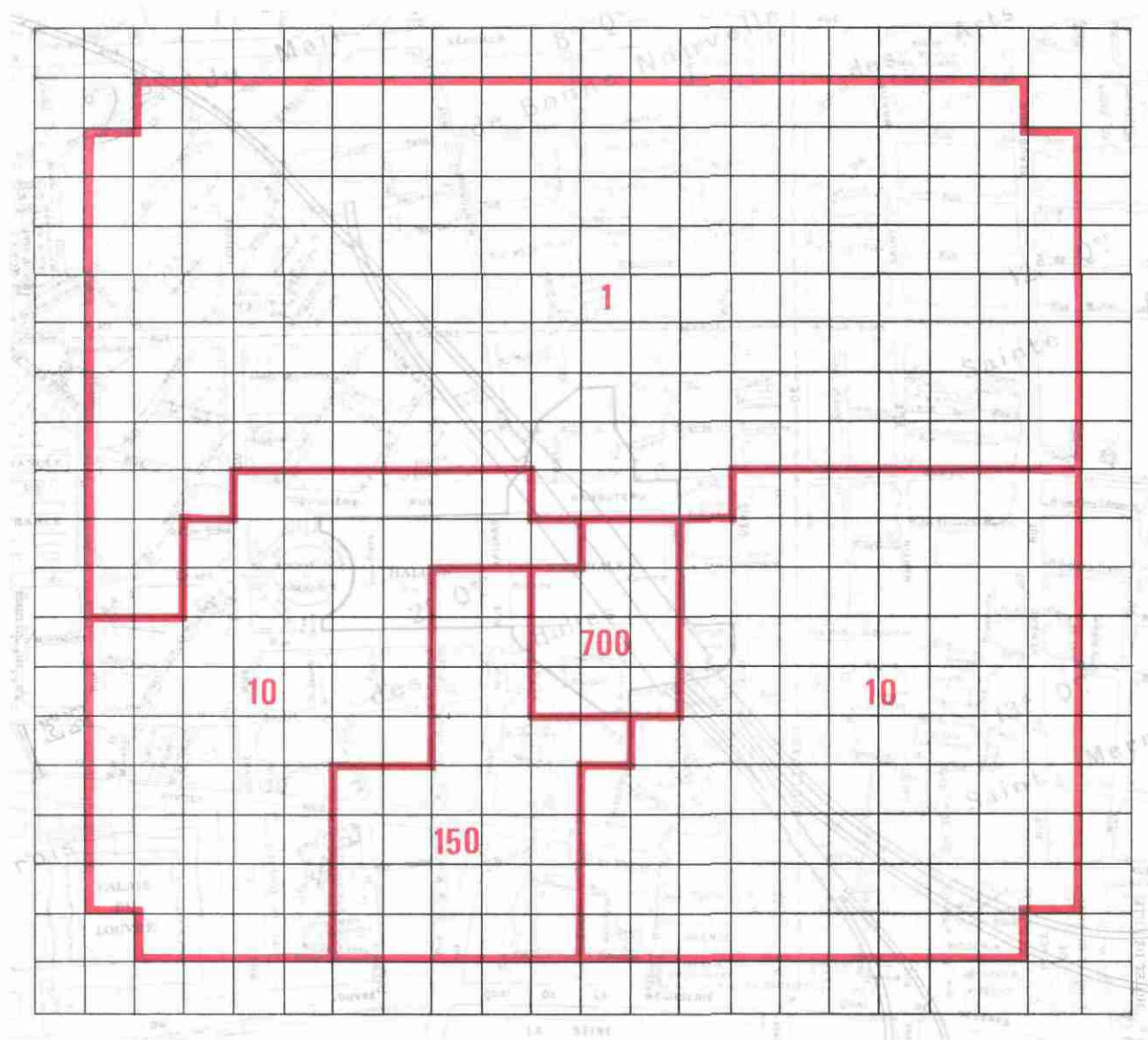
20 Perméabilités exprimées en 10^{-6} m/s



ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements,
multicouche, en régime permanent

Facteurs d'échanges verticaux entre les réservoirs



10 $K/E = \text{Perméabilité} / \text{épaisseur de la zone de transition (en } 10^{-10}/s)$

Pour réaliser le 1er calcul de réglage, on a divisé le modèle en 3 zones différentes, en fonction des teneurs relatives en argile ou en sable de la zone de transition :

Zone 1 : Sable ; Zone 2 : Sable argileux ; Zone 3 : Argile

Les valeurs adoptées pour K_v/E ont été les suivantes :

Zone 1 : 10^{-7} s^{-1} ; Zone 2 : 10^{-9} s^{-1} ; Zone 3 : 10^{-10} s^{-1}

La zone 1 de forte perméabilité verticale se situait au Sud et au Sud-Est des Halles. La zone 3, à faibles échanges verticaux couvrait la moitié Nord du modèle.

Au cours du réglage, les zones 2 et 3 ont conservé leurs valeurs et leur étendue a été fort peu modifiée.

Par contre les coefficients de la zone 1 ont été réduits à 10^{-9} s^{-1} au Sud-Est des Halles et à $15.10^{-9} \text{ s}^{-1}$ au Sud. De plus, à proximité des pavillons 10 et 12, des valeurs plus proches de l'estimation initiale ont été adoptées, avec 7.10^{-8} s^{-1} . En effet, on constate dans cette zone un creusement de la piézométrie dans la nappe du Calcaire grossier, et au contraire un gonflement de celle du Cuisien, ce qui traduit bien l'existence d'une drainage entre les deux nappes.

245. Transmissivité du Cuisien

Dans le premier calcul de réglage 3 zones de transmissivités, respectivement de 5.10^{-5} , 10^{-3} et $2.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, ont été introduites suivant l'épaisseur cumulée de sable propre: Zone 1 : (plus de 10 à 12 m de sables propres), zone 2 : (entre 5 et 10 m de sables propres), zone 3 : (moins de 5 m de sables propres).

En fait, le réglage du modèle a conduit à utiliser une valeur uniforme de $3.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, nécessaire pour fournir le débit soutiré des puits d'exploitation.

246. Débits pompés ou injectés dans les deux aquifères

La campagne de relevé de pompages a conduit à une identification des puits et à une estimation approximative des débits pompés dans l'ensemble des deux aquifères.

Lorsque les puits n'effectuent leur prélèvement que pendant une partie de la journée, on a introduit la valeur moyenne répartie sur 24 h. Lorsque un puits pompe simultanément dans les deux horizons, le débit a été, pour le premier calcul de réglage, réparti équitablement dans chaque couche ; cette répartition a été affinée en cours de réglage.

Dans la zone centrale du modèle, on observe un débit total prélevé de 33,4 l/s, auquel il faut ajouter 13,4 l/s en bordure immédiate est, et un débit d'injection de 6,7 l/s.

Par ailleurs, le réglage nous a amenés à introduire un apport de 12 l/s dans les mailles situées à l'Est immédiat de la place St Eustache. En effet, la piézométrie de la nappe du Calcaire grossier présente dans cette zone un dôme isolé, dont l'existence, attestée par les mesures de plusieurs piézomètres ne peut être mise en doute.

Une explication possible a été avancée lors de la séance de travail du 2 décembre 1971; il pourrait s'agir du déversement dans le Calcaire grossier d'une nappe perchée dans des formations supérieures.

247. Coefficients d'emmagasinement

Les valeurs retenues pour les coefficients d'emmagasinement sont les suivants :

3.10^{-3} dans le Calcaire grossier (nappe semi-captive)

5.10^{-4} dans les Sables cuisiers (nappe captive)

En fait, ces valeurs conduisent à une évaluation de la diffusivité plus élevée que celles qui avaient résultées des essais sur les modèles HYGP. Mais il est apparu préférable de s'en tenir à ces chiffres mesurés. On pourrait craindre en effet qu'ils ne conduisent à une sous-estimation de l'amortissement des crues, mais ceci irait dans le sens de la sécurité en amenant à surestimer la montée des nappes et les débits à évacuer par les drains.

Il est à signaler, par ailleurs, que sous les radiers, le coefficient d'emmagasinement a été abaissé à 1.10^{-3} dans le Calcaire grossier

pour prendre en compte la réduction d'épaisseur de l'aquifère, et la mise en charge plus importante sous les ouvrages.

248. Piézométrie (figures F 2481 et 2482)

Les cartes piézométriques ont été tracées en s'efforçant d'éliminer certaines anomalies locales (dues à des mises en route intempestives de pompages voisins de certains piézomètres), et de traduire la position moyenne des nappes.

Cette piézométrie a été utilisée à deux fins : d'une part, déterminer les cotes à imposer sur les limites nord des deux aquifères, et d'autre part, à contrôler les résultats obtenus sur l'ensemble du modèle.

25. Conclusions

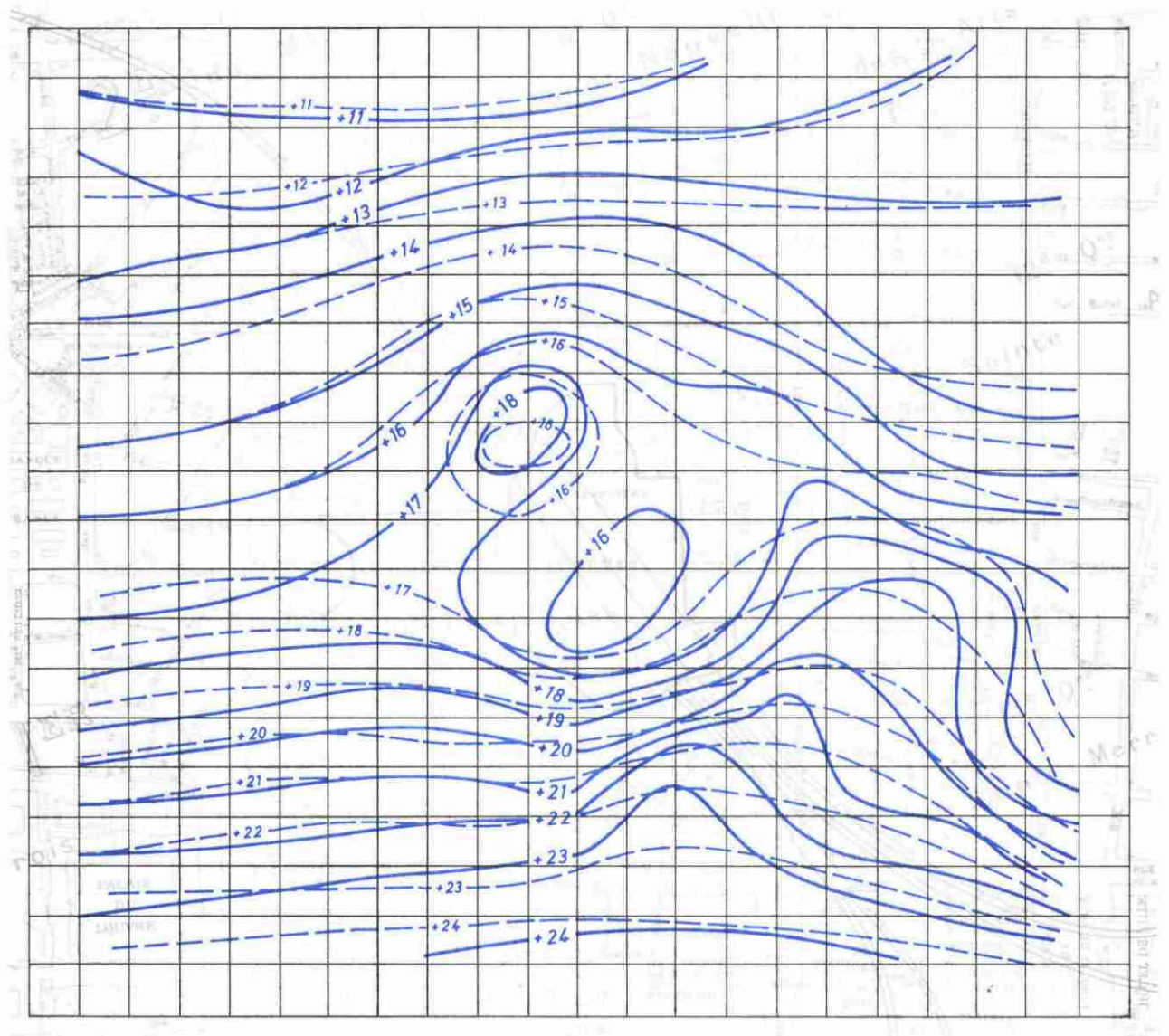
Le réglage a permis de reconstituer (voir planche C 1) avec une fidélité très satisfaisante les cartes piézométriques observées, tout en conservant pour les différents paramètres hydrodynamiques des valeurs proches de celles données par les mesures.

Le modèle était ainsi prêt pour la simulation des calculs d'exploitation.

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements,
multicouche, en régime permanent

Cartes piézométriques de la nappe du réservoir calcaire



—+20—

Courbes isopièzes observées

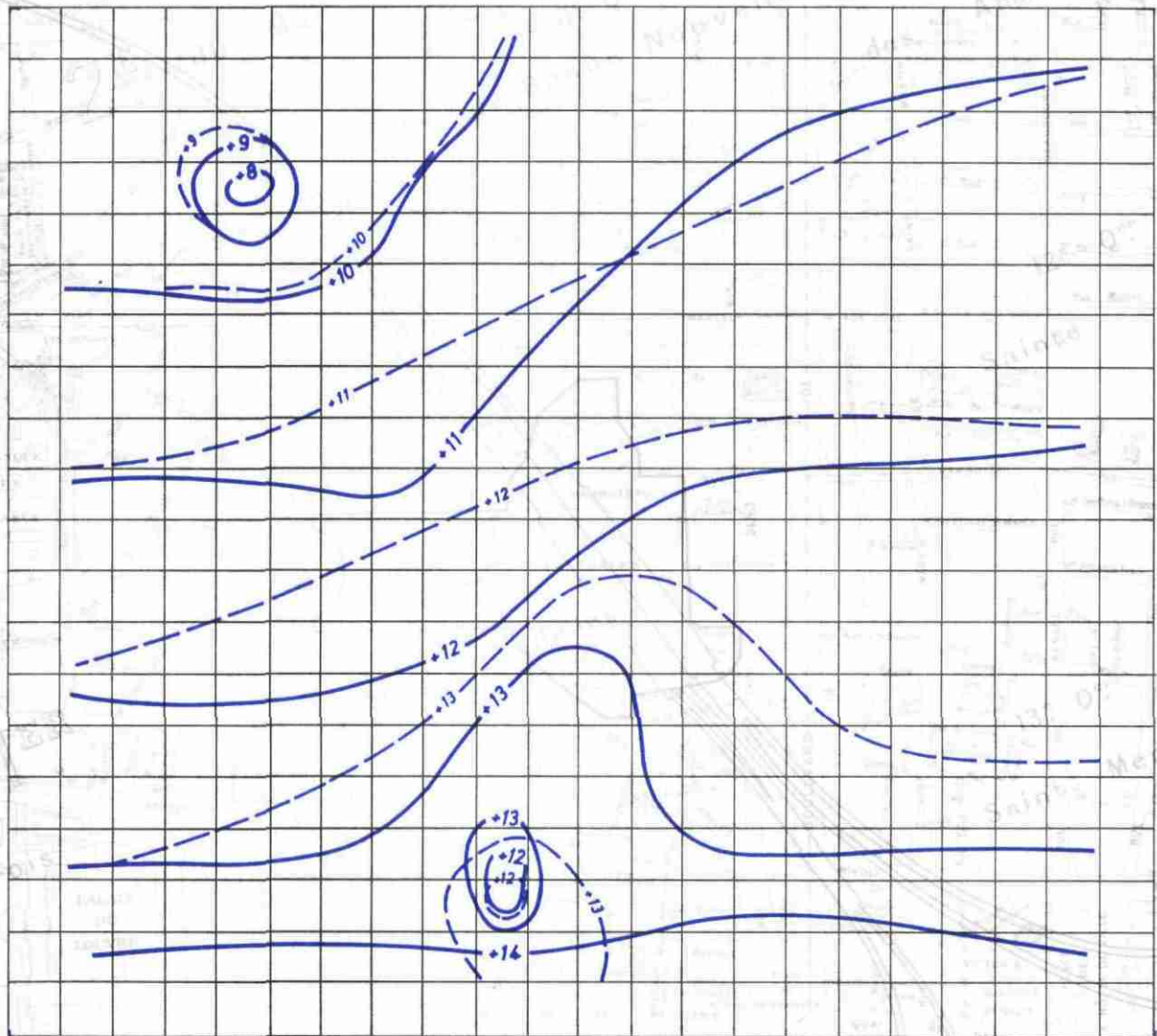
- - -+20- - -

Courbes isopièzes calculées

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements,
multicouche, en régime permanent

Cartes piézométriques de la nappe du réservoir sableux (Sables cuisiens)



—+10—

Courbes isopièzes observées

- -+10- -

Courbes isopièzes calculées

F.3. Exploitation du modèle permanent (B.R.G.M. MØBIL)

Le modèle mathématique de simulation des écoulements, en régime permanent, étant calé, il est alors possible de simuler différents types d'exploitations et de contraintes. Le nombre et la consistance de ces exploitations ont été déterminés en accord avec la S.E.M.A.H. à l'occasion de réunions de concertation regroupant également les représentants de COYNE ET BELLIER.

31. Influence des travaux durant la fouille

Les travaux de fouille vont être conduits en deux phases :

- la 1^e phase supposera une fouille limitée par une paroi étanche jusqu'au niveau du radier prolongée par un voile d'injection exécuté jusqu'à la base du Calcaire grossier. Cette fouille est destinée à permettre la réalisation dans le tréfond des deux stations R.E.R. ; elle est limitée à la partie est de l'enceinte totale.
- la 2^e phase supposera la réalisation du restant de la fouille à l'abri d'une nouvelle paroi étanche pour la partie ouest.

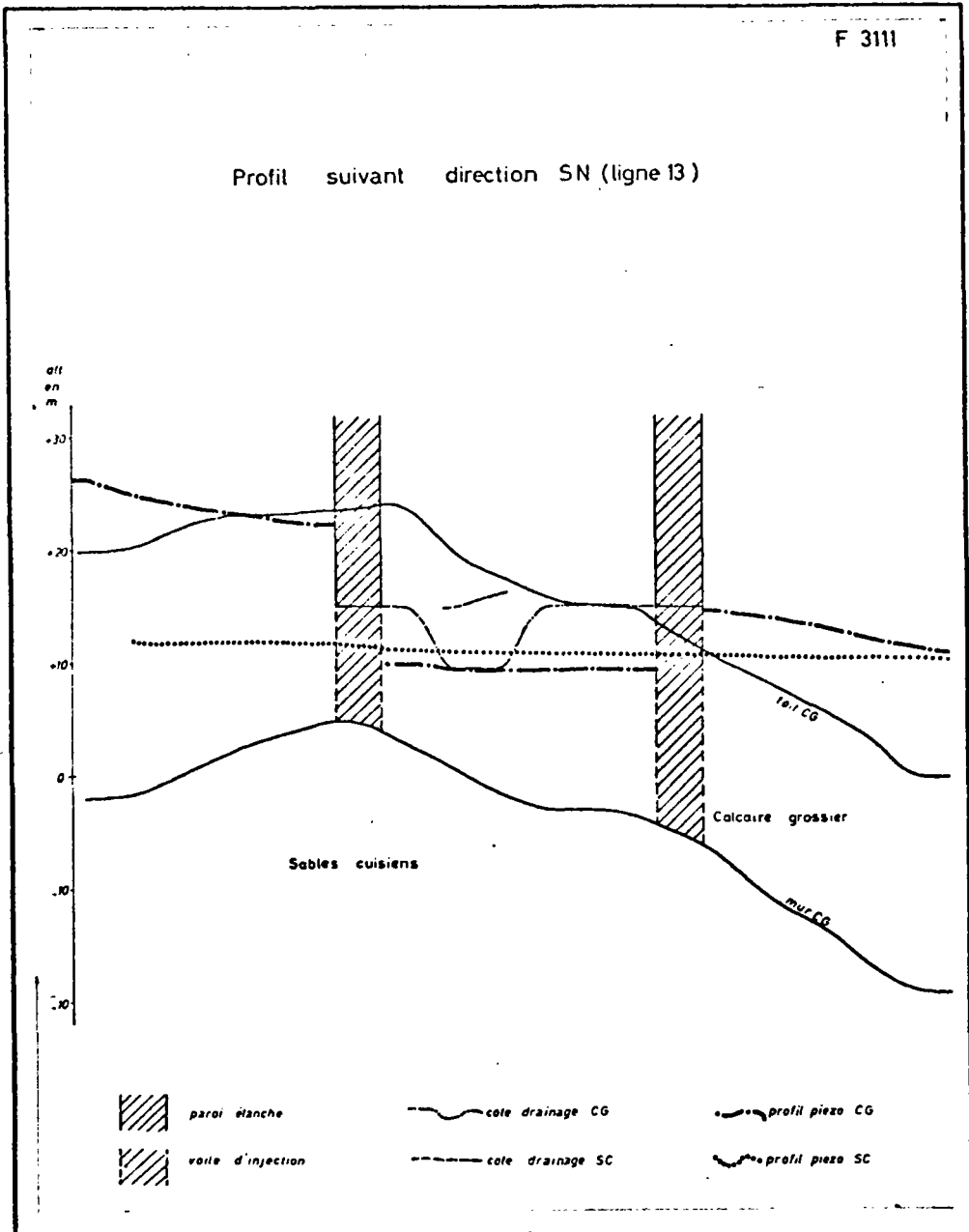
Le premier type d'exploitation est donc basé sur l'influence de la fouille est (petite fouille) sur les niveaux piézométriques et sur la détermination des débits d'exhaure à prélever pour assécher la fouille. Les débits des pompes voisins restent les débits actuels. La paroi étanche de la fouille a été schématisée dans le Calcaire grossier par une couronne de mailles affectées de perméabilité nulle. Les cotes de drainage affichées dans la fouille sont les suivants :

- Calcaire grossier : + 9,5 m sous R.E.R.
+ 15 m sous radier S.E.M.A.H.
- Sables cuisiens : + 11 à +18 m sous R.E.R.

311. Travaux de fouille en période d'étiage

Nous présentons les résultats de cette exploitation de la manière suivante :

- le graphique F 3111 montre les profils piézométriques des deux réservoirs suivant la direction sensiblement SN (ligne 13 du modèle qui passe par l'axe de la fouille). On notera le rabattement net créé dans le Calcaire grossier à l'intérieur de la fouille.



F 3112

Débits drainés en l/s

	8	9	10	11	12	13
12				0,16		
13		0,86	0,63			
14	0,57 2,45	0,50				
15						

Calc. grossier	0,16	
	0,63	
	0,86	
	0,50	
	0,57	<u>2,45</u>
	2,72	<u>2,45</u>

Total

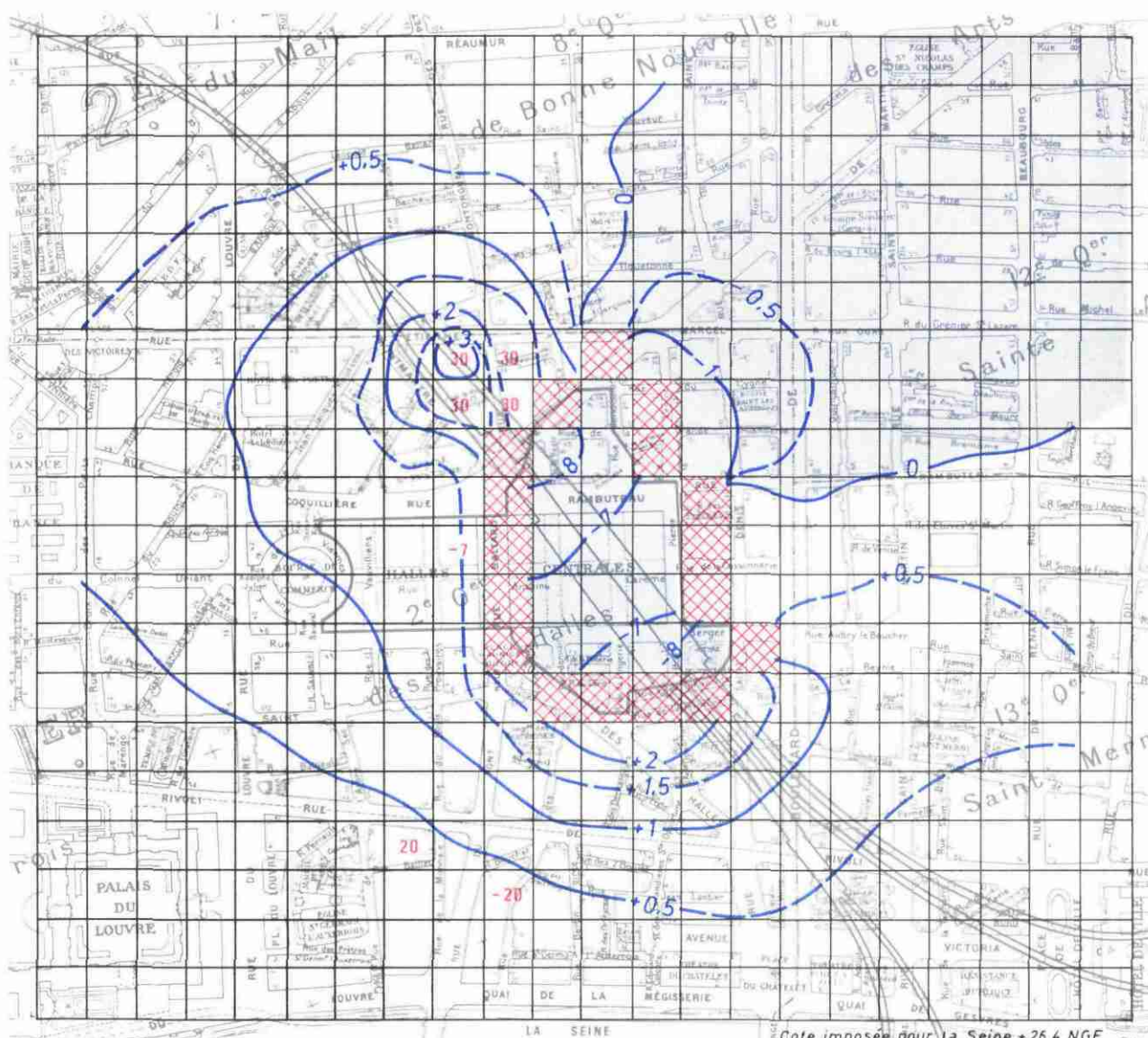
5,17 l/s

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

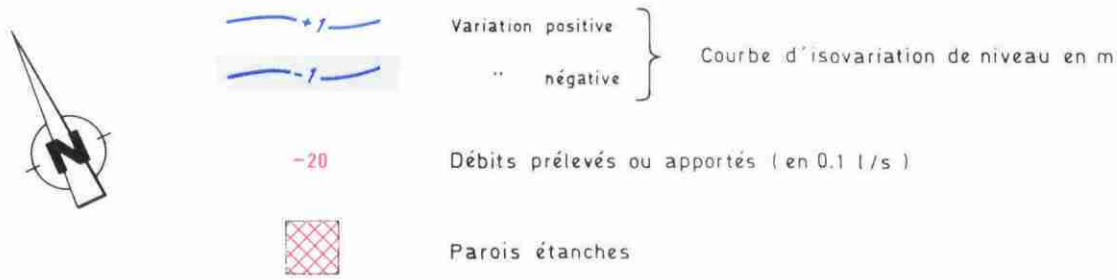
Modèle mathématique de simulation des écoulements, multicouche, en régime permanent

Influence de la fouille en période d'étiage (Calcaire grossier)

Petite fouille



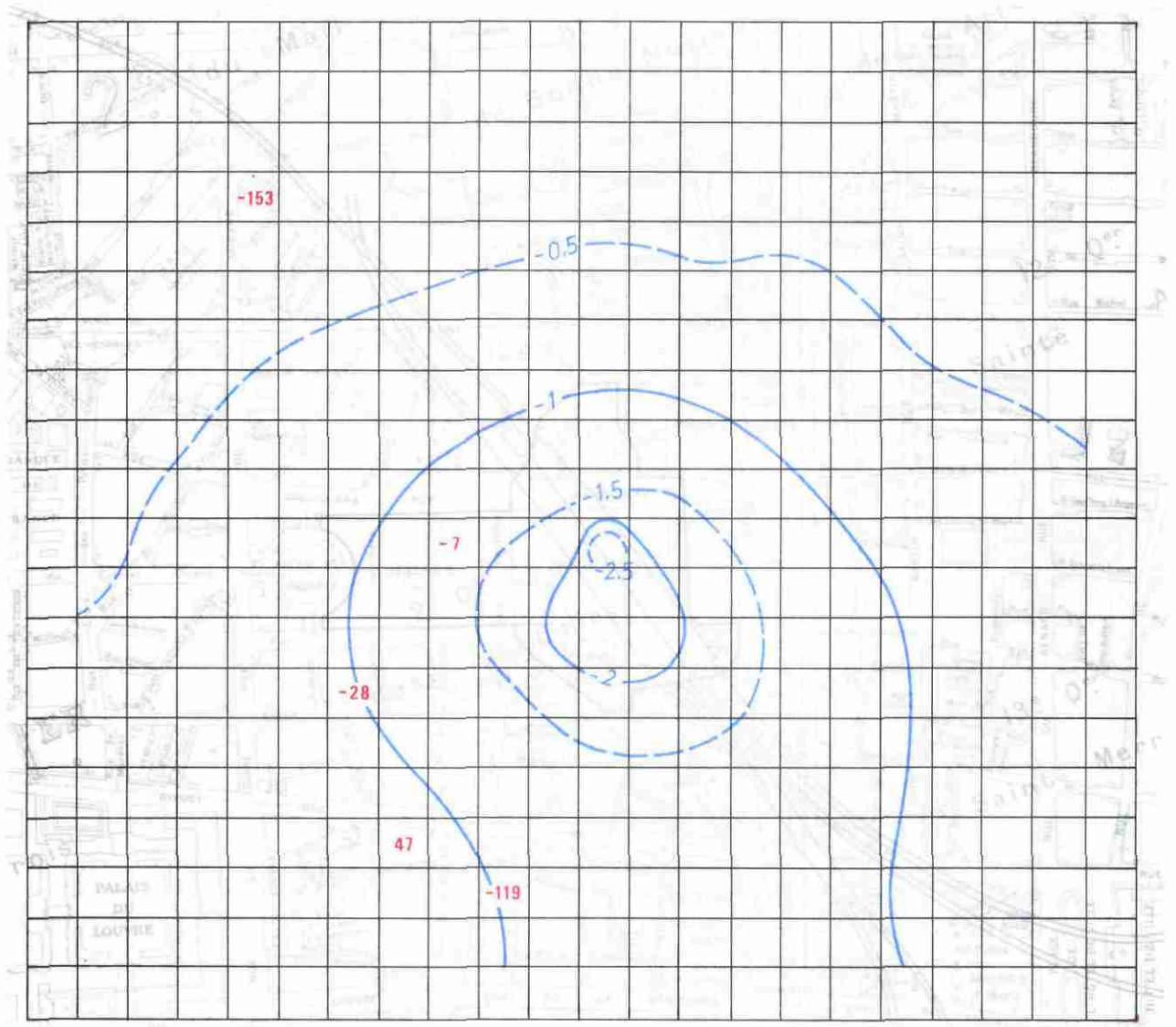
Cote imposée pour la Seine +26.4 NGF



ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

**Modèle mathématique de simulation des écoulements,
multicouche, en régime permanent**

Influence de la fouille en période d'étiage (Sables cuisiens)
Petite fouille



Variation négative - Courbes d'isovariation de niveau en m

-153

Débîts prélevés ou apportés (en 0.11/s)

- le graphique F 3112 indique les débits, exprimés en l/s drainés dans chaque maille et dans chacun des réservoirs à l'intérieur de la fouille. Les mailles pour lesquelles il n'y a pas de valeur sont celles où la cote de drainage n'a pas été atteinte. Le débit total drainé représente donc 5,17 l/s dans la fouille. On peut donc considérer que le débit d'exhaure de la fouille dans ces conditions sera d'environ 20 m³/h.
- les cartes FC1 et FC2 présentent les modifications de niveaux entraînées par la paroi étanche et l'assèchement de la fouille :
 - FC1. Calcaire grossier - élévation du niveau d'eau au Sud et à l'Ouest - abaissement au NE.
 - FC2. Sables cuisiers - l'abaissement est général, il est maximum sous la fouille (max. 2,9 m) sous l'action de l'assèchement forcé.

Le débit à pomper est relativement faible, ceci est dû au fait que l'eau doit percoler successivement de haut en bas, traverser la zone de transition, circuler dans les Sables cuisiers, retraverser la zone de transition et percoler dans les Calcaires de bas en haut.

Le barrage à l'écoulement créé par la paroi étanche se manifeste à l'extérieur des fouilles par une remontée des niveaux à l'amont et par une descente à l'aval.

312. Travaux de fouille en période de crue

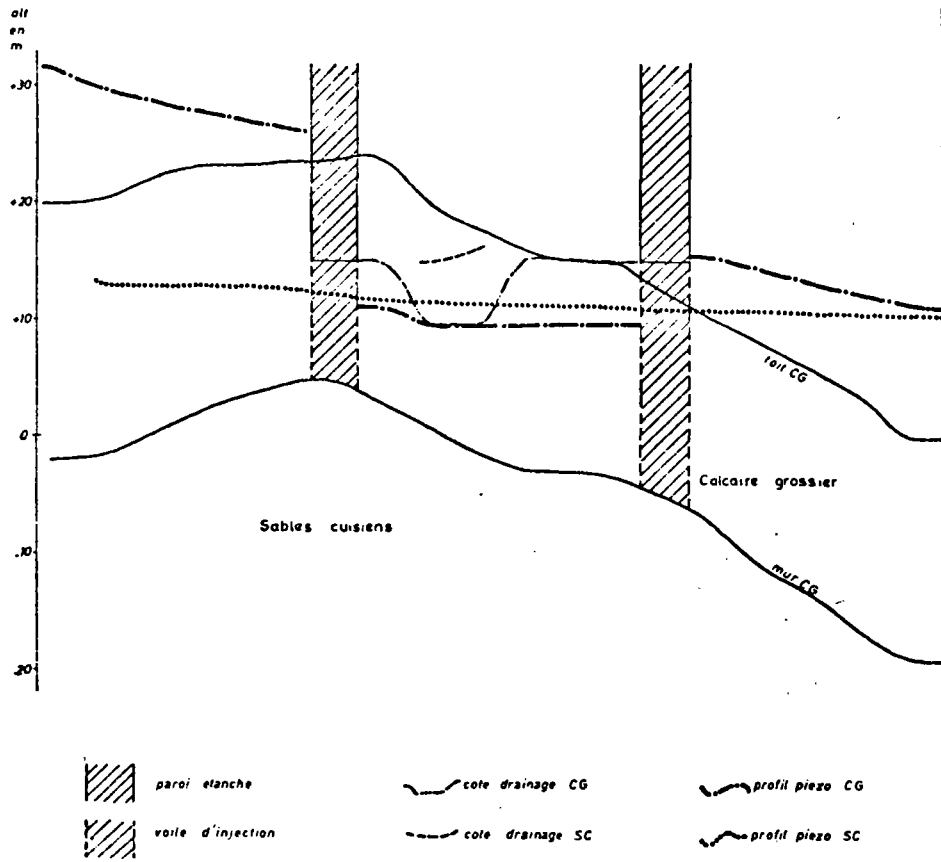
Cette exploitation reprend les mêmes critères que la précédente si ce n'est que la Seine est en crue, c'est-à-dire que la limite à niveau constant amont (Sud) est fixée à + 31,6 NGF au lieu de + 26,4 NGF soit une hausse de 5 m.

Nous présentons les résultats de cette exploitation de la manière suivante :

- le graphique F 3121 montre les profils piézométriques des deux réservoirs. A cause des hypothèses admises, les niveaux d'eau dans le Calcaire grossier ont fortement monté alors que ceux des Sables cuisiers n'ont que faiblement monté.

F 3121

Profil suivant direction SN (ligne 13)



F 3122

Débits drainés en l/s

	8	9	10	11	12	13
12				0.20		
13		1.06	0.77			
14	0.61	0.52				
15	6.15					

Calc. grossier S. cuisien

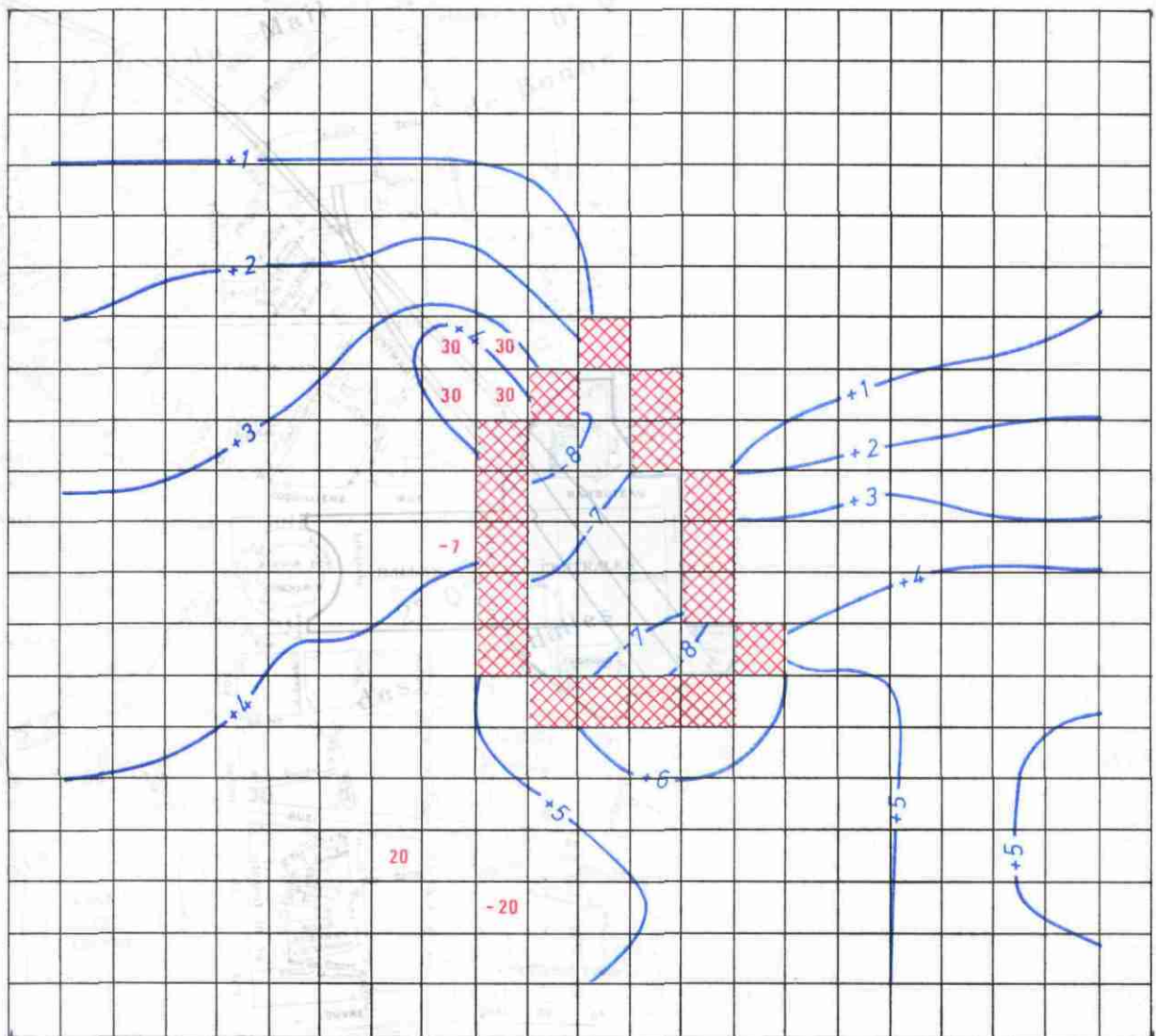
0.20	
0.77	
1.06	
0.52	
0.61	
<u>3.16</u>	
	<u>6.15</u>
	6.15

Total
9,31 l/s

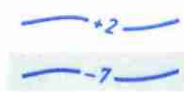
ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements, multicouche, en régime permanent

Influence de la fouille en période de crue (Calcaire grossier)
Petite fouille



Cote imposée pour la Seine +31,4 NGF



Variation positive

" négative

Courbes d'isovariation de niveau en m

-20

Débits prélevés ou apportés (en 0.1 l/s)

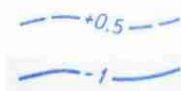
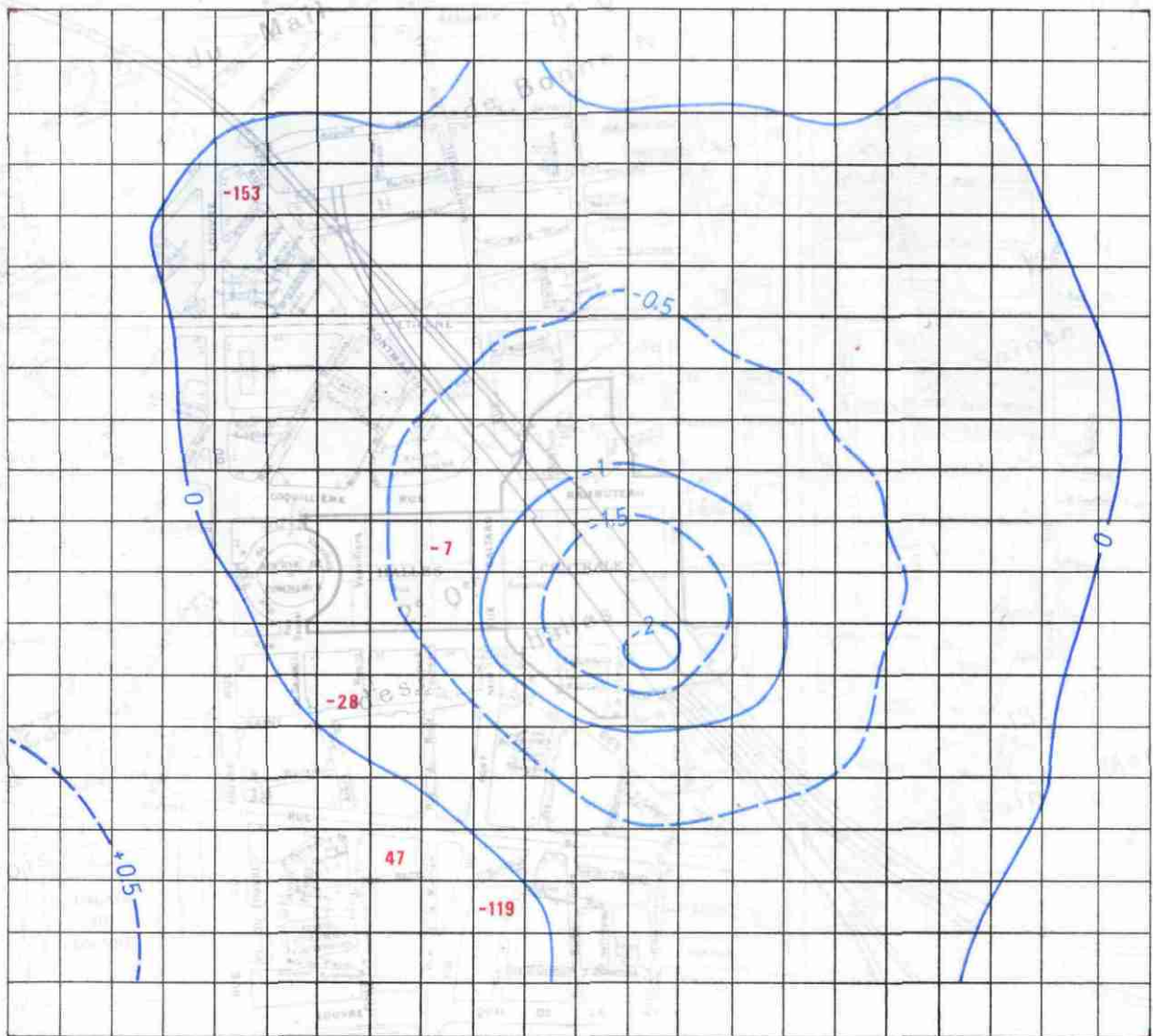


Parois étanches

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements, multicouche, en régime permanent

Influence de la fouille en période de crue (Sables cuisiens)
Petite fouille



Variation positive

" négative

Courbes d'isovariation de niveau en m

-153

Débits prélevés ou apportés (en 0.1 l/s)

- le graphique F 3122 indique les débits, exprimés en l/s, drainés dans chaque maille et chacun des réservoirs à l'intérieur de la fouille. Le débit global drainé est de 9,31 l/s.

Dans ces conditions, le débit d'exhaure serait d'environ 35 m³/h.

- les cartes FD1 et FD2 indiquent les variations de niveaux d'eau sous l'action conjuguée de la fouille asséchée et de la crue de la Seine.

FD1 - Calcaire grossier - les niveaux d'eau sont tous plus élevés, cependant l'influence de la crue est amenuisée d'amont en aval (S au N).

FD2 - Sables cuisiers - l'influence de la crue se fait sentir par une diminution du cône de dépression par rapport au cas précédent (maximum 2,3 m).

Dans le Calcaire grossier, l'influence de la crue contourne l'ouvrage. L'augmentation du débit à drainer est de 75%.

313. Travaux de fouille, en période de crue et voile partiellement étanche

Cette exploitation reprend les mêmes critères que la précédente mais le voile d'injection, situé dans le Calcaire grossier sous la paroi moulée, est partiellement étanche. Pour ce faire, nous avons admis dans les mailles, une perméabilité horizontale égale au 1/10 de celle du réservoir calcaire.

Nous présentons les résultats de cette exploitation de la manière suivante :

- le graphique F 3131 montre les profils piézométriques des deux réservoirs.

Dans la fouille, le profil au niveau du Calcaire grossier se raccorde au profil extérieur. Le niveau des Sables cuisiers n'a pratiquement pas bougé.

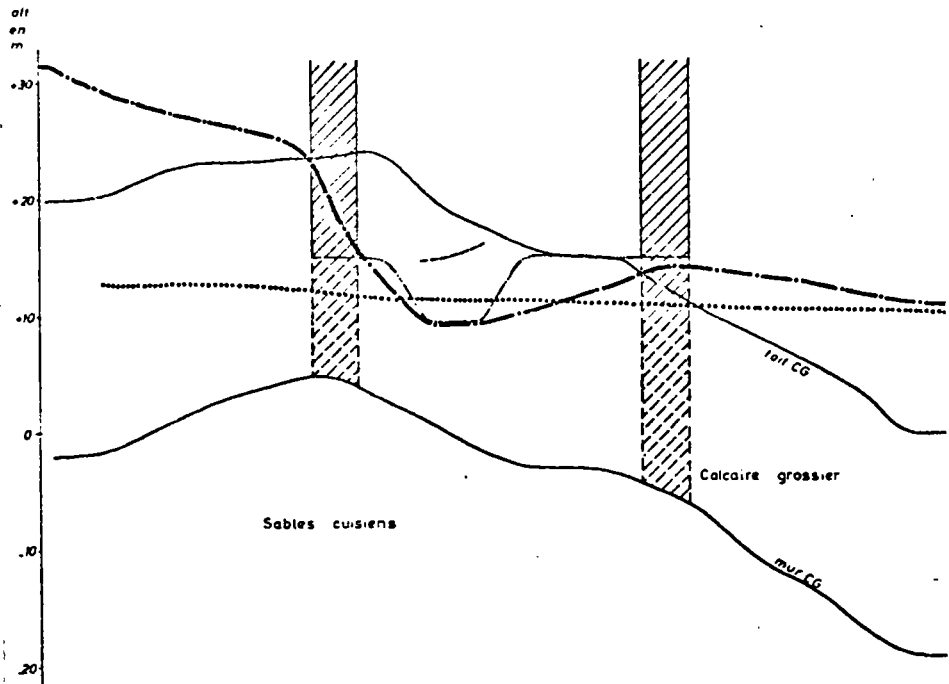
- le graphique F 3132 indique les débits, exprimés en l/s, drainés dans la fouille. Le débit global drainé est de 20,75 l/s.

Dans ces conditions, le débit d'exhaure serait d'environ 75 m³/h.

- les cartes FE1 et FE2 indiquent les variations de niveaux d'eau dans les réservoirs par rapport à l'état initial. Le voile étant partiellement étanche, le débit à drainer au niveau du Calcaire grossier est beaucoup plus important ceci détermine un

F 3131

Profil suivant direction SN (ligne 13)



paroi étanche cote drainage CG profil piezo CG
 voile d'injection partiellement étanche cote drainage SC profil piezo SC

F 3132

Débits drainés en l/s

	8	9	10	11	12	13
12				4,13		
13		2,39	2,20			
14	4,36	1,43				
15						

Calc. grossier S. cuisien

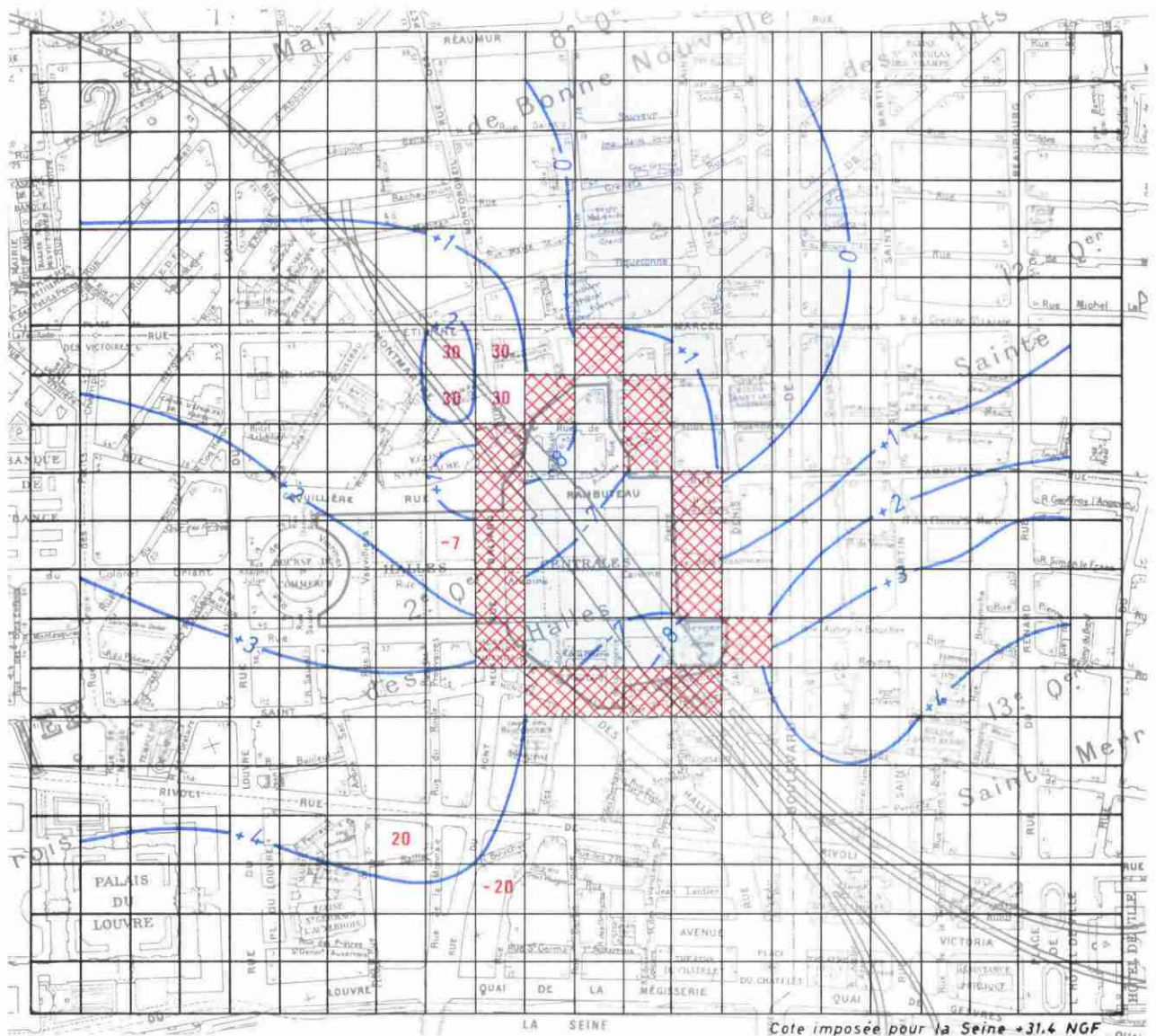
4,13	
2,20	
2,39	
1,43	
<u>4,36</u>	<u>6,24</u>
14,51	6,24

Total
20,75 l/s

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements, multicouche, en régime permanent

Influence conjuguée de la fouille et d'un voile partiellement étanche,
en période de crue (Calcaire grossier)



Variation positive

" négative

Courbes d'isovariation de niveau en m

-20

Débits prélevés ou apportés (en 0.1 l/s)

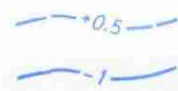
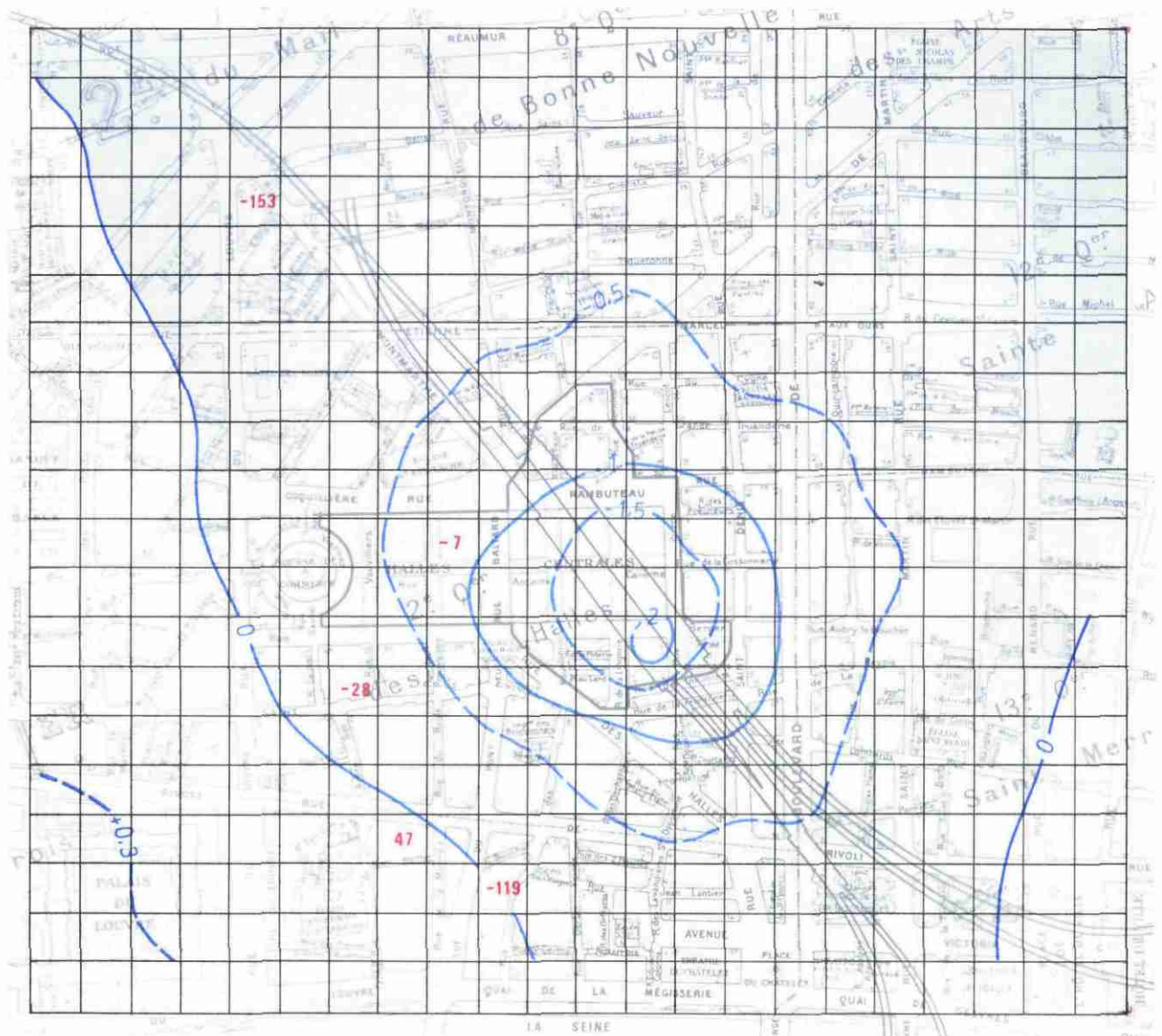


Parois étanches

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements, multicouche, en régime permanent

Influence conjuguée de la fouille et d'un voile partiellement étanche,
en période de crue (Sables cuisiens)



Variation positive

négative

Courbe d'isovariation de niveau en m

-153

Débites prélevés ou apportés (en 0.1 l/s)

rayon d'action qui n'est plus limité aux parois. Les courbes montrent bien le contournement de l'ouvrage par la crue. Par contre, au niveau du réservoir sableux, les variations sont sensiblement du même ordre que précédemment ; le débit prélevé l'est également.

32. Travaux réalisés - influence d'un pompage pour climatisation

Les travaux sont supposés terminés, le caisson S.E.M.A.H. complet, les stations du R.E.R. ainsi que la ligne EW et l'amorce de la ligne vers le Sud exécutés. Il s'agit de voir qu'elle serait l'influence d'un pompage aux Sables cuisiers pour la climatisation de l'aménagement de 20 l/s.

Les deux parties du radier S.E.M.A.H. sont schématisées de la manière suivante :

- paroi étanche - maille à perméabilité nulle.
- radier S.E.M.A.H. - maille dans lesquelles le toit de la formation calcaire correspond à la cote du radier.

De même le tracé des lignes R.E.R. a été schématisé par un ensemble de mailles à l'intérieur desquelles le toit de la formation correspond à la cote du radier R.E.R.

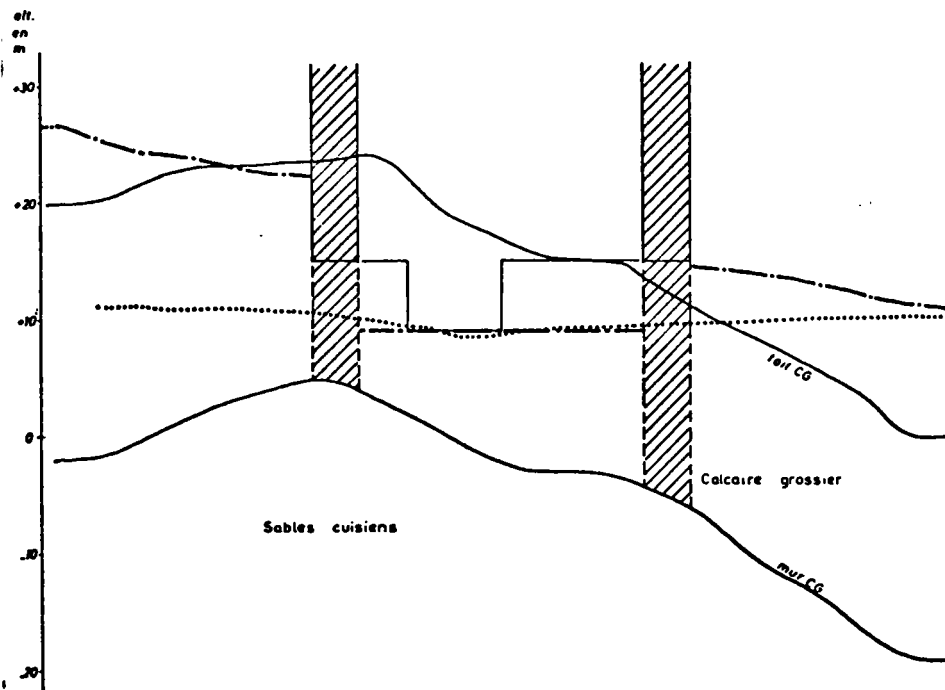
321. Climatisation - pompage de 20 l/s aux Sables cuisiers

Le forage aux Sables cuisiers est implanté au milieu du radier S.E.M.A.H. Nous avons présenté les résultats sur les graphiques et cartes suivants :

Le graphique F 3211 décrit les profils piézométriques dans les deux réservoirs. On peut noter que le Calcaire grossier est dénoyé sous le radier S.E.M.A.H. et que le profil piézométrique dans les Sables cuisiers est très aplati. L'approximation que nous avons faite en considérant la limite aval (Nord) comme une limite à potentiel constant est pour cette simulation, particulièrement irréaliste, en effet cette limite alimente le domaine étudié.

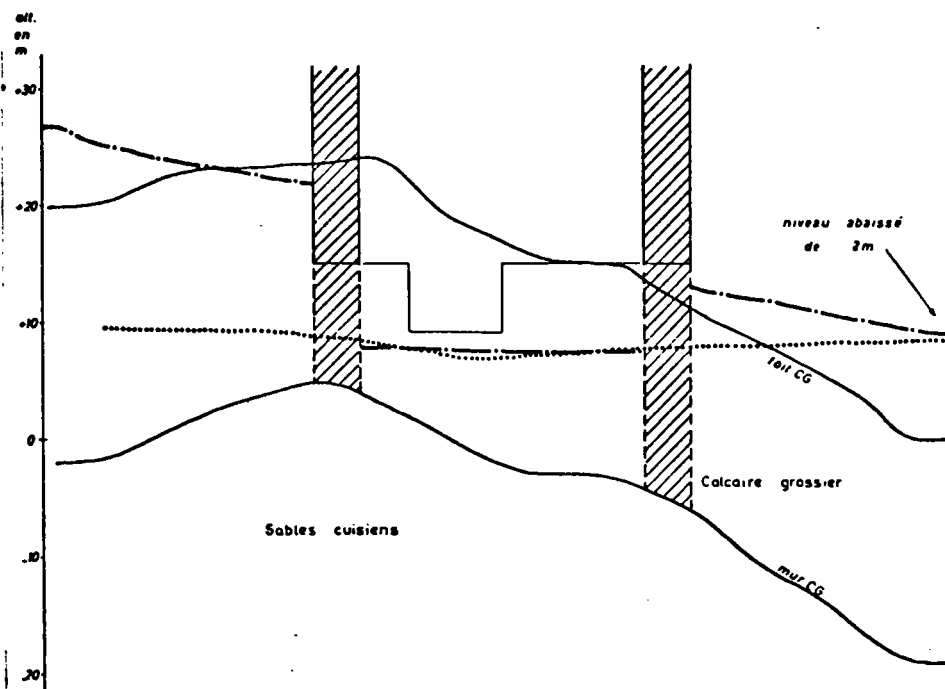
F 3211

Profil suivant direction S N (ligne 13)



- paroi étanche
- voile d'injection
- radier
- cote drainage CG
- cote drainage SC
- profil piezo CG
- profil piezo SC

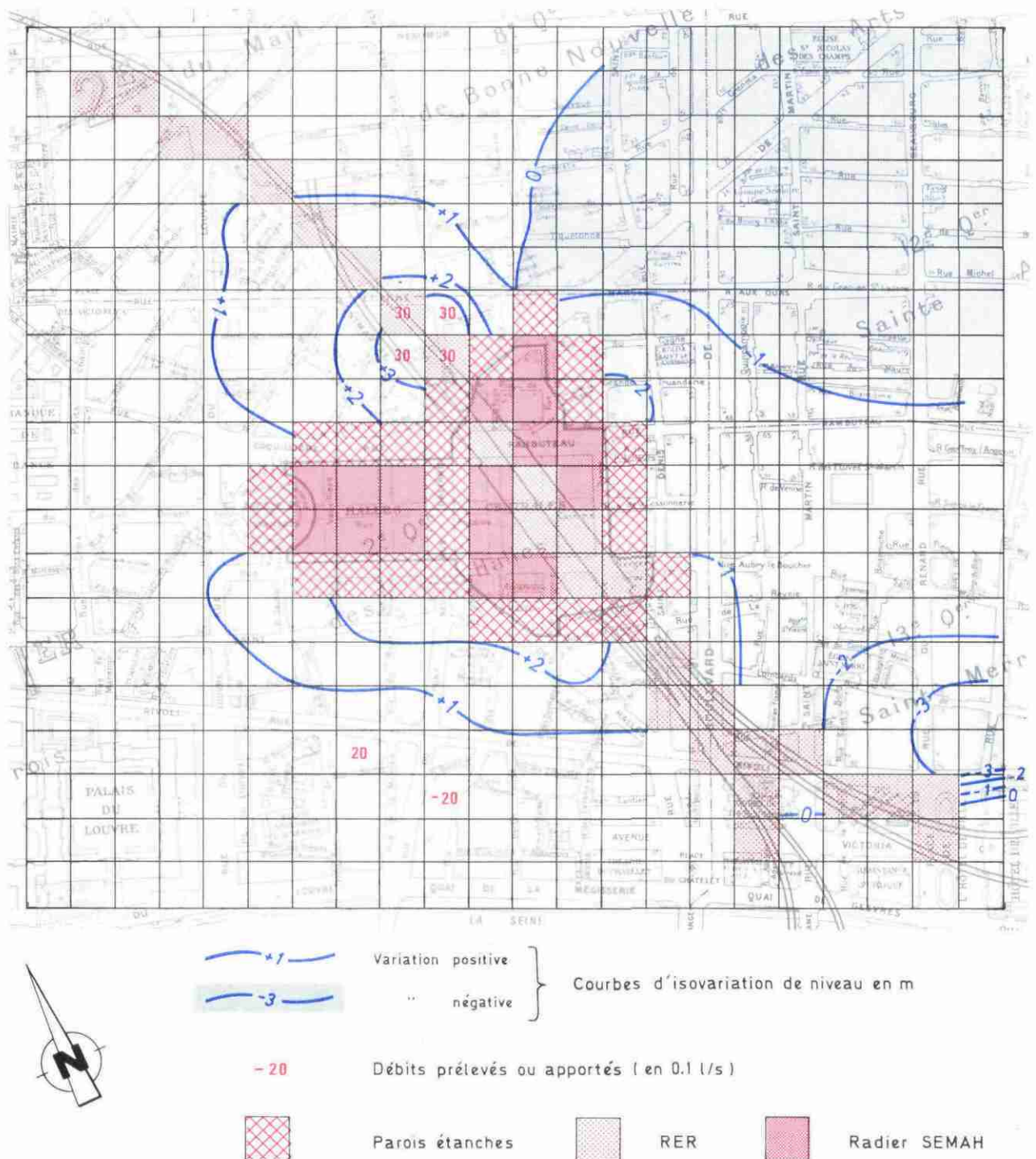
F 3221



ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements, multicouche, en régime permanent

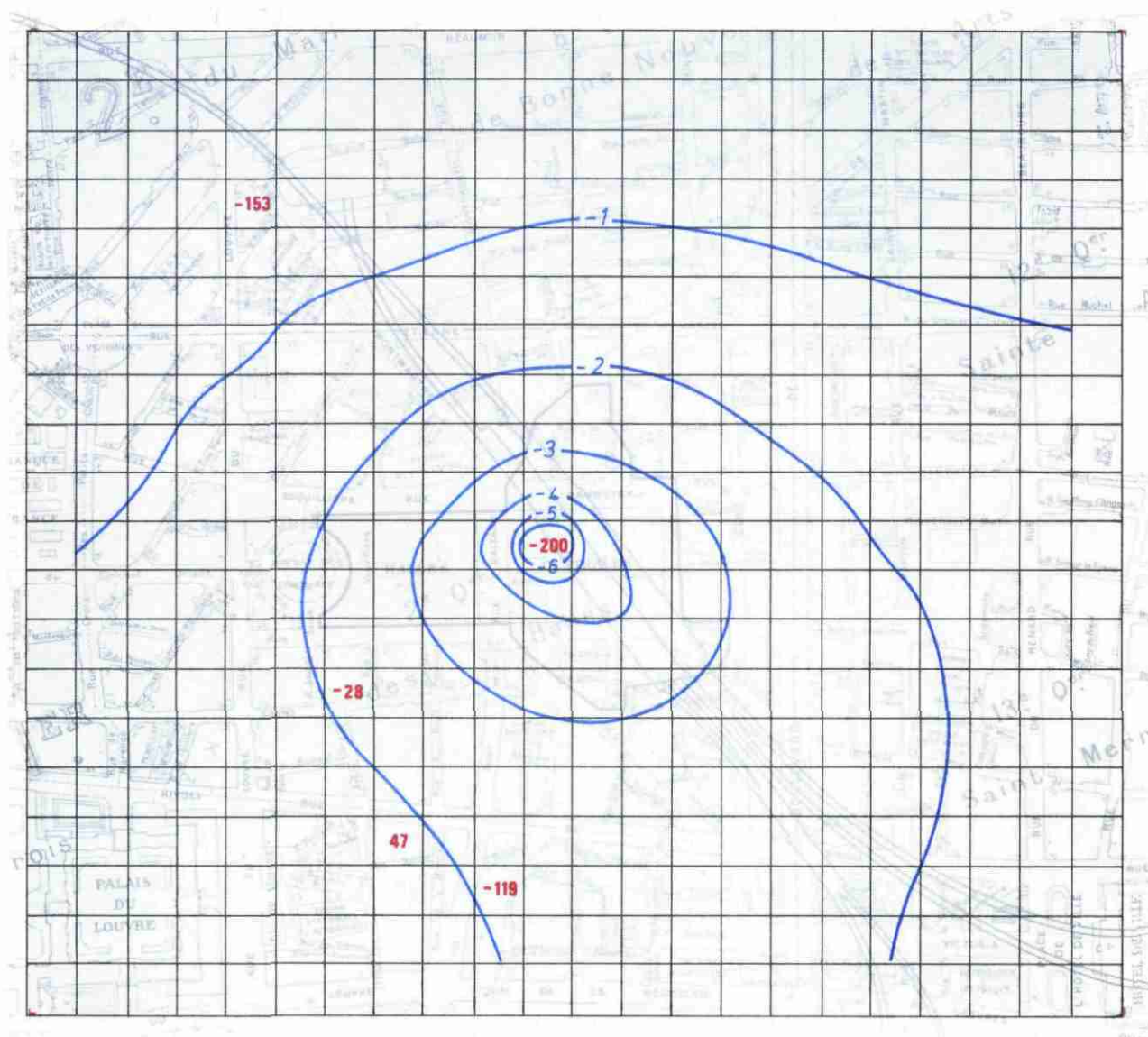
Influence conjuguée du radier SEMAH, du RER
et d'un forage de climatisation (Calcaire grossier)



ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements, multicouche, en régime permanent

Influence conjuguée de la grande fouille, du RER,
et d'un forage de climatisation (Sables cuisiers)



Variation négative - Courbes d'isovariation de niveau en m

-119

Débits prélevés ou apportés (en 0.1 l/s)

En réalité, le dénoyage serait encore plus important.

- les cartes FF1 et FF2 présentent les variations de niveau d'eau calculées dans les deux réservoirs par rapport à l'état de calage. Sur la carte FF1, on note l'influence du barrage hydraulique créé par le métro .R.E.R. surtout dans le quart SE du modèle où celui-ci est presque entièrement creusé dans le Calcaire grossier (la présence de forages R6A et B en pompage à proximité immédiate du bord du modèle aggrave l'effet de cette perte de charge.) Sur la carte FF2, le cône de dépression créé par le pompage pour climatisation est net, le rabattement maximum est de 6 m.

L'influence d'un pompage de 20 l/s sous le radier, destiné à la climatisation crée un cône de dépression important d'autant plus important que les conditions aux limites sont ici favorables puisqu'elles diminuent le rabattement.

322. Baisse des nappes

Au pompage destiné à la climatisation, il a été conjugué une baisse des nappes sur la limite aval de 2 m. Une baisse équivalente due aux pompes effectués au Nord de Paris est enregistrée sur une période de 5 ans environ.

Nous avons présenté les résultats de la manière suivante :

- le graphique F 3221 montre les profils piézométriques dans les deux réservoirs.

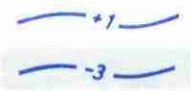
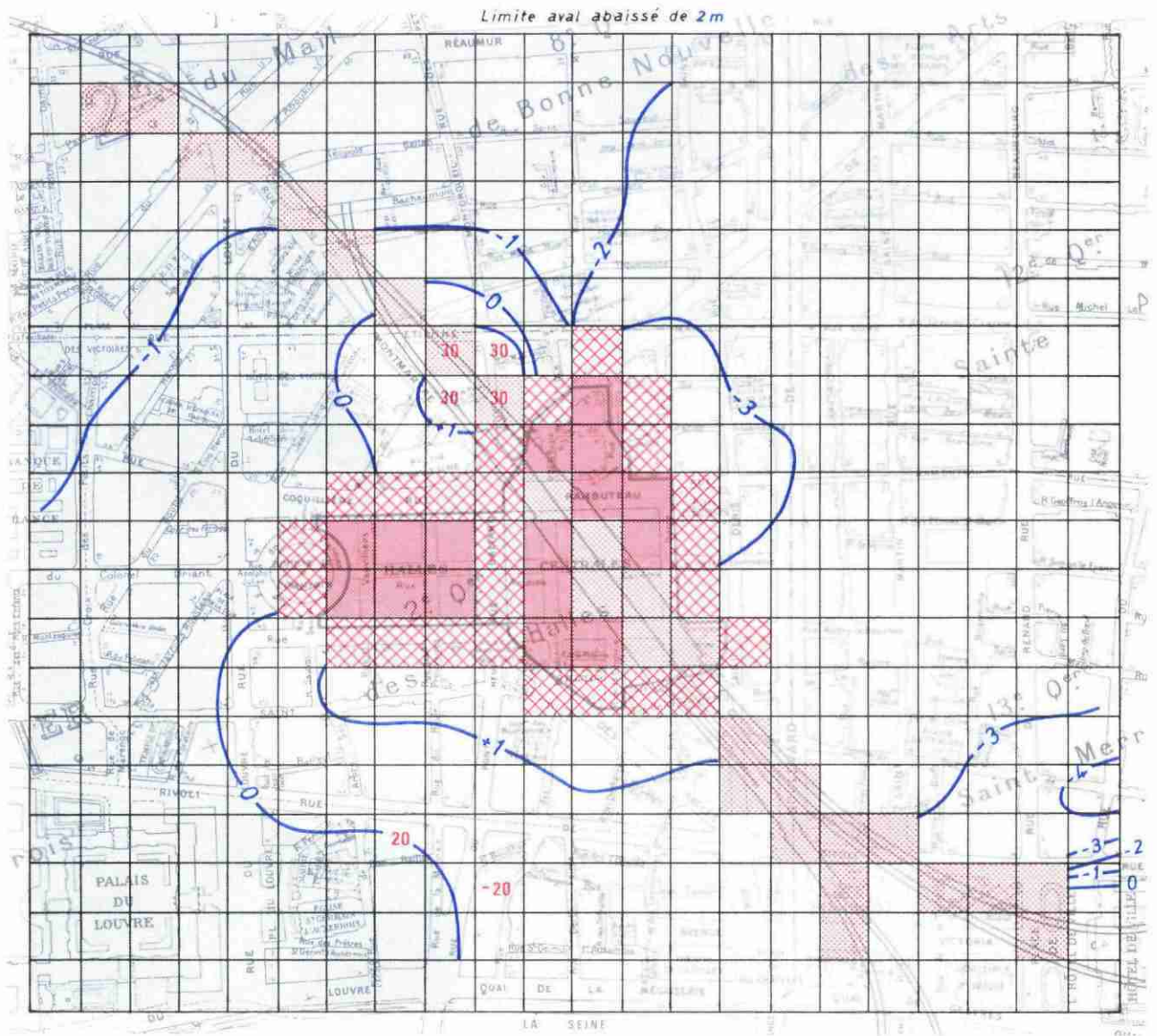
Le Calcaire grossier est dénoyé sous le radier ; le niveau d'eau dans ce réservoir étant sensiblement le même que celui des Sables cuisiniens. Les niveaux d'eau dans les Sables cuisiniens se sont abaissés et la limite nord continue à alimenter bien qu'elle ait été baissée de 2 m.

- les cartes FG1 et FG2 présentent les variations de niveaux d'eau dans les deux réservoirs. FG1 au Calcaire grossier montre bien l'influence du barrage hydraulique, variation positive + 1 m à l'amont, variation négative -3 m à l'aval.

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

**Modèle mathématique de simulation des écoulements,
multicouche, en régime permanent**

Influence conjuguée du radier SEMAH, du RER, de la climatisation
et de la baisse des nappes (Calcaire grossier)



Variation positive }
" négative } Courbe d'isovariation de niveau en m

-20

Débits prélevés ou apportés (en 0,1l/s)



Parois étanches



RER

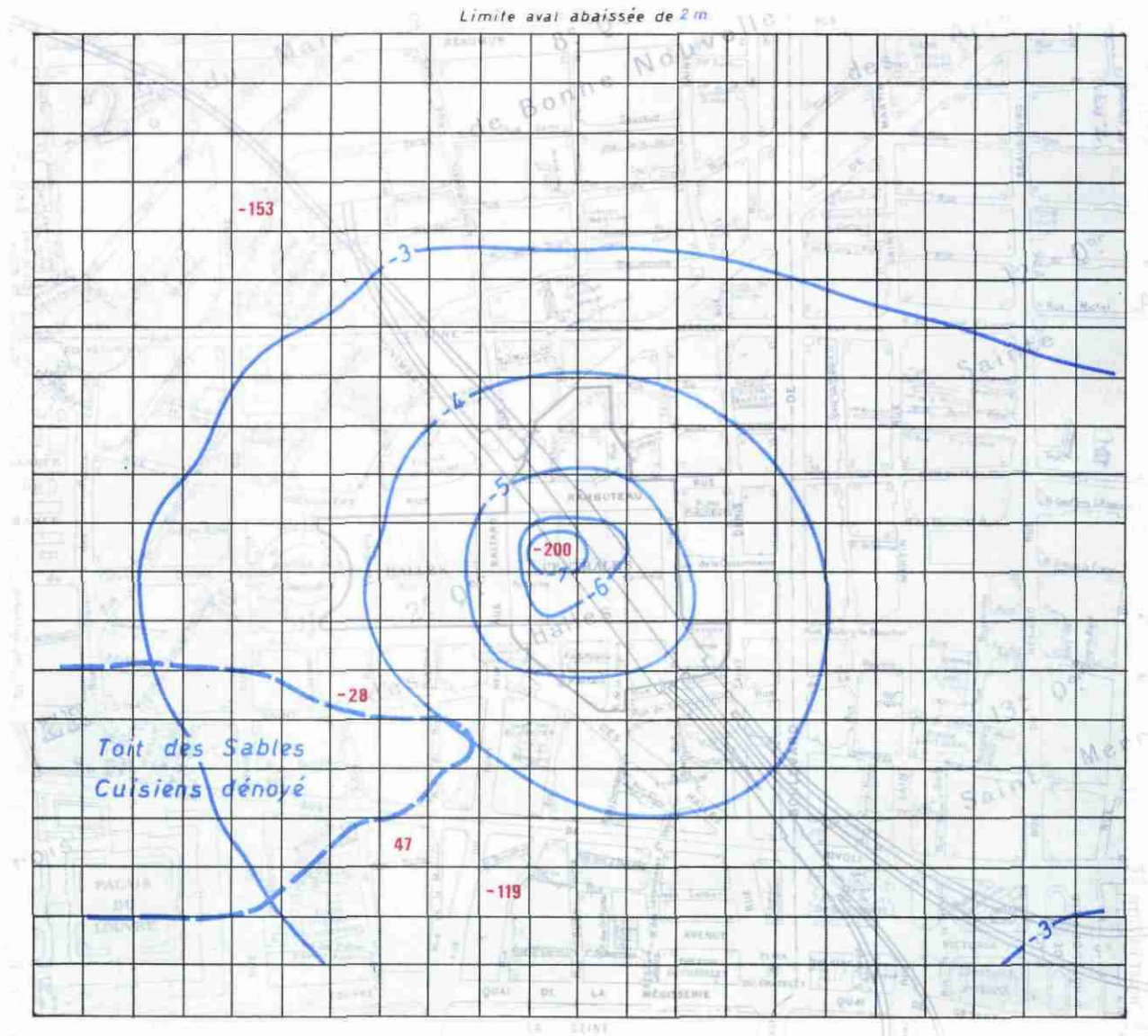


Radier SEMAH

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements, multicouche, en régime permanent

Influence conjuguée du radier SEMAH, du RER, de la climatisation
et de la baisse des nappes (Sables cuisiens)



Variation négative - Courbes d'isovariation de niveau en m

-119

Débits prélevés ou apportés (en 0.1 l/s)

FG2 aux Sables cuiens figure l'allure du cône de dépression créé par le pompage (dépression maximale 7,7 m). Cette carte montre de plus que, dans le secteur SW, le toit des Sables cuiens est dénoyé avec tous les inconvénients que cela peut entraîner dans leur comportement hydrodynamique et géotechnique.

323. Augmentation des pompages

Au pompage pour la climatisation et à la baisse des nappes a été conjuguée par augmentation des pompages. Les prélèvements voisins ont été doublés par rapport à leur état actuel.

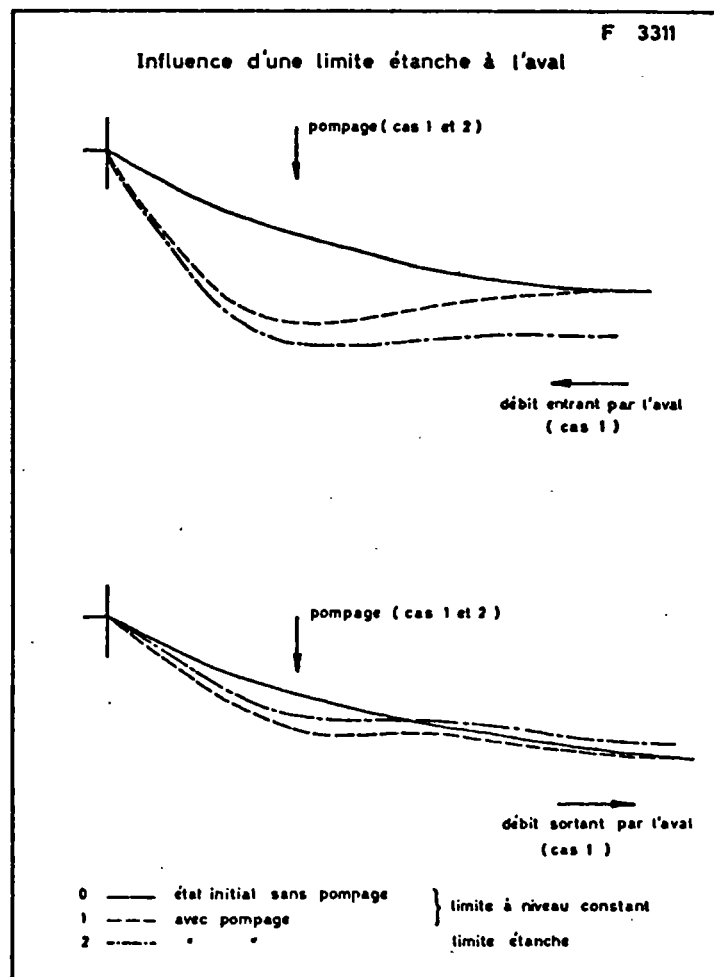
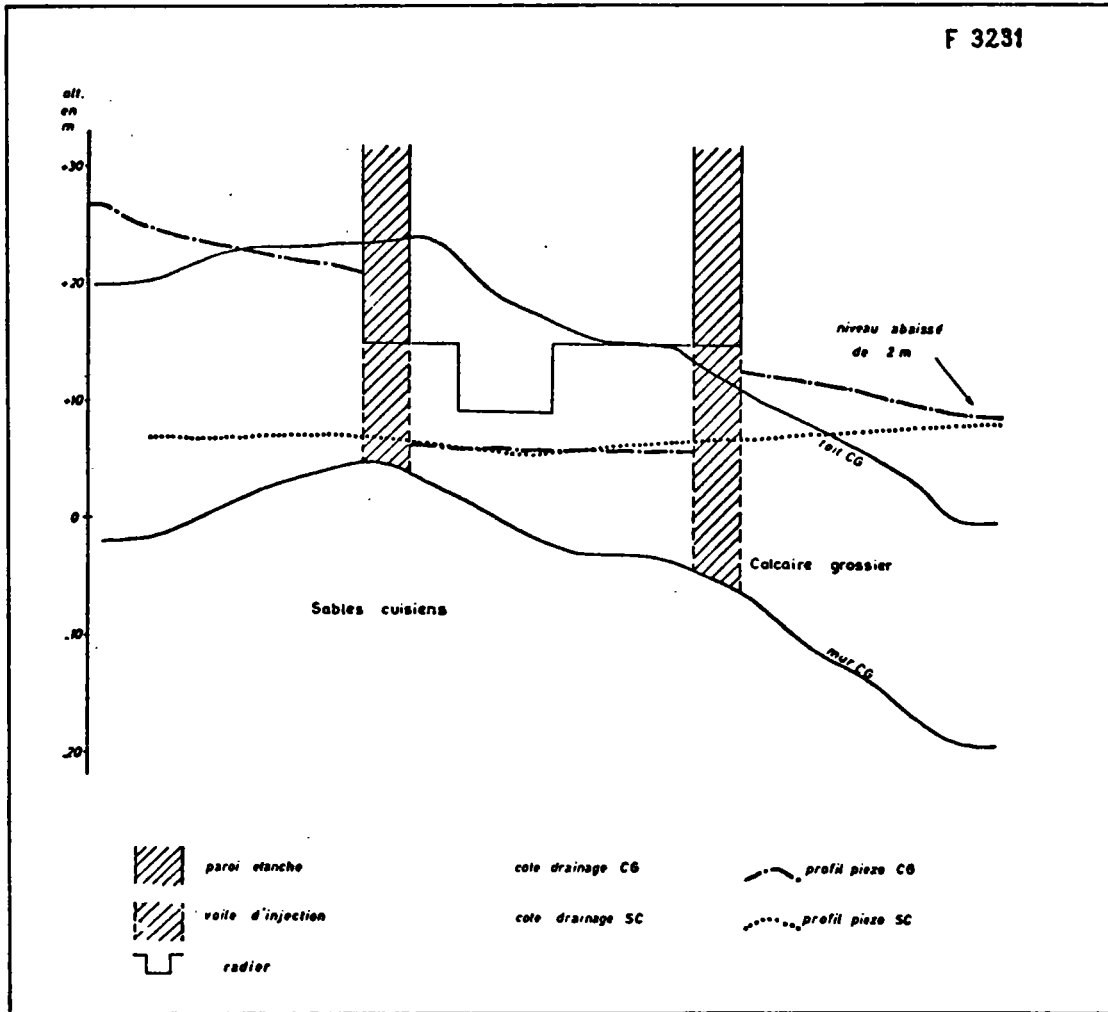
Dans cette hypothèse, les effets sur les niveaux sont très importants.

- le graphique F 3231 montre l'allure des profils piézométriques dans les deux réservoirs. L'alimentation par l'aval dans les Sables cuiens est nette, ce qui n'est pas réaliste : cette limite aurait pu être abaissée encore.
- les cartes FH1 et FH2 montrent les variations de niveau d'eau engendrées dans une telle hypothèse. La plus significative est celle des Sables cuiens dans laquelle on peut noter les cônes créés par les pompages (supérieur à 9 m de rabattement sous le radier), la zone où le toit du réservoir est dénoyé.

Ces exploitations, malgré leurs imperfections dues à la mise à niveau constant de la limite aval, montrent qu'il n'est pas souhaitable, sous peine d'engendrer de graves rabattements dans le niveau d'eau, de prévoir la climatisation de l'aménagement du secteur des Halles à l'aide de l'eau des réservoirs aquifères.

33. Limite étanche à l'aval

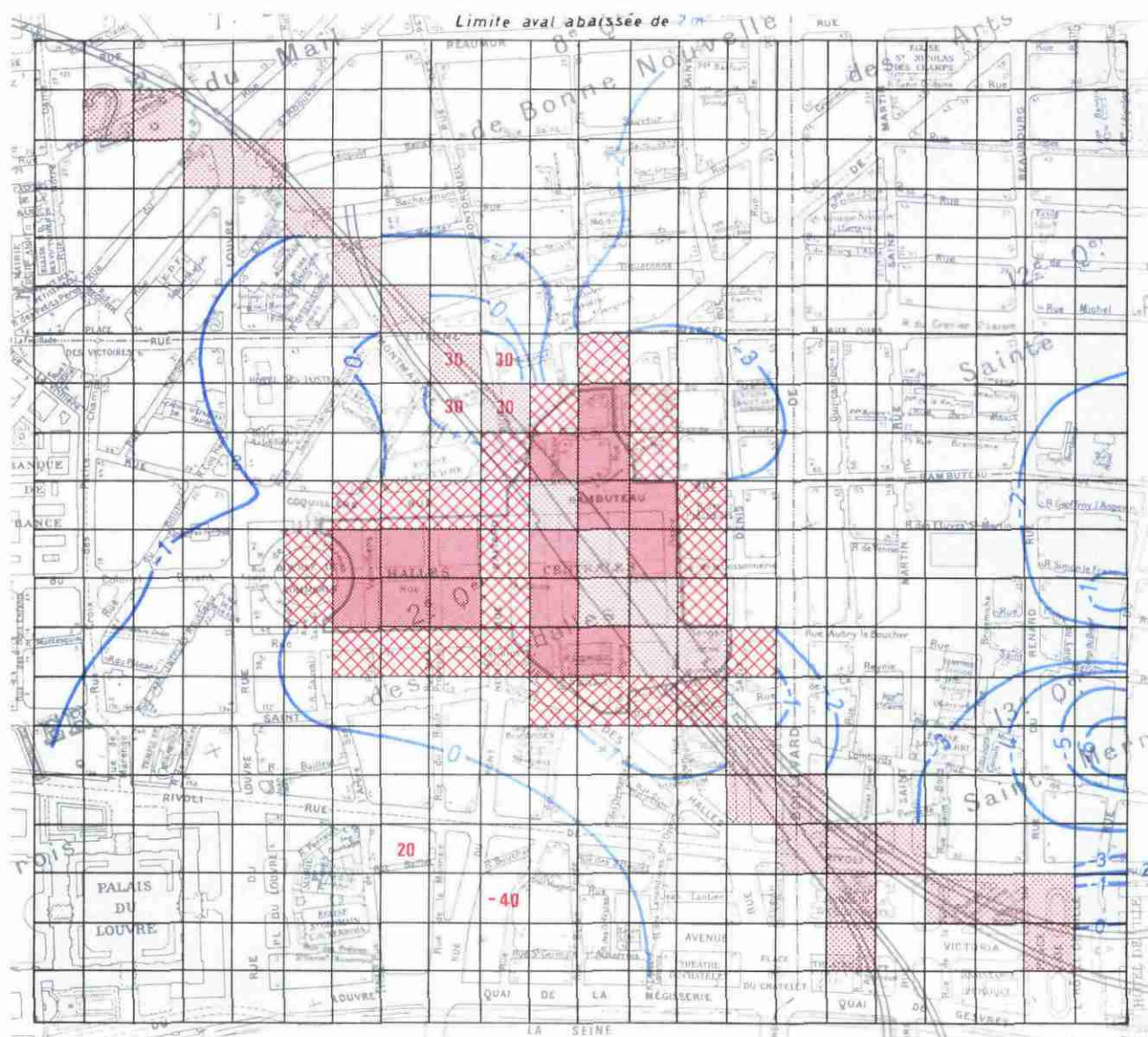
Nous avons vu que les exploitations du modèle se heurtent aux difficultés nées de la schématisation de la limite aval en limite à niveau constant. Dans le but de se rendre compte de l'influence d'un tel facteur, nous avons effectué, en plus des passages prévus, deux exploitations dans lesquelles cette limite aval était traitée en limite étanche au niveau des Sables cuiens. Le schéma (fig.F 3311) présente les différents effets théoriques possibles d'une limite étanche sur la piézométrie.



ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements, multicouche, en régime permanent

Influence conjuguée du radier SEMAH, du RER, de la climatisation
de la baisse des nappes et de l'augmentation des pompages
(Calcaire grossier)



Variation positive

" négative

} Courbes d'isovariation de niveau en m

-20

Débits prélevés ou apportés (en 0.1l/s)



Parois étanches



RER

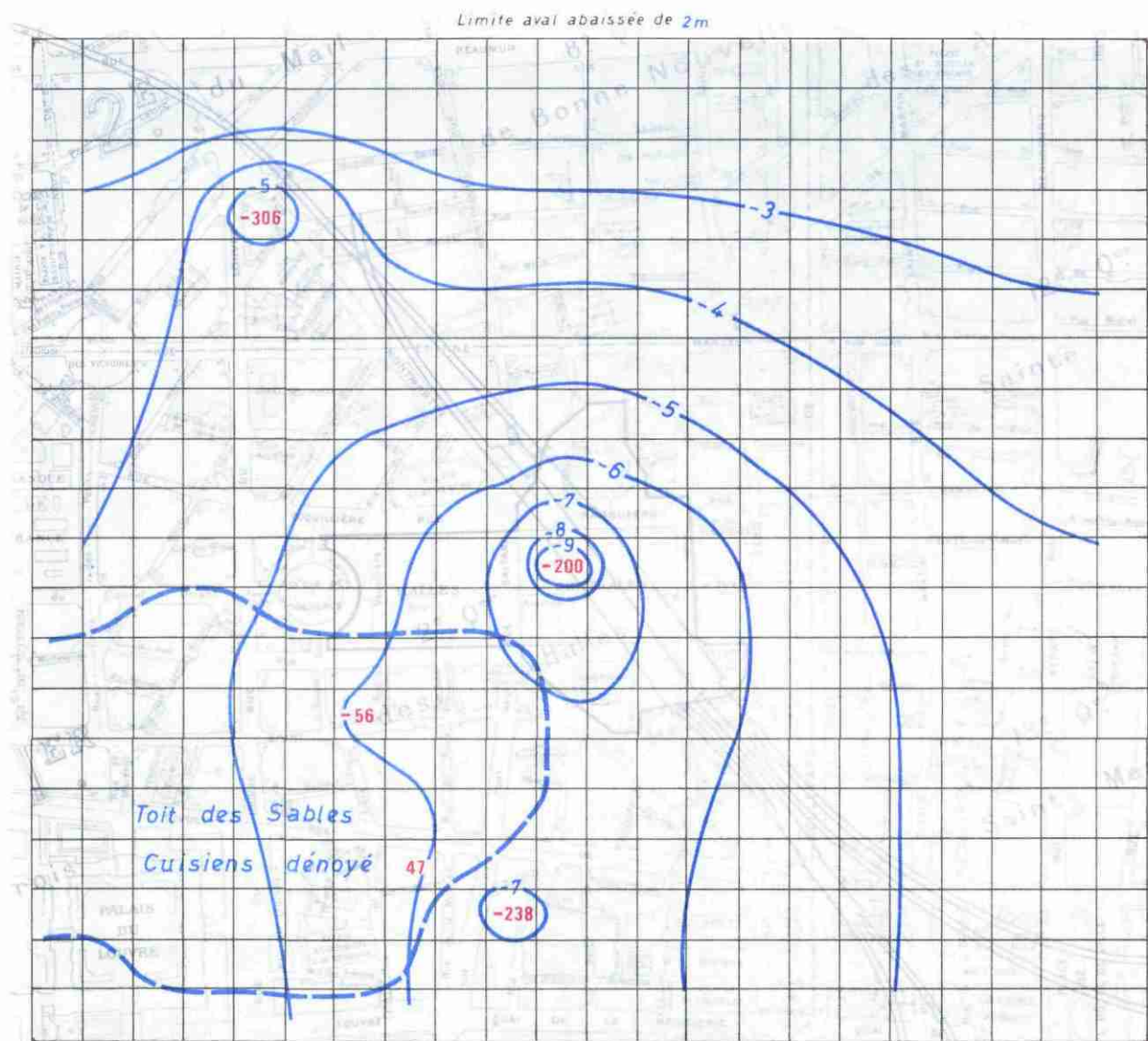


Radier SEMAH

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements, multicouche, en régime permanent

Influence conjuguée du radier SEMAH, du RER, de la climatisation,
de la baisse des nappes et de l'augmentation des pompages
(Sables cuisiers)

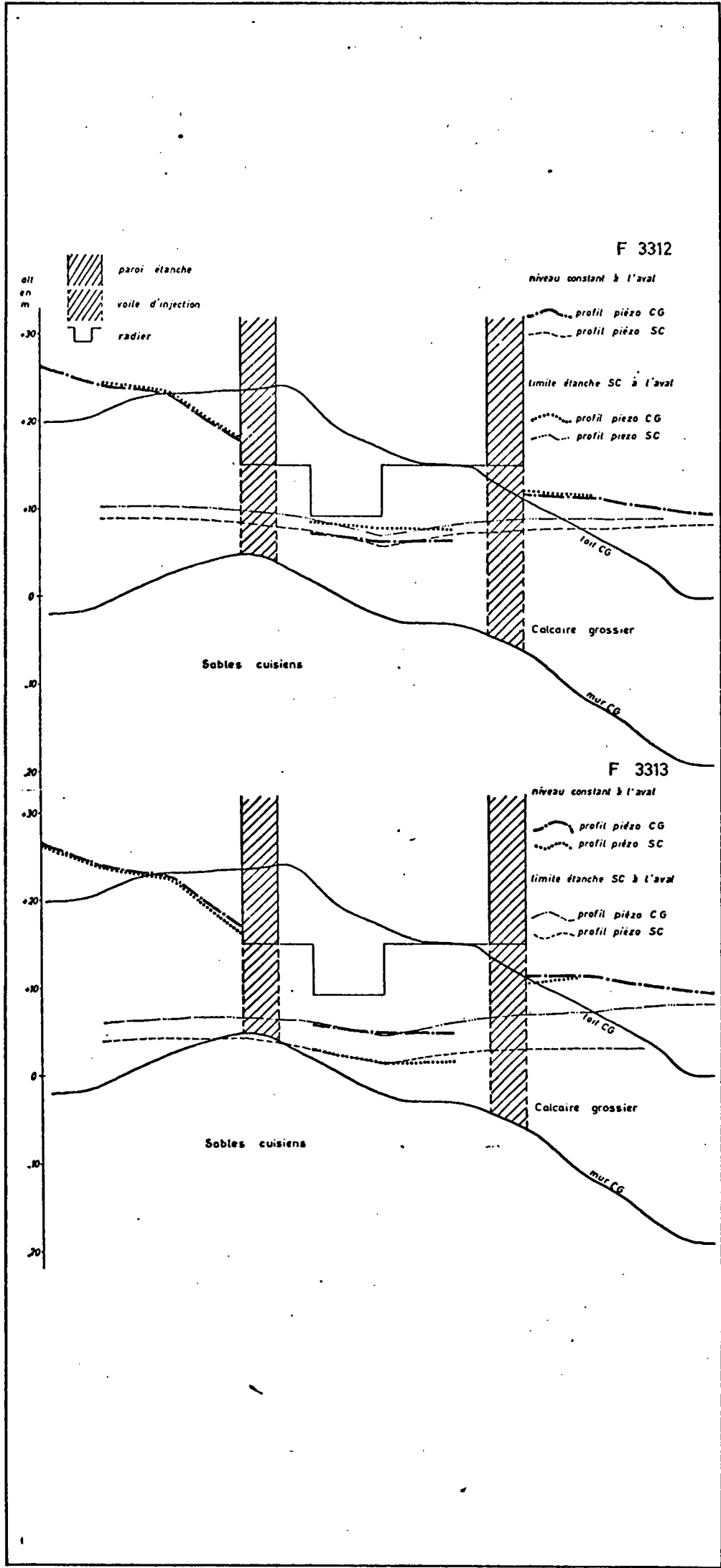


-3

Variation négative - Courbes d'isovariation de niveau en m

-200

Débits prélevés ou apportés (en $0.11/s$)



Cette modification peut avoir deux effets :

Si la limite à niveau constant aval alimente le domaine son remplacement par une limite étanche fera baisser les niveaux d'eau.

Si la limite à niveau constant aval sert d'exutoire , son remplacement par une limite étanche fera monter les niveaux d'eau.

Ces deux exploitations supplémentaires ont été effectuées dans les conditions suivantes :

- la limite aval du réservoir des Sables cuisisiens a été traitée en limite étanche, par contre celle du Calcaire grossier a été gardée en limite à niveau constant. En effet, le profil piézométrique et les bilans par maille montraient que, dans le cas du Calcaire grossier, le modèle alimentait la limite aval.
- la première exploitation est analogue à celle traitée au chapitre 322 : simulation du pompage de 20 l/s aux Sables cuisisiens destiné à la climatisation et de la baisse des nappes.
- la deuxième exploitation est analogue à celle traitée au chapitre 323 : conjugaison des effets du pompage de 20 l/s aux Sables cuisisiens, de la baisse des nappes et de l'augmentation des pompages.

Les graphiques F 3312 et 3313 montrent les différences d'allure des profils piézométriques et permet d'estimer l'influence d'une schématisation de la limite aval en limite étanche;

- F. 3312 . - l'exploitation traitée au chapitre 322 mettait en évidence l'existence d'un débit global faible mais sortant du modèle à travers la limite à niveau constant aval ; l'imposition d'une limite étanche dans le réservoir sableux a fait monter les niveaux d'eau.
- F. 3313 . - l'exploitation traitée au chapitre 323 mettait en évidence l'existence d'un débit global entrant dans le modèle à travers la limite à niveau constant aval ; l'imposition d'une limite étanche dans le réservoir sableux a fait descendre les niveaux d'eau. La baisse peut être importante à proximité de cette limite.

34. Conclusions sur les exploitations du modèle permanent BRGM-MOBIL

La réalisation du modèle de simulation des écoulements, en régime permanent, du système multicouche du secteur des Halles a permis de :

341. - représenter les écoulements dans les deux réservoirs du Calcaire grossier et des Sables cuisiers, c'est-à-dire de reproduire l'allure des surfaces piézométriques de la nappe dans ces deux réservoirs. Il faut rappeler ici que les hypothèses de travail ont été les suivantes:

- + les deux réservoirs sont séparés par une couche de transition de faible perméabilité verticale
- + seul le Calcaire grossier est directement influencé par le niveau de la Seine, les Sables cuisiers sont alimentés par drainage leur limite amont étant traitée en limite étanche ce qui veut dire que l'on admet qu'il n'y a aucun échange donc aucune alimentation en provenance de la rive gauche de la Seine.
- + la limite aval de ces deux réservoirs, situés à l'aplomb de la rue Réaumur est traitée en limite à niveau constant.
- + les surfaces piézométriques observées, et spécialement celle des Sables cuisiers, sont des surfaces piézométriques moyennes. En effet, les niveaux d'eau varient sous l'action des pompages quotidiens et des arrêts durant les week-ends.
- + les caractéristiques hydrodynamiques (transmissivités, perméabilités verticales) ont été obtenues par interpolation entre des valeurs ponctuelles mesurées, et ajustées ensuite par réglage, en tenant compte de l'ensemble des mesures effectuées sur les nappes.
- + les débits extraits ou apportés par les forages sont supposés permanents, alors que ces pompages fonctionnent tous de manière épisodique.

342.- à la suite du calage de ce modèle, deux principaux types d'exploitation ont été effectués :

3421. + influence de la création et de l'assèchement de la fouille. Trois cas ont été traités (fouille en étiage, fouille en crue avec voile d'injection partiellement étanche.)

Ces exploitations ont permis de se rendre compte de l'effet de barrage hydraulique créé par la paroi étanche ; les niveaux d'eau dans le Calcaire grossier montent au Sud et l'Est, descendent au Nord-Est.

Les débits d'exhaure nécessaires pour l'assèchement de la fouille sont faibles pour un ouvrage de cette importance. Cependant on doit noter que le fait d'avoir supposé la limite nord à niveau constant introduit une approximation plus ou moins réaliste suivant les cas.

Ainsi les débits calculés en étiage (5 l/s) sont des valeurs maximales des débits réels.

Au contraire, en période de hautes eaux, les débits risquent d'être déterminés par défaut. Mais il nous est possible de calculer une valeur manifestement par excès en supposant que tous les niveaux des nappes subissent une ascension égale à celle du niveau du fleuve.

Ainsi les débits en hautes eaux seront compris entre les valeurs suivantes :

	Q mini	Q maxi	
		si crue + 2,5 m	si crue + 5 m
Parois étanches	10 l/s	15 l/s	20 l/s
Parois semi-étanches	20 l/s	30 l/s	40 l/s

Les débits d'exhaure restent dans tous les cas inférieurs à 40 l/s soit 150 m³/h. Cette valeur peut être affectée d'un coefficient tenant compte de l'imprécision des paramètres et notamment de la perméabilité verticale moyenne. Et l'on pourra considérer 200 à 300 m³/h comme le débit maximal à pomper.

3422. + influence d'un pompage aux Sables cuiisiens. Trois cas ont été traités (pompage seul, pompage avec baisse de nappe de 2 m, pompage avec baisse de nappe et augmentation des pompages voisins). Dans ces simulations, le radier S.E.M.A.H. et les lignes R.E.R. étaient exécutés.

Ces simulations ont permis de mettre en évidence l'effet de barrage hydraulique créé par l'ensemble des aménagements, notamment dans le secteur SE où le métro sera entièrement construit dans le Calcaire grossier. L'influence d'un pompage de 20 l/s aux Sables cuiisiens est très important, il entraîne de forts rabattements. Même dans le cas favorable de la limite aval à niveau constant, il apparaît que dans le secteur SW le toit des Sables cuiisiens est dénoyé. Dans la dernière simulation, la partie où se produit le dénoyage atteint la zone située sous le radier. Cette zone est encore plus étendue dans le cas où la limite aval est traitée en limite étanche. Les inconvénients que peut causer le dénoyage ne sont pas à mésestimer. En effet, par suite de l'allure structurale des couches, le secteur SW serait d'abord affecté ce qui pourrait créer des tassements différentiels suivant les zones et modifier les caractéristiques du Calcaire grossier.

Il faudrait, en conséquence :

- éviter d'effectuer des pompages supplémentaires au niveau des Sables cuiisiens à l'intérieur et à l'extérieur de la fouille.
- s'assurer, dans l'avenir, d'une conservation des niveaux d'eau existants (réglementation des pompages, surveillance piézométrique).

SIMULATIONS EFFECTUEES

Chapitre du rapport	MODELE			B.R.G.M.	régime permanent (MOBIL)			
	Influence de la fouille			Effets de pompage après réalisation des travaux				
	F 311	F 312	F 313	F 321	F 322	F 323	F 33	F 33
Objet de la simulation	Influence de la fouille en période d'étiage	Influence de la fouille en période de crue	Influence de la fouille en période de crue, le voile d'injection partiellement étanche	Effet de prélèvements éventuels pour climatisation	Effets conjugués des prélèvements pour climatisation et de la baisse des nappes	Effets conjugués des prélèvements pour climatisation, de la baisse des nappes et de l'augmentation des pompages voisins	Effet de prélèvements éventuels pour climatisation	Effets conjugués des prélèvements pour climatisation, de la baisse des nappes et de l'augmentation des pompages voisins
Niveaux de la Seine	+ 26,40	+ 31,40	+ 31,40	+ 26,40	+ 26,40	+ 26,40	+ 26,40	+ 26,40
Nature limite aval	niveau constant	niveau constant	niveau constant	niveau constant	niveau constant	niveau constant	niveau constant	niveau constant
Niveau limite aval	piézo actuelle CG. + 11 env. SC. + 10 env.	piézo actuelle CG + 11 env. SC + 10 env.	piézo actuelle CG. + 11 env. SC. + 10 env.	piézo actuelle CG. + 11 env. SC. + 10 env.	piézo estimée CG. + 9 env. SC. + 8 env.	piézo estimée CG. + 9 env. SC. + 8 env.	piézo estimée CG. + 9 env.	piézo estimée CG. + 9 env.
Cote de drainage sous les ouvrages (limite sup.)	CG. + 9,5 sous RER + 15 sous SEMAH SC. + 11 à 18 sous RER	CG. + 9,5 sous RER + 15 sous SEMAH SC. + 11 à 18 sous RER	CG. + 9,5 sous RER + 15 sous SEMAH SC + 11 à 18 sous RER	néant	néant	néant	néant	néant
Débit des pompages voisins	47 l/s	47 l/s	47 l/s	47 l/s	47 l/s	94 l/s	47 l/s	94 l/s
Débit pour climatisation	0	0	0	20 l/s aux SC	20 l/s aux SC	20 l/s aux SC	20 l/s aux SC	20 l/s aux SC
Radier SEMAH et ligne RER construits	non	non	non	oui	oui	oui	oui	oui
Voile d'injection dans CG	étanche	étanche	perméable	étanche	étanche	étanche	étanche	étanche
Débites d'exhaure calculés et estimés	5 à 10 l/s	10 à 30 l/s	20 à 60 l/s	néant	néant	néant	néant	néant
Graphiques et cartes du rapport	F 3111 et 12 FC 1 et 2	F 3121 et 22 FD 1 et 2	F 3131 et 32 FE 1 et 2	F 3211 FF 1 et 2	F 3221 FG 1 et 2	F 3231 FH 1 et 2	F 3312	F 3313

F.4.- Modèle transitoire des Mines (SAMMIR)

Les exploitations du modèle transitoire ont été effectuées par le laboratoire d'hydrogéologie mathématique de l'Ecole nationale supérieure des Mines de Paris, à Fontainebleau. Elles ont porté sur trois groupes de simulations :

- le premier groupe comprend :
 - + régime permanent - simulation des écoulements, installations réalisées (S.E.M.A.H. - R.E.R.), pompages actuels (F411 P)
 - + régime transitoire - effet sur la piézométrie d'une crue de la Seine équivalente à celle de 1910. Les cotes de drainage prévues n'ayant pas été atteintes, il a été décidé d'effectuer un deuxième groupe d'essai (F412 T)
- le deuxième groupe comprend :
 - + régime permanent - simulation des écoulements, installations réalisées (S.E.M.A.H.-R.E.R.) mais pompages actuels arrêtés (F421 P)
 - + à partir de ce régime permanent, effet en régime transitoire sur la piézométrie d'une crue de la Seine équivalente à celle de 1910. Les cotes de drainage ont été atteintes (F422 T)
 - + réalisation d'une simulation en transitoire avec drainage, détermination des débits drainés (F 423 T)
- le troisième groupe comprend :
 - + régime permanent - simulation des écoulements, installations réalisées (S.E.M.A.H.-R.E.R.), pompages actuels arrêtés et voile d'injection dans le Calcaire grossier partiellement étanche sans drainage. Cette simulation montre que les cotes prévues de drainage seraient atteintes (F431 P)
 - + à partir de ce régime permanent, effet en régime transitoire sur la piézométrie d'une crue de la Seine équivalente à celle de 1910 (F432 T).

+ régime permanent - simulation des écoulements, installations réalisées (S.E.M.A.H.-R.E.R.), pompages actuels arrêtés, voile d'injection dans le Calcaire grossier partiellement étanche et cotes de drainage affichées. Détermination des débits drainés (F433 P)

+ à partir de ce régime permanent, effet en régime transitoire sur la piézométrie et les débits drainés d'une crue de la Seine équivalente à celle de 1910 (F434 T).

L'historique des niveaux d'eau au pont d'Austerlitz durant une crue équivalente à celle de 1910 nous a été fourni par COYNE et BELLIER, le graphique F 4010 montre la crue constatée, l'effet des aménagements amont du bassin de la Seine, l'hydrogramme simplifié proposé et l'historique des phases imposées au modèle.

41. Premier groupe de simulations

Dans ce groupe de simulations, nous rappelons que les conditions sont les suivantes :

- les débits actuellement pompés ou injectés sont conservés.
- le radier S.E.M.A.H. et les lignes R.E.R. sont réalisés.

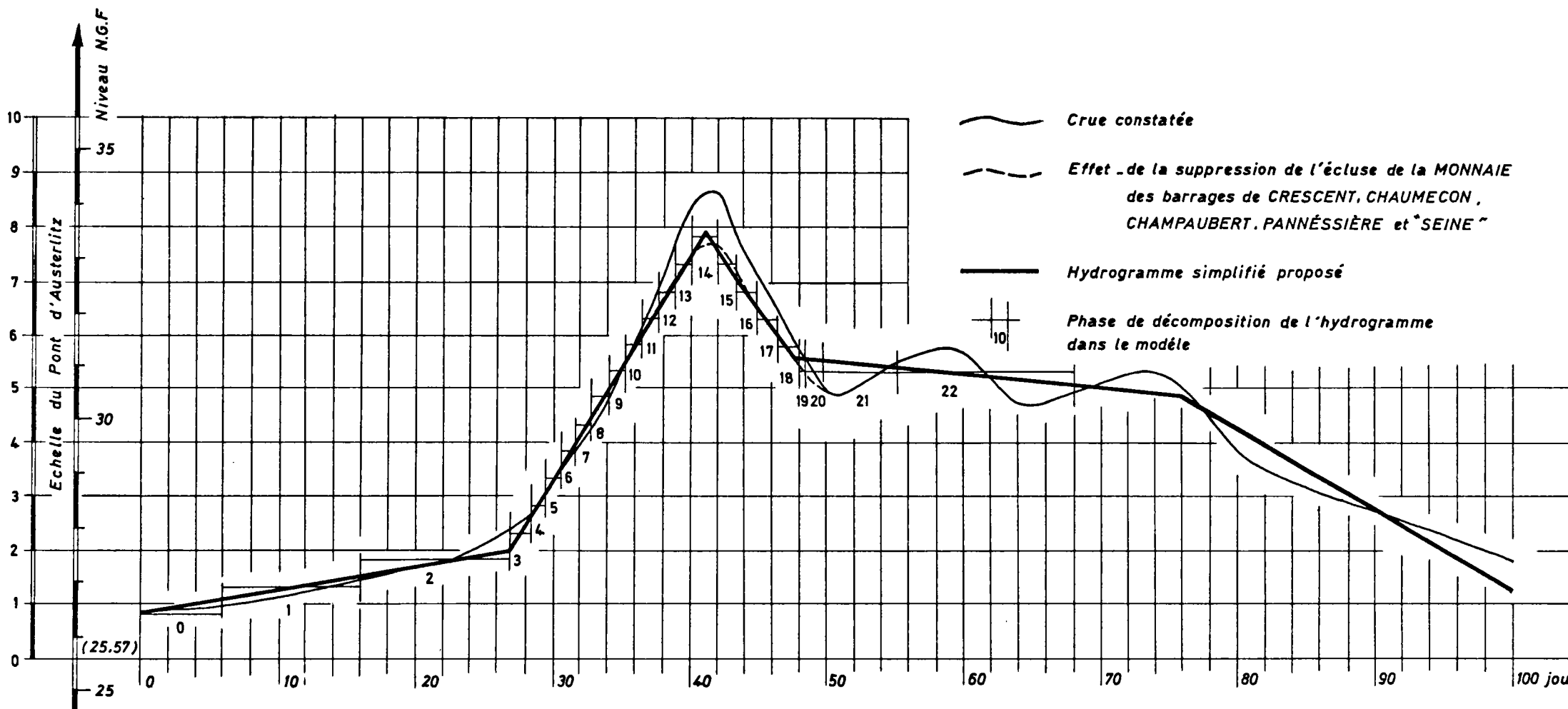
411. Etablissement du régime permanent

Dans tous les groupes de simulations, il est nécessaire de faire débiter le régime transitoire à partir d'un état de nappe stabilisé, c'est pourquoi chaque calcul en transitoire est précédé d'un calcul en permanent. Dans le cas présent, nous ne présentons pas de carte concernant ce passage ; notons simplement que l'allure des courbes isopièzes fait ressortir l'action de barrage hydraulique créé par l'ensemble S.E.M.A.H. et R.E.R., notamment au niveau du Calcaire grossier dans le quart sud-est du domaine étudié.

412. Influence d'une crue transitoire (F 412 T)

A partir de cet état permanent considéré comme phase 0, le modèle SAMMIR prend en charge l'historique de la crue analogue à celle

PARIS - Pont d'Austerlitz - CRUE de 1910



de 1910. Il calcule de proche en proche les variations piézométriques engendrées dans les réservoirs par les variations des niveaux de la Seine.

Le graphique F4121 présente les niveaux d'eau calculés en fonction du temps dans quatre mailles choisies de la façon suivante :

- réservoir calcaire :
 - + maille située à l'amont immédiat de la paroi étanche
 - + maille située à l'aval immédiat de la paroi étanche
 - + maille située sous le radier S.E.M.A.H.
- réservoir sableux - maille située sous le radier R.E.R.

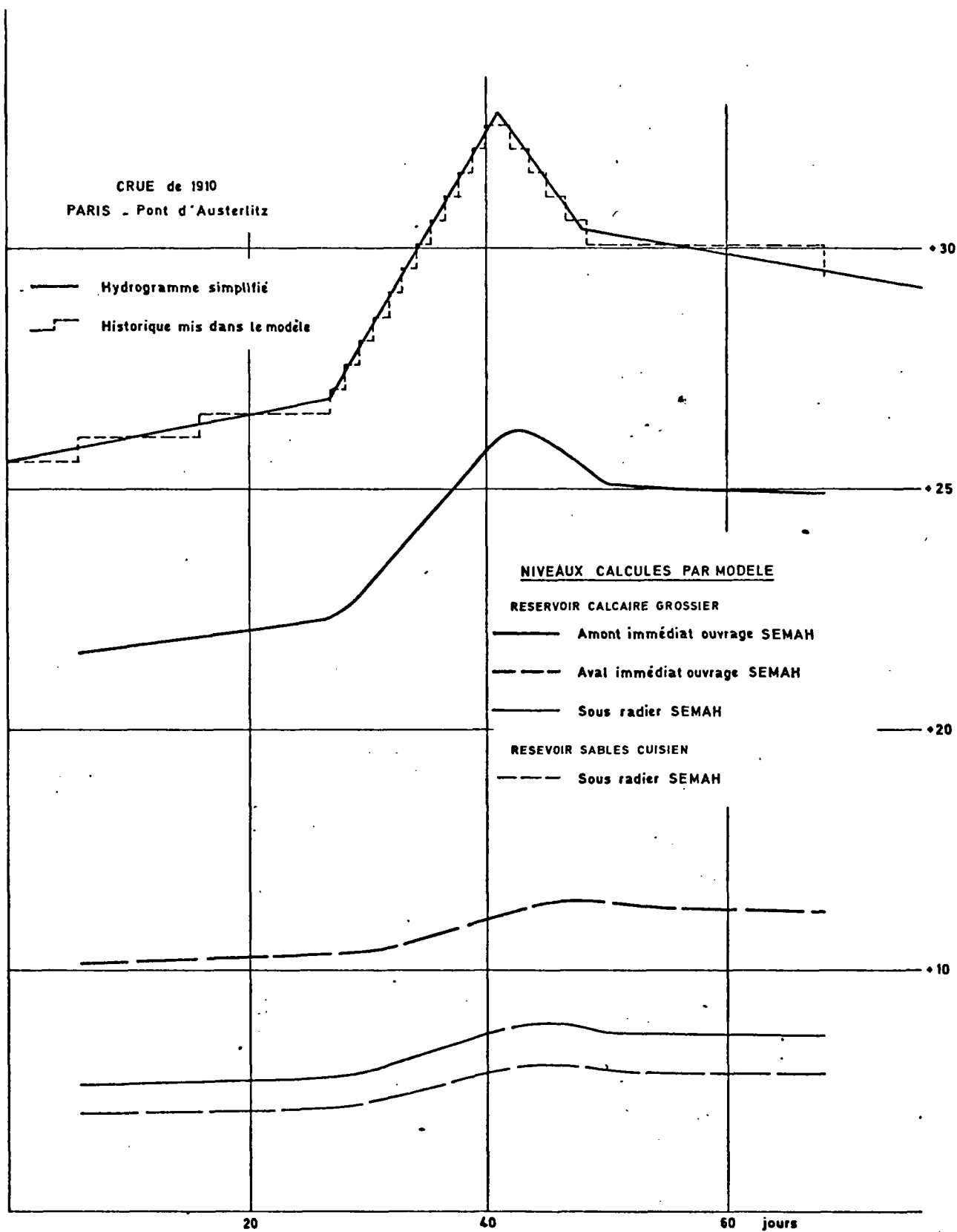
L'observation de ce graphique montre que :

- sous le radier R.E.R. les cotes de drainage envisagées ne sont pas atteintes. Rappelons qu'elles sont dans le Calcaire grossier + 15 à + 19 sous radier S.E.M.A.H., + 17 sous radier R.E.R., dans les Sables cuisiens + 24 à + 29 sous R.E.R.
- les variations de niveau d'eau sont quasiment en phase avec celles du niveau de la Seine (maximum de la Seine entre 40 et 42 jours depuis l'instant 0 - maximum de la crue dans les réservoirs entre 42 et 48 jours suivant l'éloignement du fleuve).

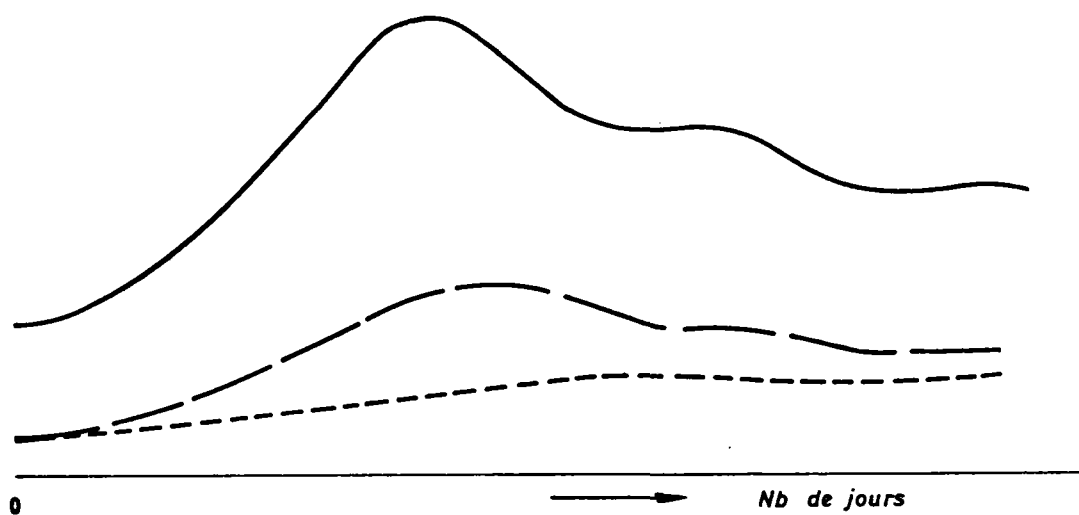
La deuxième observation appelle l'explication complémentaire suivante :

La comparaison de la propagation et de l'intensité de la crue dans les réservoirs calculées par le modèle SAMMIR et par le modèle en coupe utilisé par GEOHYDRAULIQUE (voir biblio n° 6) est intéressante. En effet, les courbes obtenues par GEOHYDRAULIQUE pour les variations dans les piézomètres sont amorties et ralenties par rapport à celles calculées par le modèle SAMMIR. Les coefficients d'emmagasinement affichés pour le réservoir calcaire dans le modèle SAMMIR sont ceux obtenus à l'occasion des pompages d'essai (voir chapitre C).

Influence du passage d'une crue, ouvrages SEMAH et RER terminés.
Pompages actuels



Influence du coefficient d'emmagasinement sur la courbe
de variation des niveaux d'eau dans les réservoirs



- *Hydrogramme de crue de la Seine*
- - - - - *Variation réservoir faible emmagasinement*
· · · · · *Variation réservoir fort emmagasinement*

Ces pompages d'essai ont été effectués dans le secteur même des Halles, secteur où la nappe est semi captive, mais en bordure de Seine il peut exister des secteurs où la nappe est libre notamment dans le quartier où les alluvions reposent directement sur le Calcaire grossier. L'influence de ces secteurs à nappe libre donc à emmagasinement plus important serait d'amortir et de retarder la propagation de la crue dans les réservoirs. En conséquence, en l'absence de données d'essai chiffrées en bordure de Seine, nous avons affiché celles obtenues au cours des pompages effectués. Ceci va dans le sens de la sécurité. Le graphique F 4122 illustre ce raisonnement.

Les cartes FI1 et FI2 présentent l'allure des surfaces piézométriques calculées au maximum de la crue (45 jours après l'instant 0) dans les deux réservoirs étudiés. On remarquera, à nouveau l'influence nette du barrage hydraulique créé par l'ensemble S.E.M.A.H. et les lignes R.E.R. spécialement au Sud Est. Sous le radier, les cotes de drainage envisagées ne sont pas atteintes.

42. Deuxième groupe de simulations

Les cotes de drainage envisagées n'ayant pas été atteintes dans les conditions imposées il a été décidé d'effectuer un groupe de simulations dans lequel les pompages actuels seraient arrêtés. Pour ce faire, il était nécessaire de repartir d'un état en régime permanent avec pompages arrêtés.

421. Etablissement du régime permanent

Ce passage en régime permanent (F421 P) était destiné à obtenir un état stationnaire, pompages actuels arrêtés. Il faut remarquer ici que cet état correspond sensiblement à celui que l'on pourrait mesurer en fin de week-end ; les remontées des niveaux d'eau sous l'action de l'arrêt des pompages sont, en effet, rapides et générales (transmissivités et coefficient d'emmagasinement faibles).

Les cartes FJ1 et FJ2 présentent l'allure des surfaces piézométriques dans les deux réservoirs dans ces conditions.

422. Influence d'une crue - régime transitoire sans drainage (F422T)

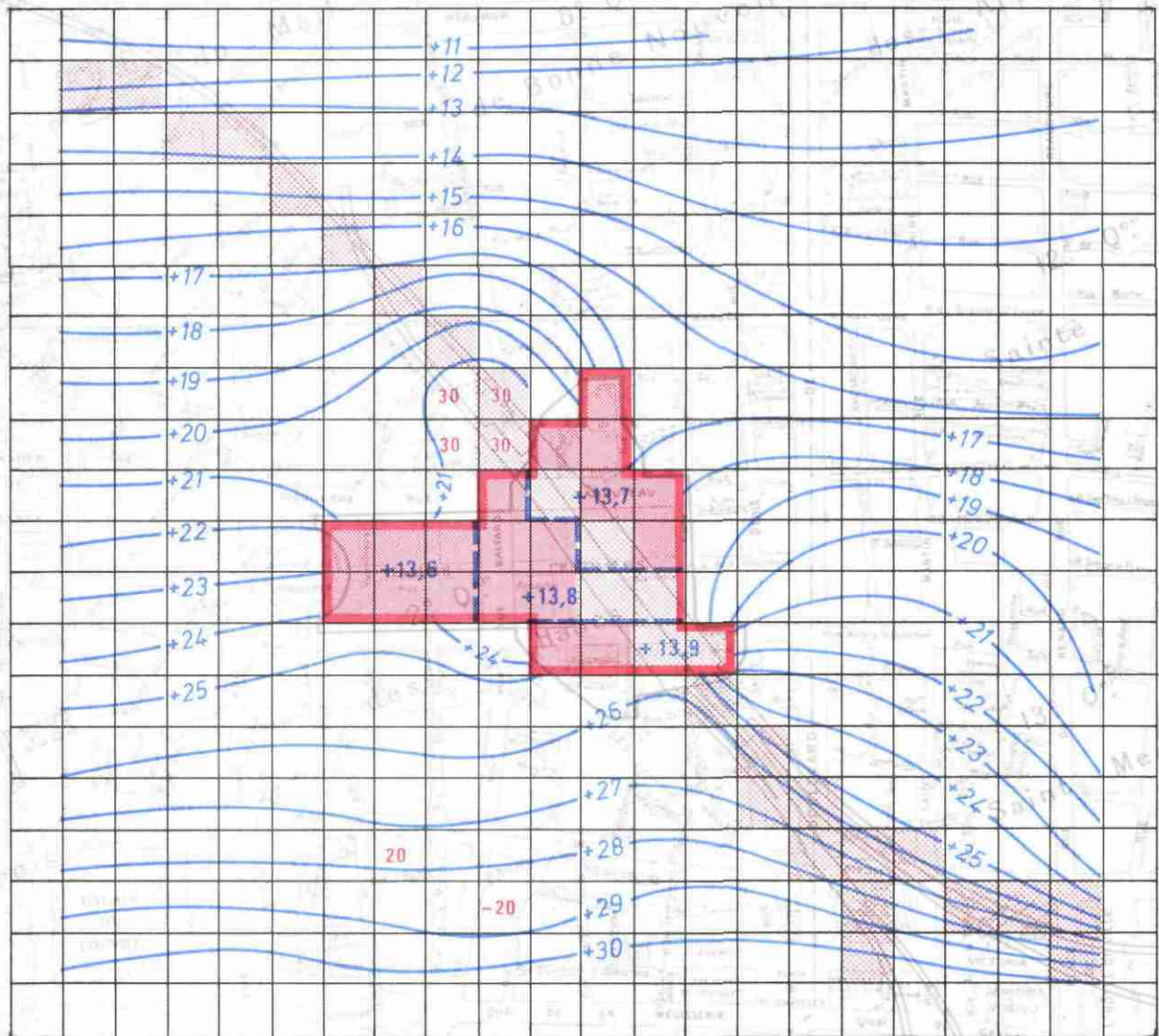
A partir de cet état permanent considéré comme phase 0, ce passage prend en charge l'historique de la crue de la Seine.

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements, multicouche

Influence d'une crue - maximum de la crue - pas de drainage
pompages actuels (Calcaire grossier)

F 412 T



+30

Courbes isopièzes en m

+13,6

Pressions sous le radier ou le RER

- 20

Débits pompes ou apportés (en 0.1 l/s)



Parois étanches



RER



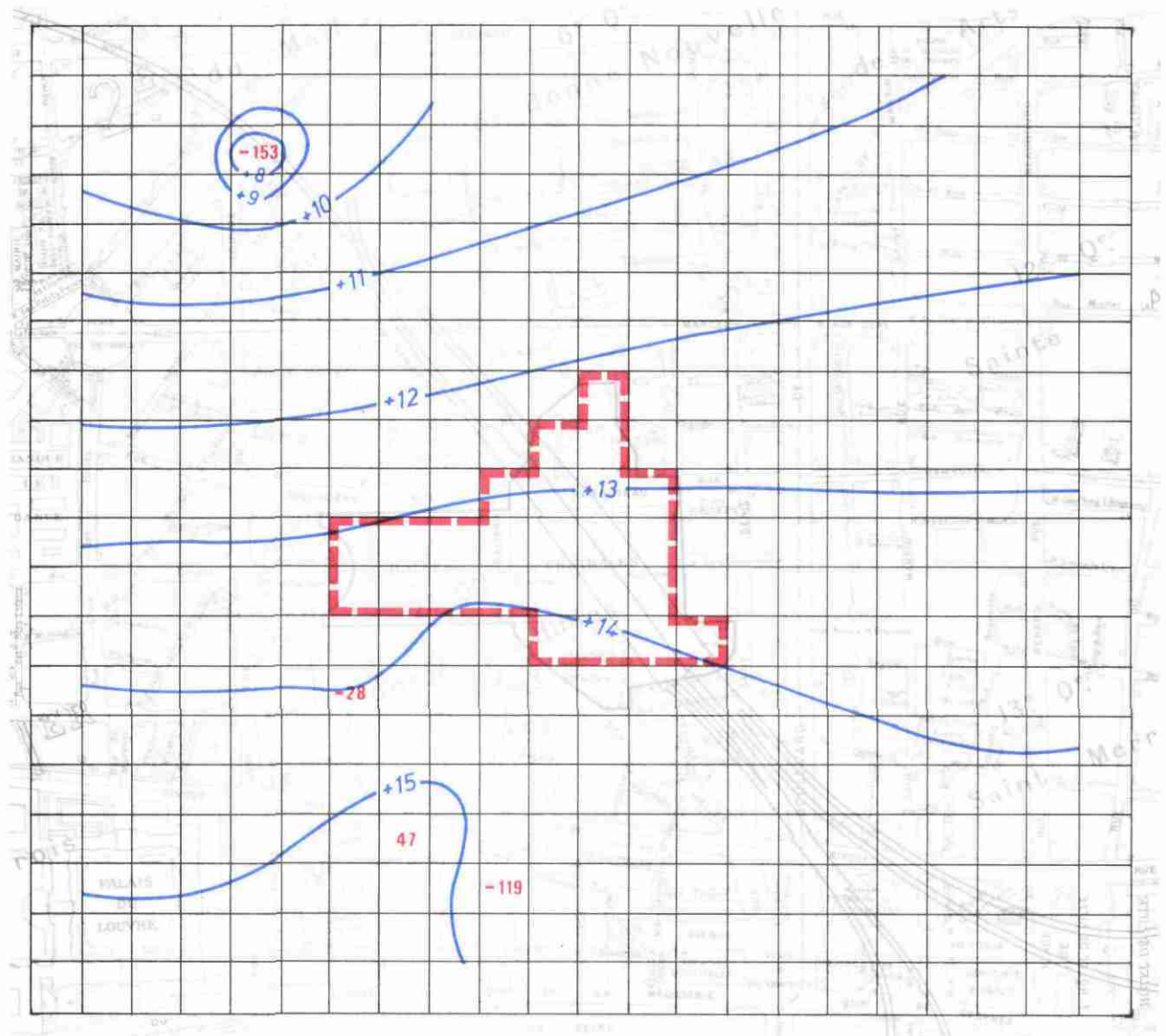
Radier SEMAH

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements, multicouche

Influence d'une crue - maximum de la crue - pas de drainage
pompages actuels (Sables cuisiers)

F 421 T



— +15 —

Courbes isopièzes en m

-119

Débits pompes ou apportés (en 0.1l/s)



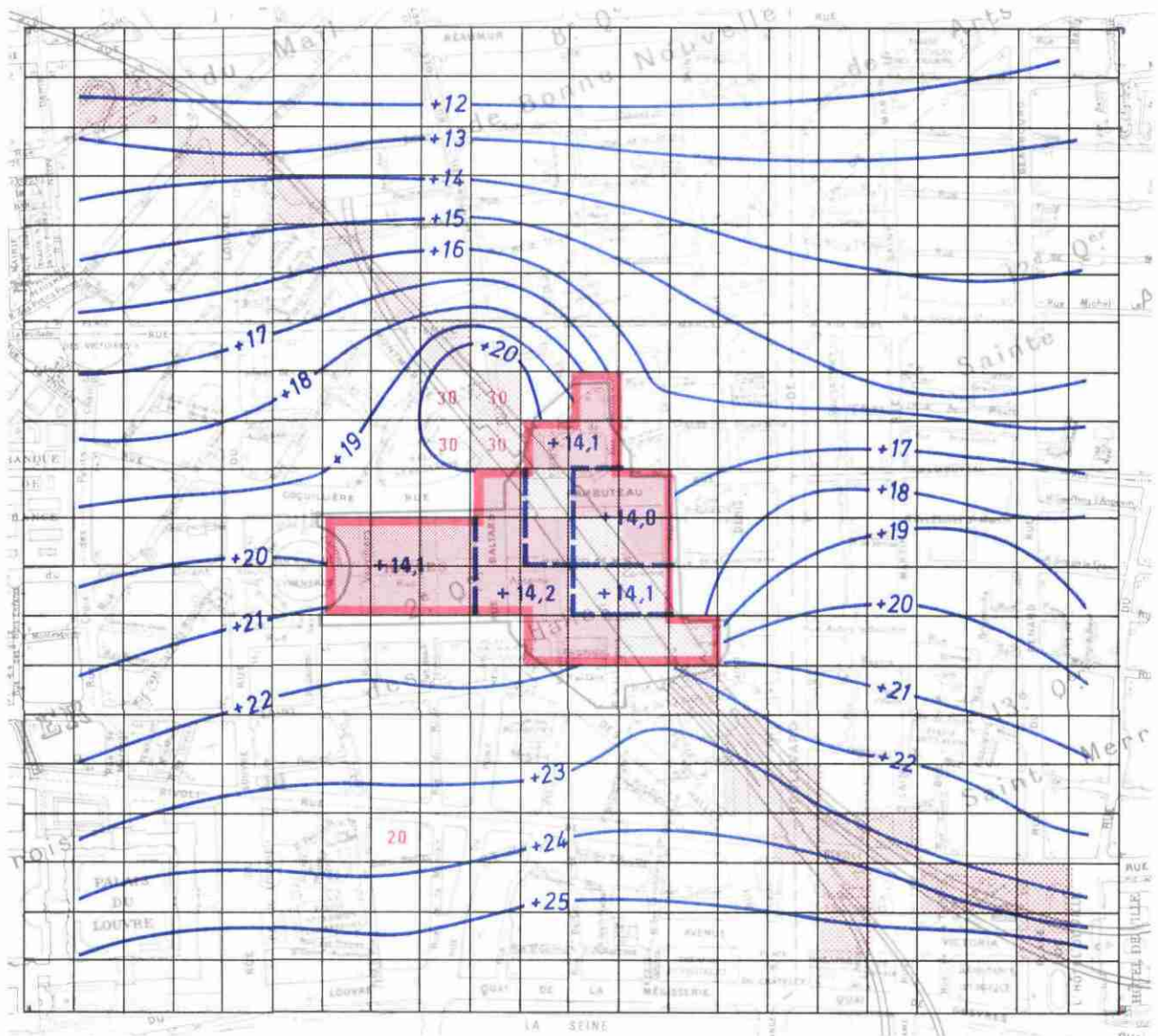
Parois étanches dans le CG

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements, multicouche

Influence arrêt des pompages (Calcaire grossier)

F 421 P



 Courbes isopièzes en m.

 Pression sous le radier

 Débits apportés

 Parois étanches

 RER

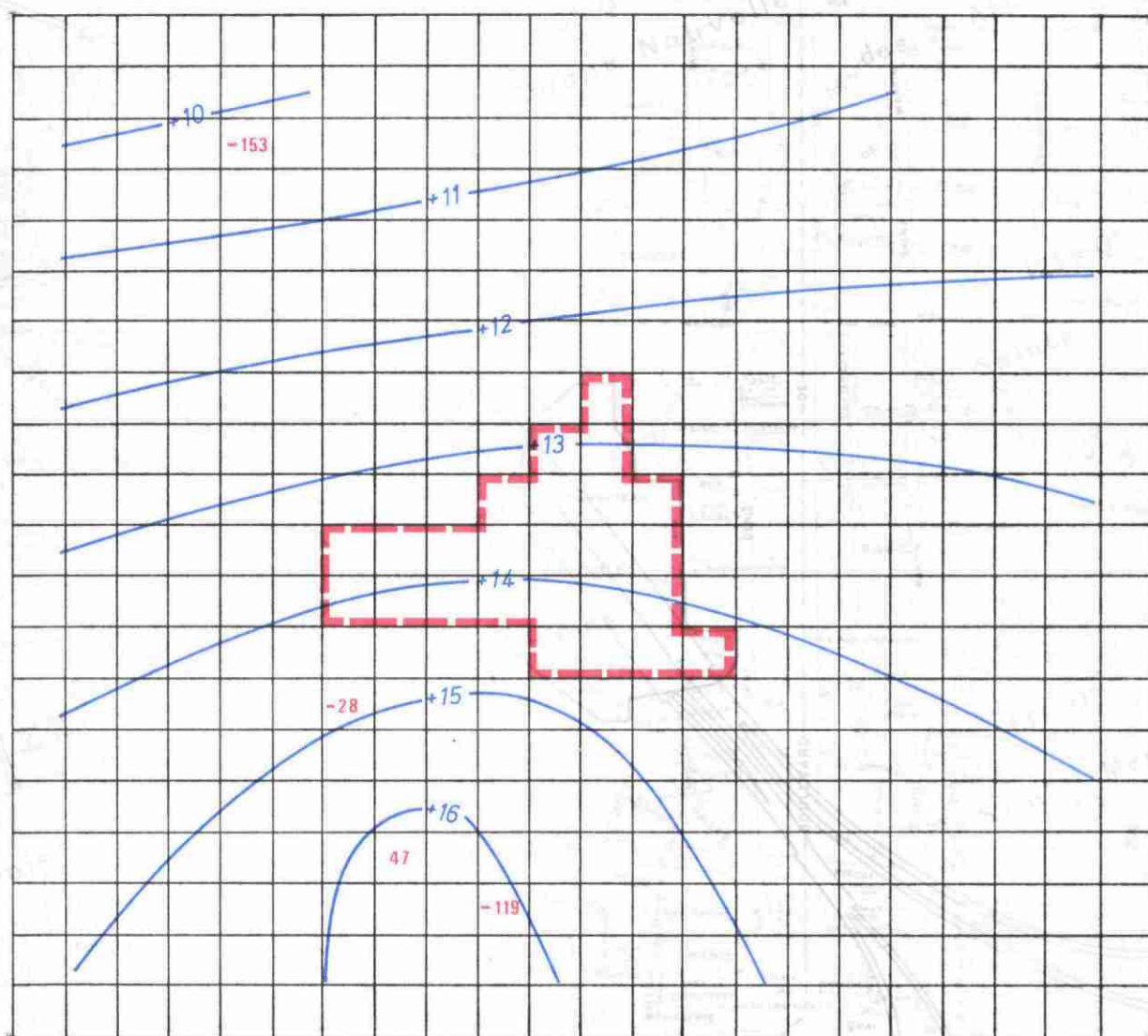
 Radier SEMAH

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements, multicouche

Influence arrêt des pompages (Sables cuisiers)

F 421 P



 +15

Courbes isopièzes en m

47

Débits apportés (en 0.1 l/s)



Parois étanche

Le graphique F 4220 présente les niveaux d'eau calculés en fonction du temps pour les quatre mailles choisies dans l'exemple précédent :

- réservoir calcaire
 - + maille située à l'amont immédiat de la paroi étanche
 - + maille située à l'aval immédiat de la paroi étanche
 - + maille située sous le radier S.E.M.A.H.
- réservoir sableux - maille située sous radier R.E.R.

Ce graphique indique d'une part qu'à l'intérieur de l'enceinte le niveau dans le réservoir cuisien sous l'influence de l'arrêt des pompages est légèrement plus haut que celui du réservoir calcaire, d'autre part que la cote de drainage (+ 15 sous radier R.E.R.) étant atteinte il est nécessaire de procéder à un nouveau passage en régime transitoire avec cotes de drainage affichées.

Les cartes FK1 et FK2 présentent l'allure des surfaces piézométriques calculées au sommet de la crue (45 jours après l'instant 0) dans les deux réservoirs étudiés. Les cotes de drainage envisagées sont atteintes dans le réservoir calcaire.

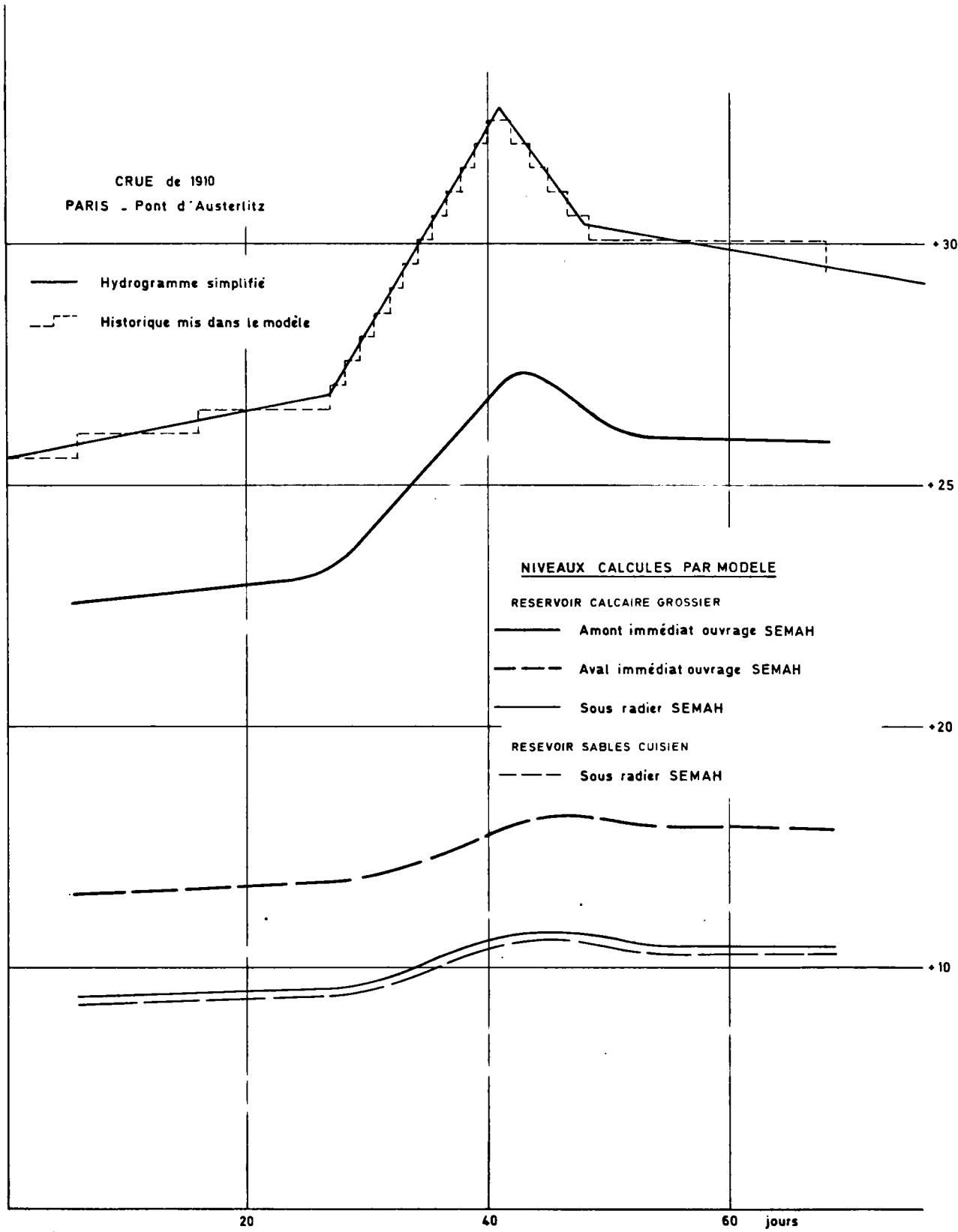
423. Influence d'une crue - régime transitoire avec drainage (F423T)

A partir de l'état permanent avec pompages actuels arrêtés définis au chapitre 421, nous avons procédé à un nouveau passage en régime transitoire pour lequel les cotes de drainage envisagées ont été effectuées.

Les graphiques F4231 et F4232 montrent les mailles dans lesquelles les cotes de drainage affichées ont été atteintes et le débit total drainé pour que la pression ne dépasse pas ces cotes.

On remarquera que ce débit drainé débute au bout de 38 jours, passe par un maximum de 0,425 l/s au bout de 45 jours puis décroît pour devenir nul au bout de 81 jours.

Influence du passage d'une crue ,ouvrages SEMAH et RER terminés .
 Pompages arrêtés sans drainage



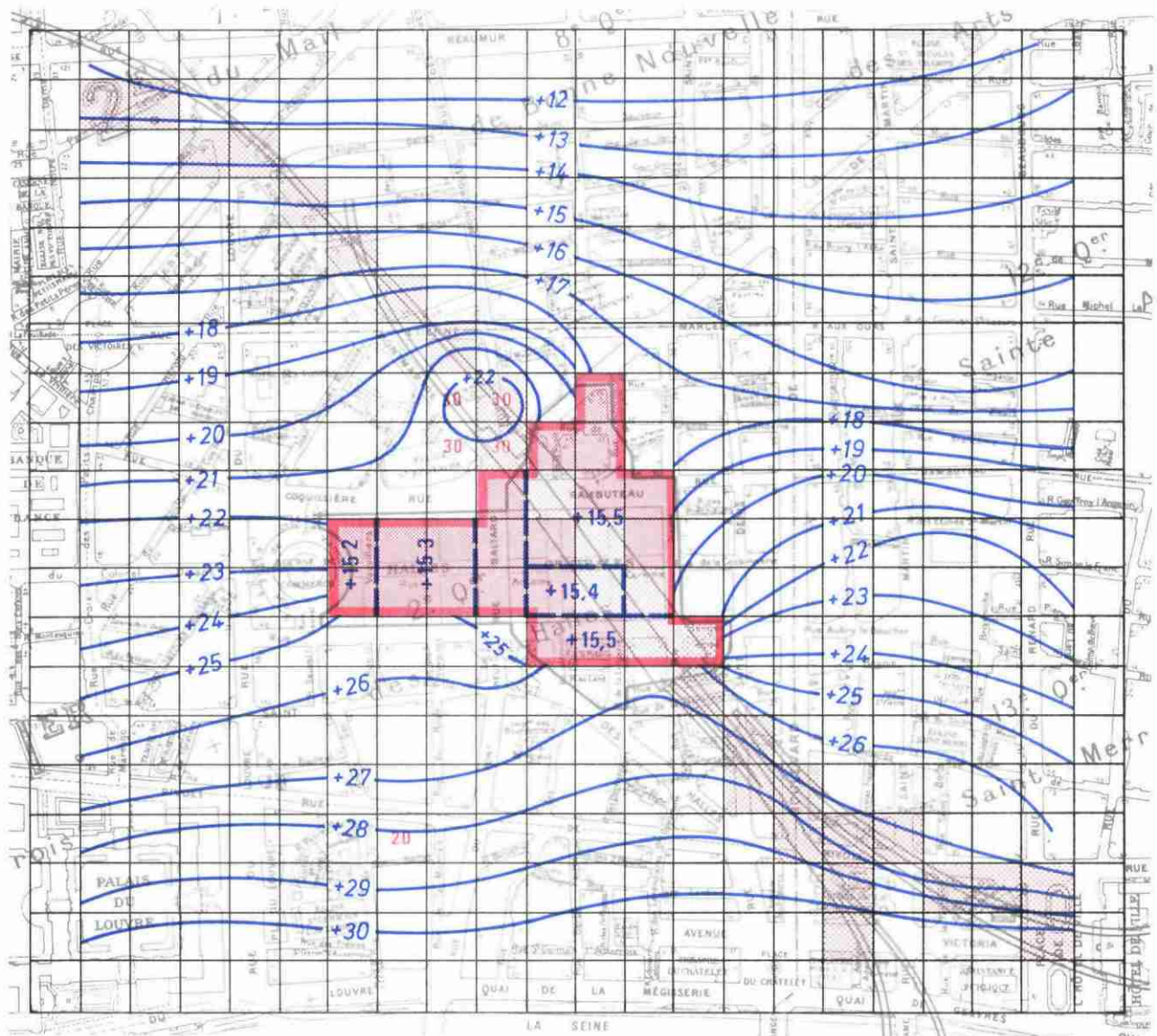
ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements, multicouche

Influence d'une crue (1910) après arrêt des pompages (Calcaire grossier)

Répartition des pressions au maximum de la crue - 46,5 jours

F 422 T



+26

Courbes isopièzes en m

+15,3

Pressions sous le radier

30

Débits apportés



Parois étanches



RER



Radier SEMAH

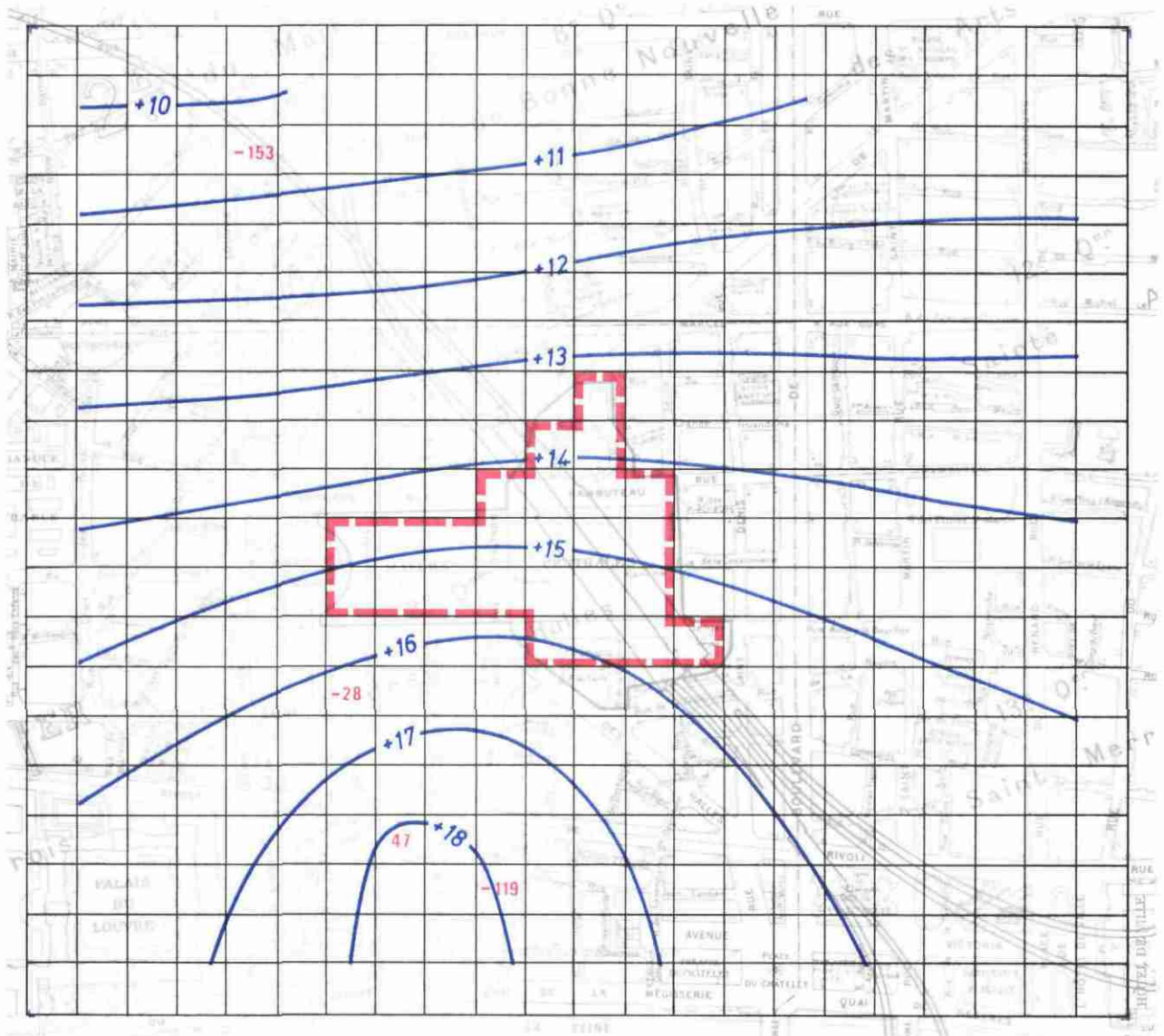
ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES




Modèle mathématique de simulation des écoulements, multicouche

Influence d'une crue (1910) après arrêt des pompages (Sables cuisiers)

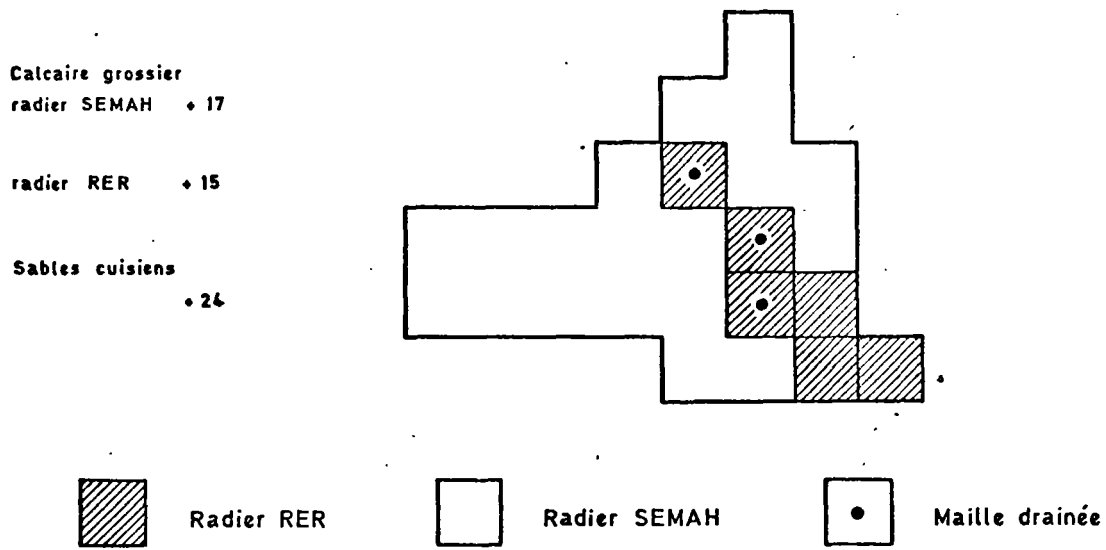
Répartition des pressions au maximum de la crue - 46.5 jours

F 422 T



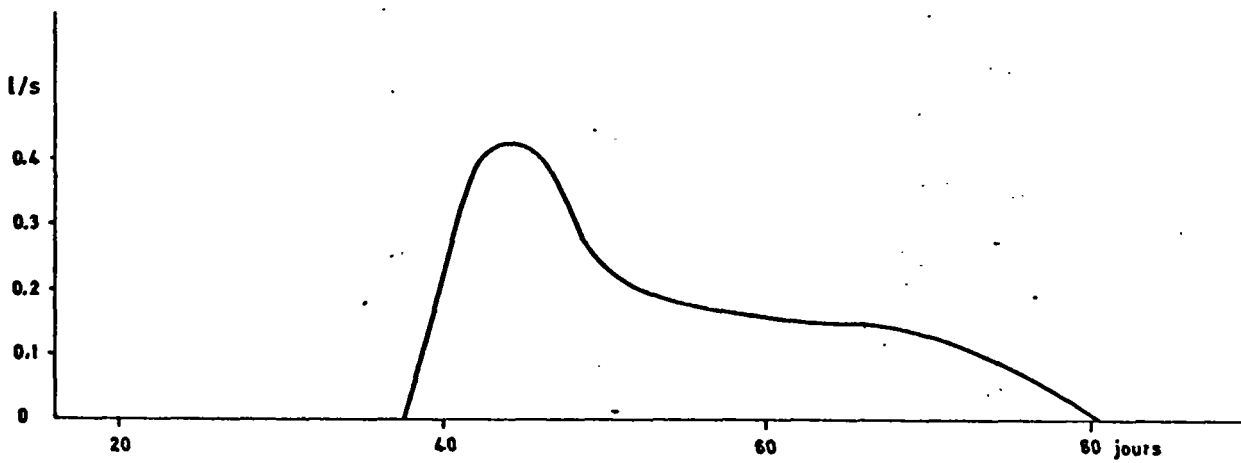
-  Courbes isopièzes en m
-  Débits apportés (en 0.11/s)
-  Parois étanches

Cotes de drainage imposées



F4232

Variation du débit global drainé



43. Troisième groupe de simulations

Un troisième groupe de simulations a été effectué dans les conditions suivantes :

- les pompages actuels sont arrêtés
- le voile d'injection dans le Calcaire grossier est partiellement étanche.

Nous avons admis que la perméabilité horizontale de ce voile était égale au 1/10 de la perméabilité horizontale du réservoir soit 6×10^{-6} m/s.

Dans ces conditions, il s'établit un nouveau régime permanent.

431. Etablissement du régime permanent

Ce passage du régime permanent (F431P) était destiné à obtenir les cartes piézométriques avec pompages arrêtés et voile d'injection partiellement étanche. A l'issue de ce passage, nous avons constaté que les cotes de drainage étaient atteintes. Ceci nous a donc conduits à effectuer un autre passage en régime permanent avec cotes de drainage affichées.

Les cartes FL1 et FL2 présentent l'allure des surfaces piézométriques à l'établissement de ce régime permanent sans drainage. Ces cartes montrent que les cotes de drainage ont été atteintes sous les radiers dans le réservoir calcaire.

432. Régime transitoire sans drainage (F432_T)

Afin de se rendre compte quelles seraient les pressions maximales sous l'effet du passage d'une crue, le voile d'injection étant partiellement étanche, nous avons effectué le passage F432T.

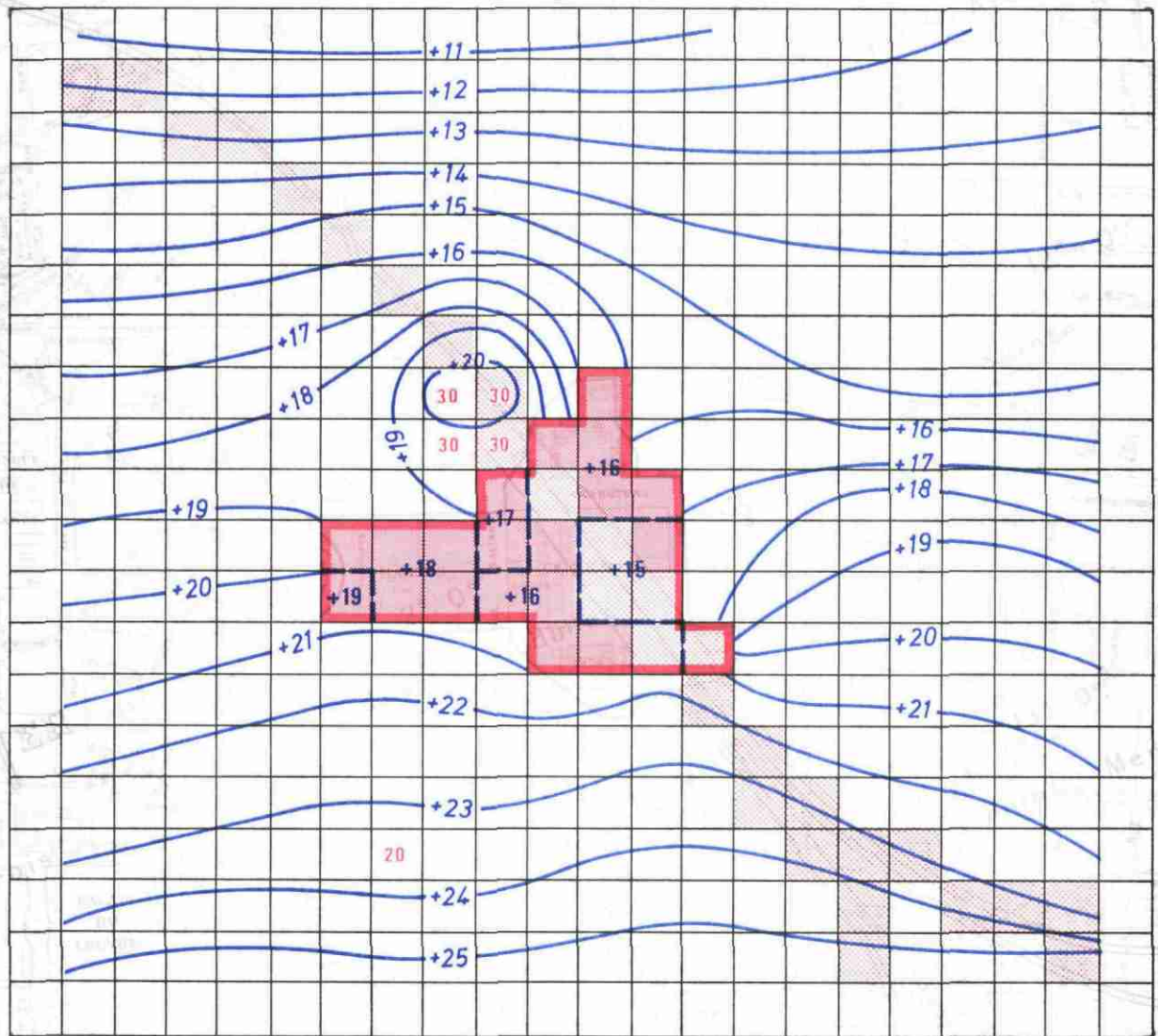
Les cartes FM1 et FM2 présentent l'allure des surfaces piézométriques au moment du maximum de la crue (45 jours après l'instant 0) les pressions sous le radier atteignent la cote + 21,5 à l'Ouest près de la Bourse du Commerce.

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements, multicouche

Influence arrêt des pompages et du voile partiellement étanche
sans drainage (Calcaire grossier)

F 431 P



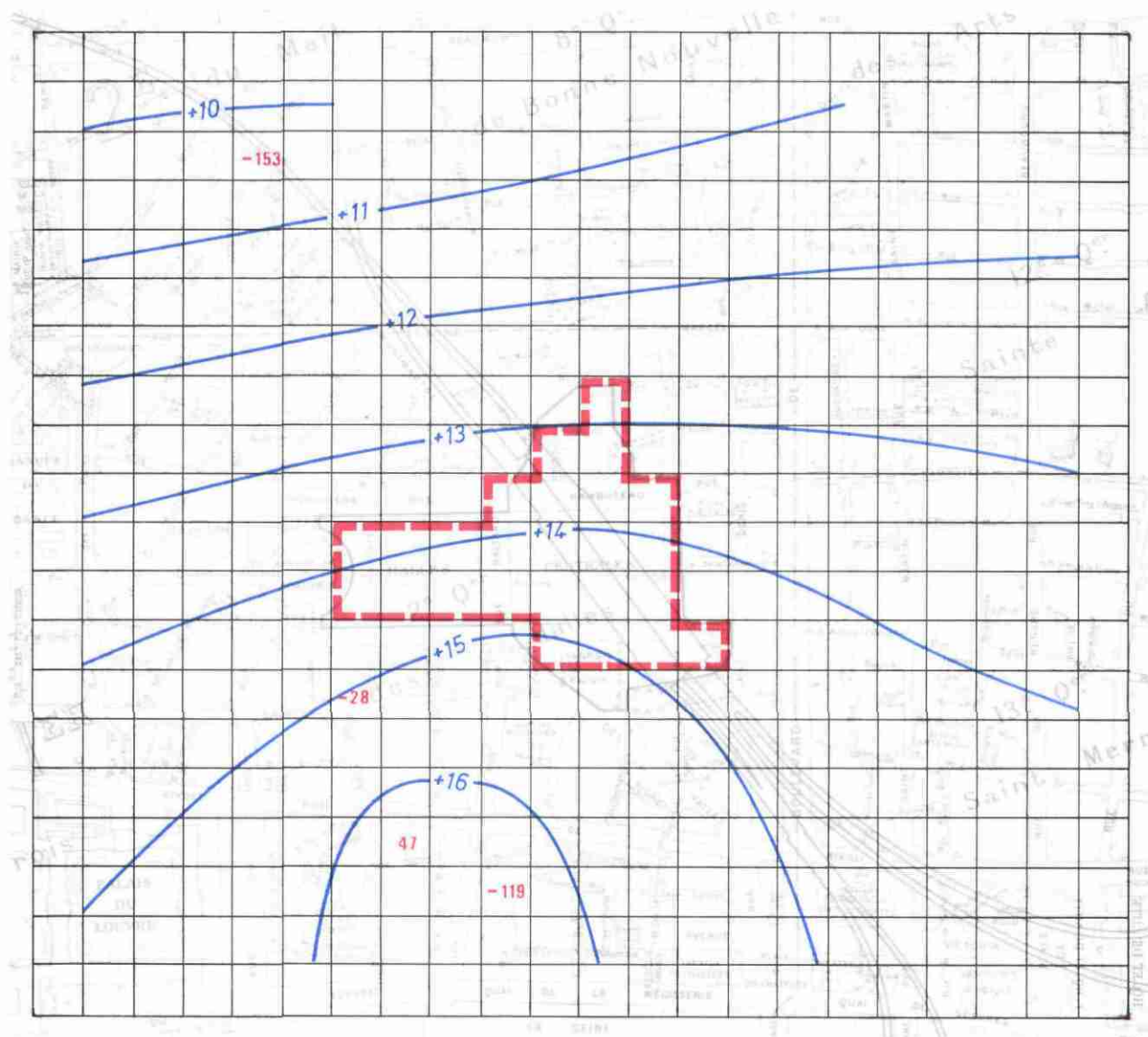
- Courbes isopièzes en m
- Pressions sous le radier
- Débits apportés
- Parois étanche
- RER
- Radier SEMAH

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements, multicouche

Influence arrêt des pompages et du voile partiellement étanche
sans drainage (Sables cuisiers)

F 431 P



—+15—

Courbes isopièzes en m

47

Débits apportés (en 0,1 l/s)



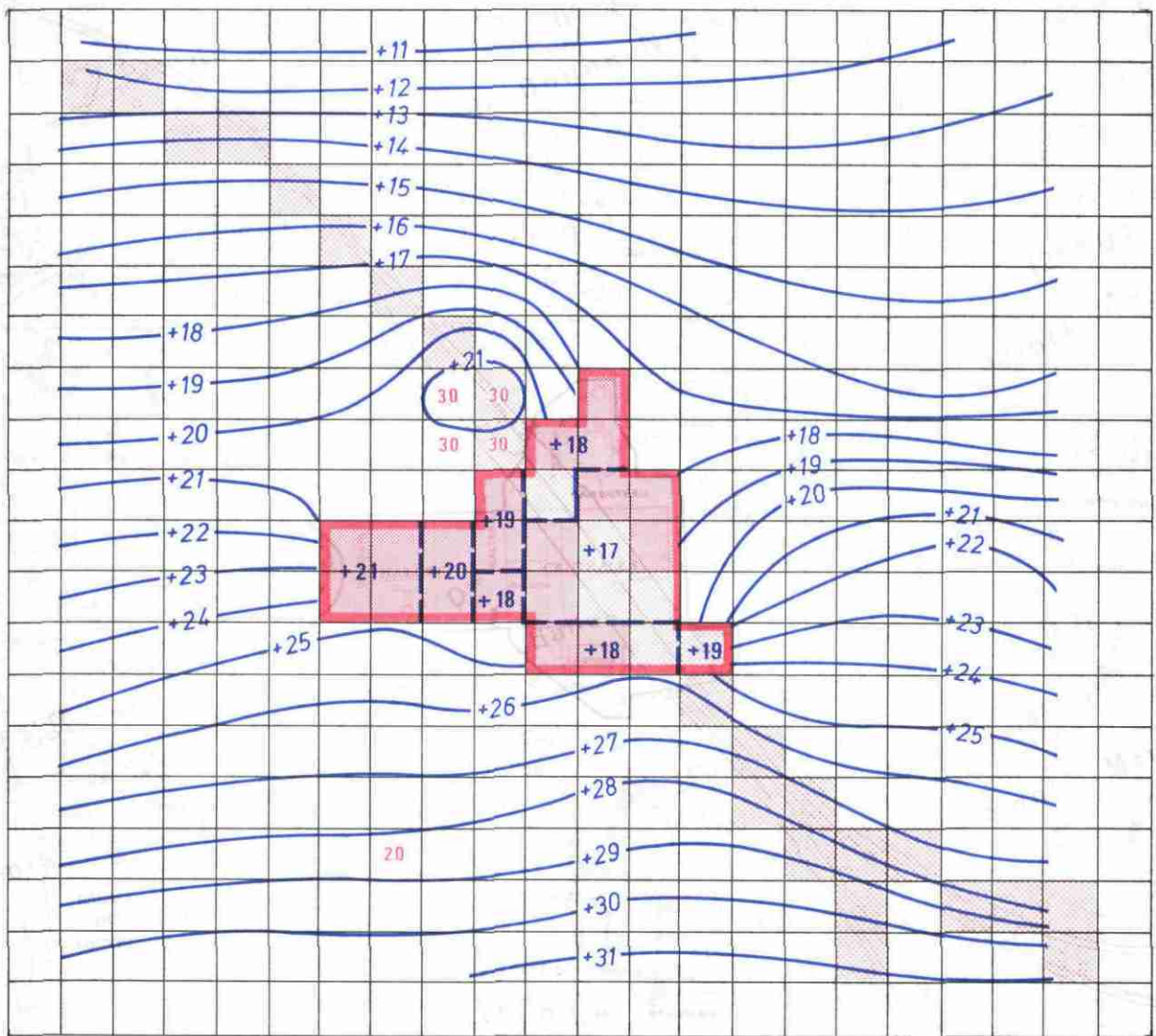
Parois étanches

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements, multicouche

Carte piézo _ maximum de la crue avec arrêt des pompages et du voile
partiellement étanche sans drainage (Calcaire grossier)

F 432 T



+30 ——— Courbes isopièzes en m

+20 ——— Pressions sous le radier

30 ——— Débits apportés



Parois étanche



RER



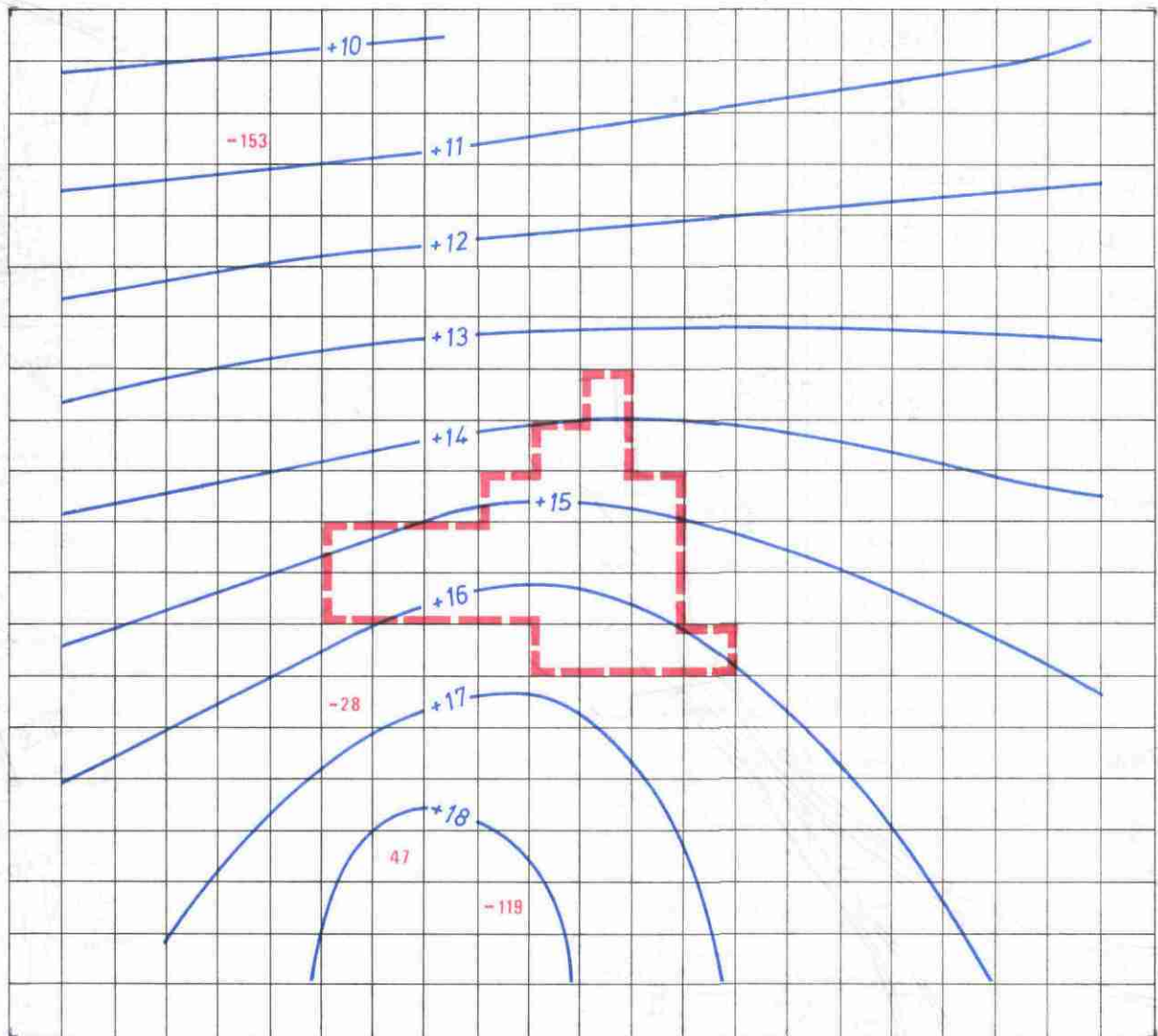
Radier SEMAH




ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SECTEUR DES HALLES

Modèle mathématique de simulation des écoulements, multicouche

Carte piézo - maximum de la crue avec arrêt des pompages et du voile
partiellement étanche sans drainage (Sables cuisiers)

F 432 T



-  Courbes isopièzes en m
-  Débits apportés (en 0.1 l/s)
-  Parois étanches

433. Régime permanent avec drainage (F433_P)

A l'occasion du passage F 431 P les cotes de drainage envisagées avaient été atteintes. Le passage F 433 P est destiné à l'évaluation des débits à drainer dans ces conditions. La figure F 4330 montre les mailles où s'effectuent les drainages, le débit total drainé est alors égal à 2,92 l/s. Aucune maille du réservoir sableux n'atteint la cote de drainage affichée pour ce réservoir.

434. Régime transitoire avec drainage (F434_T)

A partir de l'état permanent F433 P, le passage F434 T prend en charge l'historique de la crue de la Seine. Le graphique F 4340 indique le nombre de mailles dans lesquelles les cotes de drainage affichées ont été dépassées et le débit total drainé pour maintenir la pression correspondante. Ce débit atteint la valeur maximale de 7,25 l/s. Les mailles qui drainent sont cantonnées dans le réservoir calcaire sous le radier S.E.M.A.H. dans la partie ouest et sous le radier R.E.R. En aucun cas, les cotes de drainage affichées pour le réservoir sableux ne sont atteintes.

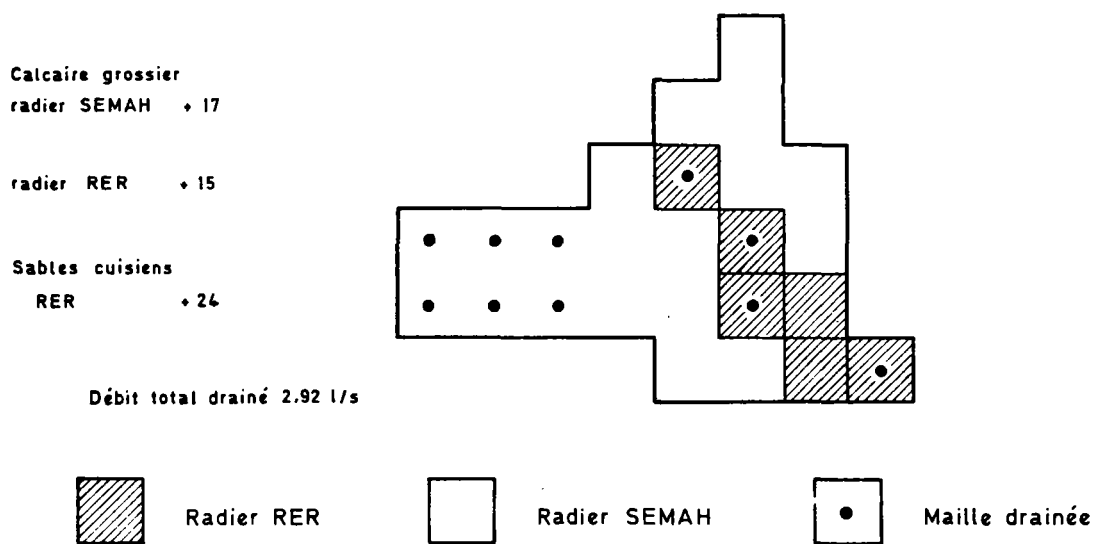
44. Conclusions sur les exploitations du modèle transitoire de l'Ecole des Mines (SAMMIR)

La réalisation du modèle de simulation des écoulements, en régime transitoire, du système multicouche du secteur des Halles, a permis de préciser les conditions d'utilisation possibles du système de drainage des réservoirs qui serait installé sous les radiers S.E.M.A.H. et R.E.R. afin d'empêcher que les pressions sous le radier ne dépassent des valeurs qui nuiraient à la stabilité de l'ensemble.

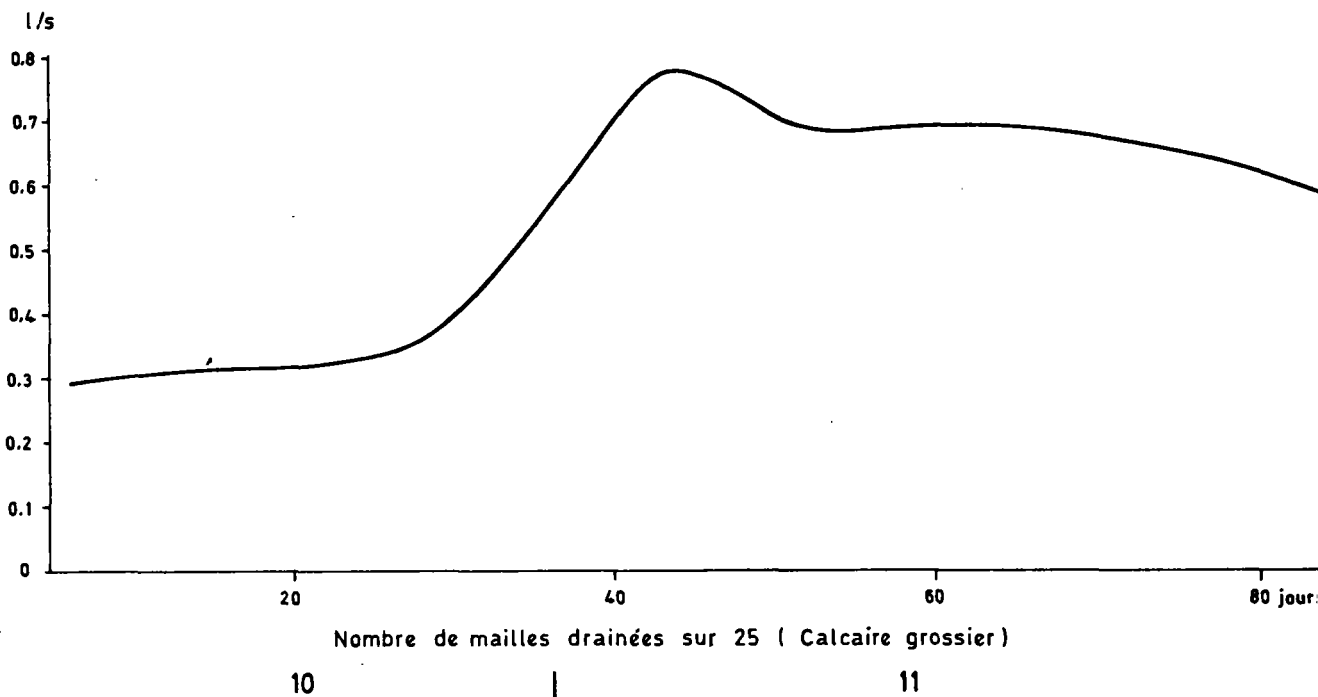
Il faut rappeler ici que nous avons utilisé par sécurité des valeurs de coefficient d'emmagasinement qui, notamment en bordure de Seine, doivent être faibles. Ceci détermine des variations du niveau d'eau des nappes fortes et presque synchrones avec celles du niveau de la Seine. Les valeurs que nous obtenons sont donc à considérer comme maximales.

Dans ces conditions, trois groupes d'exploitation ont été effectuées. Le tableau F 4410 résume les résultats obtenus.

Cotes de drainage imposées



Variation du débit drainé en fonction du temps



L'obtention de pressions sous le radier supérieures aux cotes de drainage reste peu probable même en affichant les conditions vraisemblablement défavorables d'emmagasinement que nous avons considérées. En aucun cas les cotes de drainage affichées pour le réservoir sableux ne sont atteintes ce qui permettrait de ne pas réaliser le drainage de ce réservoir mais uniquement, et par raison de sécurité, celui du réservoir calcaire.

SIMULATIONS EFFECTUEES

	MODELE Ecoles des Mines régimes permanent et transitoire (SAMMIR)								
	Pompages actuels		Pompages actuels arrêtés			Pompages actuels arrêtés et voile d'injection non étanche			
Chapitre du rapport	F 411 P	F 412 T	F 421 P	F 422 T	F 423 T	F 431 P	F 432 T	F 433 P	F 434 T
Objet de la simulation	Régime permanent avec pompages actuels et ouvrages construits sans drainage	Régime trans. passage de la crue sans drainage	Régime permanent sans pompages actuels sans drainage	Régime trans. passage de la crue sans drainage	Régime trans. passage de la crue avec drainage	Régime permanent pompages arrêtés voile non étanche sans drainage	Régime trans. passage de la crue sans drainage	Régime permanent avec drainage	Régime trans. passage de la crue avec drainage
Niveau de la Seine	+ 26,4	hydrogramme	+ 26,4	hydrogramme	hydrogramme	+ 26,4	hydrogramme	+ 26,4	hydrogramme
Nature limite aval	niveau constant	niveau constant	niveau constant	niveau constant	niveau constant	niveau constant	niveau constant	niveau constant	niveau constant
Niveau limite aval	CG + 11 env. SC + 9 env.	CG + 11 env. SC + 9 env.	CG + 11 env. SC + 9 env.	CG + 11 env. SC + 9 env.	CG + 11 env. SC + 9 env.	CG + 11 env. SC + 9 env.	CG + 11 env. SC + 9 env.	CG + 11 env. SC + 9 env.	CG + 11 env. SC + 9 env.
Cote de drainage sous les ouvrages (limite sup.)	non	non	non	non	CG : radier SEMAH +17 RER +15 SC : RER +24	non	non	CG : radier SEMAH +17 RER +15 SC : RER +24	CG : radier SEMAH +17 RER +15 SC : RER +24
Débits des pompages voisins	47 l/s	47 l/s	0	0	0	0	0	0	0
Débits pour climatisation	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Voile d'injection dans CG	étanche	étanche	étanche	étanche	étanche	non étanche	non étanche	non étanche	non étanche
Radier SEMAH et RER construits	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Débits drainés	-	-	-	-	max. 0,425 l/s	-	-	2,92 l/s	max. 7,25 l/s
Graphiques et cartes du rapport	-	F 4121 F 4122 FI 1 et FI 2	FJ 1 et FJ 2	F 4220 FK.1 et FK 2	F 4231 F 4232	FL 1 et FL 2	FM 1 et FM 2	F 4330	F 4340

F.5. Conclusions sur les simulations par modèles

La mise en oeuvre et les exploitations des modèles mathématiques de simulation des écoulements, en milieu poreux et en système multicouche ont permis de se rendre compte des effets probables des travaux envisagés sur la piézométrie des nappes aquifères contenues dans les réservoirs composant le système étudié.

Le premier modèle (MØBIL) a permis de prévoir les effets des ouvrages en régime permanent avec prise en compte des variations de transmissivités dues aux déplacements de la surface libre. Le deuxième modèle (SAMMIR) permet aussi bien le traitement en régime permanent qu'en régime transitoire, dans des nappes à transmissivité indépendantes du niveau.

Après l'introduction des données établies d'après les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques obtenues sur le terrain à l'occasion des études précédentes, un réglage sur le modèle MØBIL a été effectué de manière à reproduire correctement les surfaces piézométriques des deux nappes aquifères.

Le modèle MØBIL a été utilisé d'autre part pour deux types d'exploitations :

- travaux de fouille - débit d'exhaure de la fouille et influence sur les niveaux alentours. Les débits d'exhaure seraient faibles ; l'influence des parois étanches limitant la fouille, joue le rôle d'un barrage hydraulique déterminant une élévation du niveau d'eau à l'amont et un abaissement à l'aval.
- travaux réalisés (S.E.M.A.H. et R.E.R.) - effet d'un pompage de climatisation s'adressant aux Sables cuisiniens serait très importante ; l'abaissement du niveau de cette nappe pouvant aller jusqu'au dénoyage du toit des sables engendrant des risques de tassement différentiels des terrains.

Le modèle SAMMIR a été utilisé pour l'étude de l'évolution des pressions sous les radiers et des débits de drainage en fonction des variations du niveau de la Seine en crue. La stabilité de l'ensemble S.E.M.A.H. et R.E.R. est assurée tant que la pression hydrostatique sous les radiers ne dépasse pas des cotes calculées par les

géotechniciens. Un système de drainage sous les radiers a été prévu, système qui ne fonctionnerait qu'à partir du moment où les niveaux d'eau dans les nappes dépasseraient des cotes choisies pour assurer la stabilité (Calcaire grossier - radier S.E.M.A.H. + 17 , R.E.R. + 15 - Sables cuisiers R.E.R. + 24). Malgré des conditions de sécurité (coefficients d'emmagasinement plus faibles que dans la réalité), il a été difficile d'obtenir sous les radiers des pressions supérieures aux cotes de drainage. Ceci est rassurant pour la stabilité des constructions. Il a fallu effectuer des simulations dont la probabilité de réalisation est faible (pompages arrêtés, voile d'injection dans le Calcaire grossier non étanche) pour obtenir un fonctionnement du système de drainage dans le Calcaire grossier sans que jamais les cotes de drainage envisagées pour la nappe des Sables cuisiers ne soient atteintes.

En définitive, il apparaît, à l'observation de ces simulations, que les risques de tassements différentiels par dénoyage des Sables cuisiers sous l'action des pompages entraînant l'abaissement général des niveaux d'eau, sont plus importants que les risques de poussée hydrostatique des constructions sous l'action des crues de la nappe en relation avec les crues de la Seine.

Un système de surveillance piézométrique des niveaux d'eau des deux nappes doit impérativement fonctionner.

CONCLUSIONS GENERALES

-o-o-

La SEMAH a confié au B.R.G.M. la réalisation de travaux à caractère hydrogéotechnique permettant d'évaluer :

- les débits d'exhaure à effectuer pour l'assèchement de la fouille nécessaire à la construction des stations CHATELET des lignes R.E.R. nord-sud et est-ouest, et du radier de l'ensemble S.E.M.A.H.
- l'influence de ces pompages sur les niveaux piézométriques aux alentours
- l'influence d'une crue de la Seine analogue à celle de 1910
 - . sur les pressions exercées par les nappes aquifères sous les radiers des ouvrages
 - . et sur les débits de drainage à effectuer pour maintenir ces pressions hydrostatiques à un niveau compatible avec la stabilité des ouvrages.

Ces travaux ont porté sur les points suivants :

Amélioration des données

- recherche d'une meilleure précision géologique et hydrogéologique du quartier des Halles et notamment de la position des ouvrages dans les réservoirs aquifères.
- cette recherche nous a amené à faire exécuter des sondages de reconnaissance complémentaires dans les zones où leur densité n'était pas suffisante.
- de manière à préciser les caractéristiques hydrodynamiques des réservoirs et notamment les relations de drainance entre les nappes, des pompages d'essai ont été exécutés. Les perméabilités verticales du Calcaire grossier et de la zone de transition sous-jacente sont faibles, ceci explique la relative indépendance des deux réservoirs

- une actualisation des prélèvements et réinjections effectués dans les réservoirs et un relevé synchrone des niveaux d'eau ont permis de dresser des cartes piézométriques des nappes des deux réservoirs superposés (Calcaire grossier - base des Marnes et Caillasses et Sables cuisiers). Les surfaces piézométriques obtenues sont celles que l'on peut dessiner à l'aide des niveaux d'eau durant la semaine, en période de basses eaux 1971 ; les niveaux d'eau de la nappe des Sables cuisiers varient constamment suivant des cycles imbriqués journaliers et hebdomadaires

- un essai de calcul de la diffusivité dans le Calcaire grossier à l'aide des variations piézométriques engendrées par une crue de la Seine a montré, malgré des conditions d'emploi approchées (réservoir non homogène) que les valeurs de T/S (diffusivité = transmissivité/coefficient d'emménagement) étaient plus faibles que les valeurs mesurées au cours des pompages d'essai. Ceci peut être dû au fait que, en bordure de Seine et au Sud-Ouest du quartier des Halles, la nappe est libre (coefficient d'emménagement S plus fort entraîne une diffusivité plus faible) mais aussi que les berges de la Seine (la transmissivité T plus faible entraîne une diffusivité plus faible).

Réalisation de modèles mathématiques de simulation des écoulements

Deux modèles de simulation des écoulements, en milieu poreux multicouche ont été réalisés. Ces modèles intéressent pour leur partie détaillée le carré défini par la Seine au Sud, la rue Réaumur au Nord, deux lignes perpendiculaires passant respectivement par l'Hotel de Ville à l'Est et la Banque de France à l'Ouest. Les réservoirs étudiés ont été le réservoir calcaire composé de la base des Marnes et Caillasses et du Calcaire grossier et le réservoir sableux des Sables cuisiers. Ces deux réservoirs sont séparés par une zone de transition de faible perméabilité verticale.

Après le réglage des modèles, ont été effectuées les simulations suivantes :

- modèle B.R.G.M. (MØBIL) en régime permanent

+ influence des travaux de fouille

. le débit d'exhaure nécessaire à l'assèchement de la fouille

a été calculé pour différents cas (étiage, crue de la Seine, voile d'injection dans le Calcaire grossier partiellement étanche). Ce débit reste faible pour une fouille de cette importance < 200 à 300 m³/h.

. l'influence de ces travaux et de ce pompage d'assèchement sur les niveaux d'eau aux alentours se caractérise principalement par l'effet de barrage hydraulique à l'écoulement créé dans le Calcaire grossier ce qui entraîne une élévation des niveaux d'eau à l'amont et un abaissement à l'aval.

+ ouvrages réalisés - effet d'un pompage de climatisation aux Sables cuisiniens.

. la première remarque est l'effet de barrage hydraulique très net créé dans le Calcaire grossier, spécialement au Sud-Est des Halles où les lignes R.E.R. sont complètement incluses dans le réservoir Calcaire

. la deuxième remarque est la forte influence d'un pompage de 20 l/s aux Sables cuisiniens. L'abaissement des niveaux d'eau pouvant aller jusqu'au dénoyage du toit des sables entraînant des risques de tassements différentiels nuisibles pour la stabilité des ouvrages. Ceci nous conduit à déconseiller le prélèvement d'eau pour climatisation et à demander impérativement qu'un système de surveillance piézométrique des niveaux d'eau soit mis en place et régulièrement relevé.

- modèle Ecole des Mines (SAMMIR) en régimes permanent et transitoire.

Ce modèle permet le calcul des variations de pressions sous l'influence d'une crue de la Seine analogue à celle de 1910. Nous avons imposé des conditions moins favorables qu'elles ne paraissent dans l'étude de diffusivité, en se basant sur les résultats obtenus au cours des pompages d'essai ; ceci dans un but de sécurité. En effet, en affichant des coefficients d'emménagement plus faibles, les réactions du modèle étaient plus rapides et plus importantes ; les valeurs obtenues doivent être considérées comme maximales.

. le modèle a calculé la répartition des pressions sans drainage et lorsque c'était nécessaire (dépassement des cotes de drainage envisagées) avec drainage. Il faut des conditions particulièrement draconiennes (arrêt de tous les pompages aux alentours ou voile

d'étanchéité très imparfait) pour que les cotes de drainage envisagées pour le réservoir calcaire soient atteintes.

Le débit à drainer reste faible :

cas de l'arrêt des pompages - maximum 0,425 l/s

cas de l'arrêt des pompages avec voile d'injection dans le Calcaire grossier partiellement étanche - maximum 7,25 l/s

En aucun cas, les cotes de drainage envisagées pour les Sables cuisiens n'ont été atteintes.

Résultats pratiques

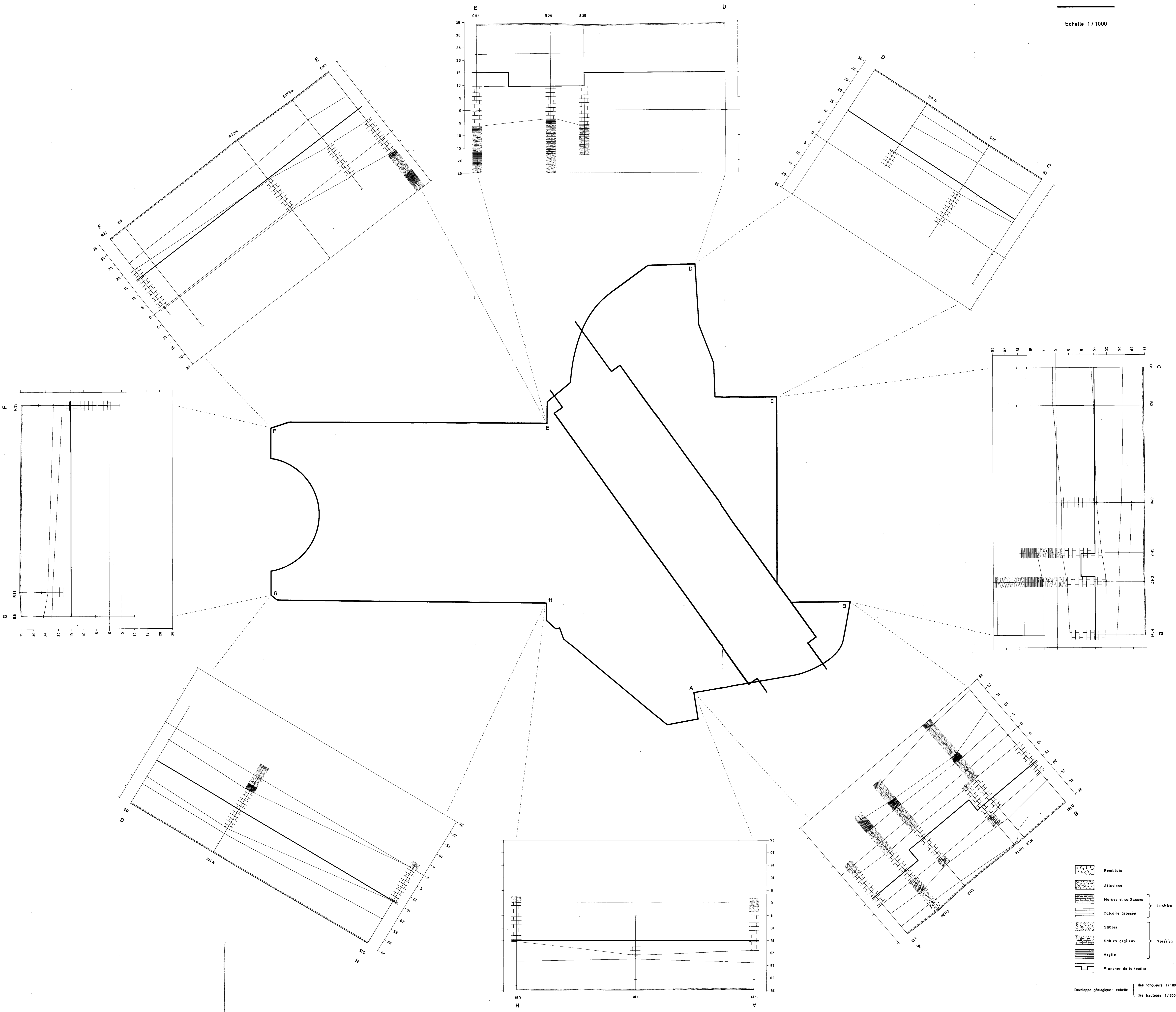
En définitive, les modèles de simulation des écoulements réalisés à l'aide de toutes les données amassées tant au cours de cette étude que par les organismes participants et leurs chargés d'études montrent que :

- les débits d'exhaure durant les travaux de fouille seront peu importants ($\leq 300 \text{ m}^3/\text{h}$).
- les ouvrages créeront un barrage hydraulique à l'écoulement, spécialement au Sud-Est de la zone étudiée. Ce barrage déterminera une perte de charge de quelques mètres entre l'amont et l'aval.
- la réalisation d'un pompage destiné à alimenter un circuit de climatisation est à déconseiller (dénoyage et risque de tassement).
- l'influence désastreuse pour la stabilité des ouvrages d'une crue de la Seine sur les variations des niveaux d'eau des nappes est peu probable. Cependant la réalisation d'un système de drainage, dans le Calcaire grossier uniquement, doit être envisagée, par sécurité.
- enfin, il importe de mettre en place et de relever régulièrement les niveaux d'eau d'un réseau de surveillance piézométrique de manière à pouvoir remédier à une trop importante baisse du niveau des nappes. Des aménagements nouveaux (forages de pompage ou de réalimentation) et des accords avec les exploitants voisins devraient permettre de conserver les conditions actuelles favorables pour la stabilité de l'ensemble des ouvrages.

RENOVATION DU QUARTIER DES HALLES DE PARIS

DEVELOPPE GEOLOGIQUE GENERAL

Echelle 1/1000

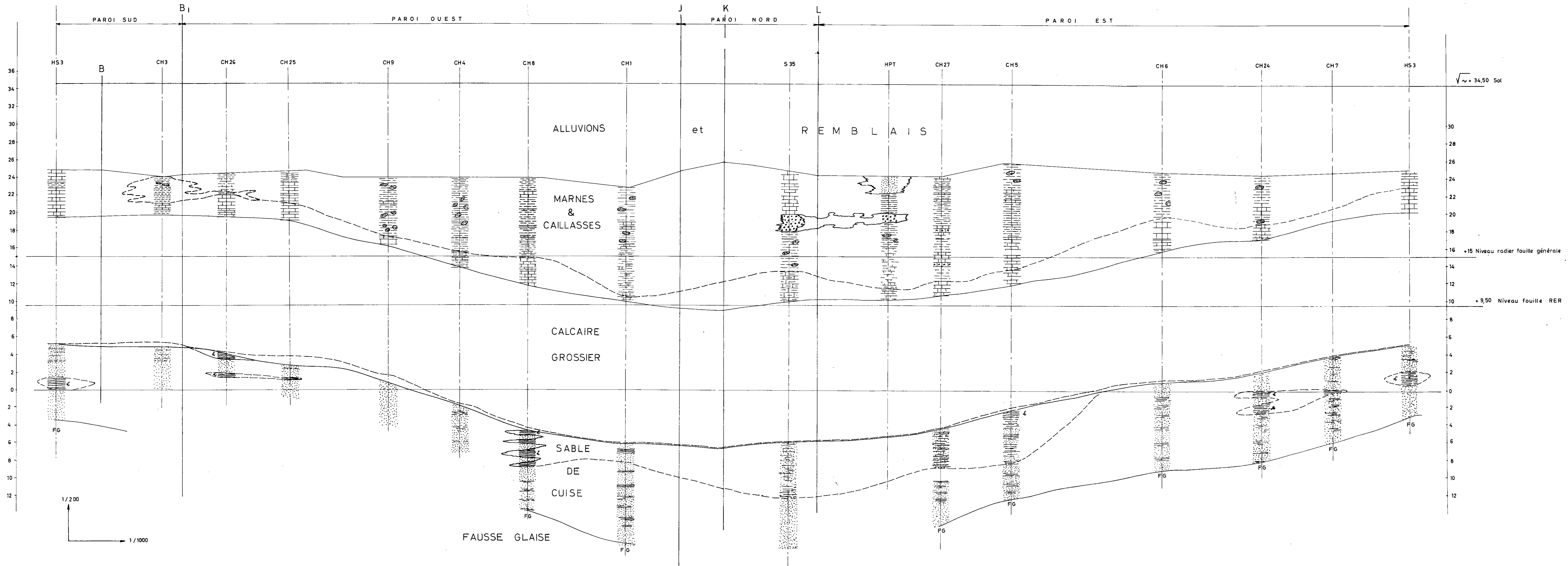


DEVELOPPE GEOLOGIQUE

DE LA FOUILLE

DU R.E.R

- R Remblais
- All Alluvions
- SB Sable de Beauchamp
- CG Calcaire grossier
- Argile de Laon
- Sc Sable cuisien
- FG Fausse glaise





Service géologique régional BASSIN DE PARIS
 65, rue du général-Leclerc, 77 Brie-Comte-Robert - Tél (01) 405.01.46
COUPE TECHNIQUE et
DIAGRAPHIES ELECTRIQUES

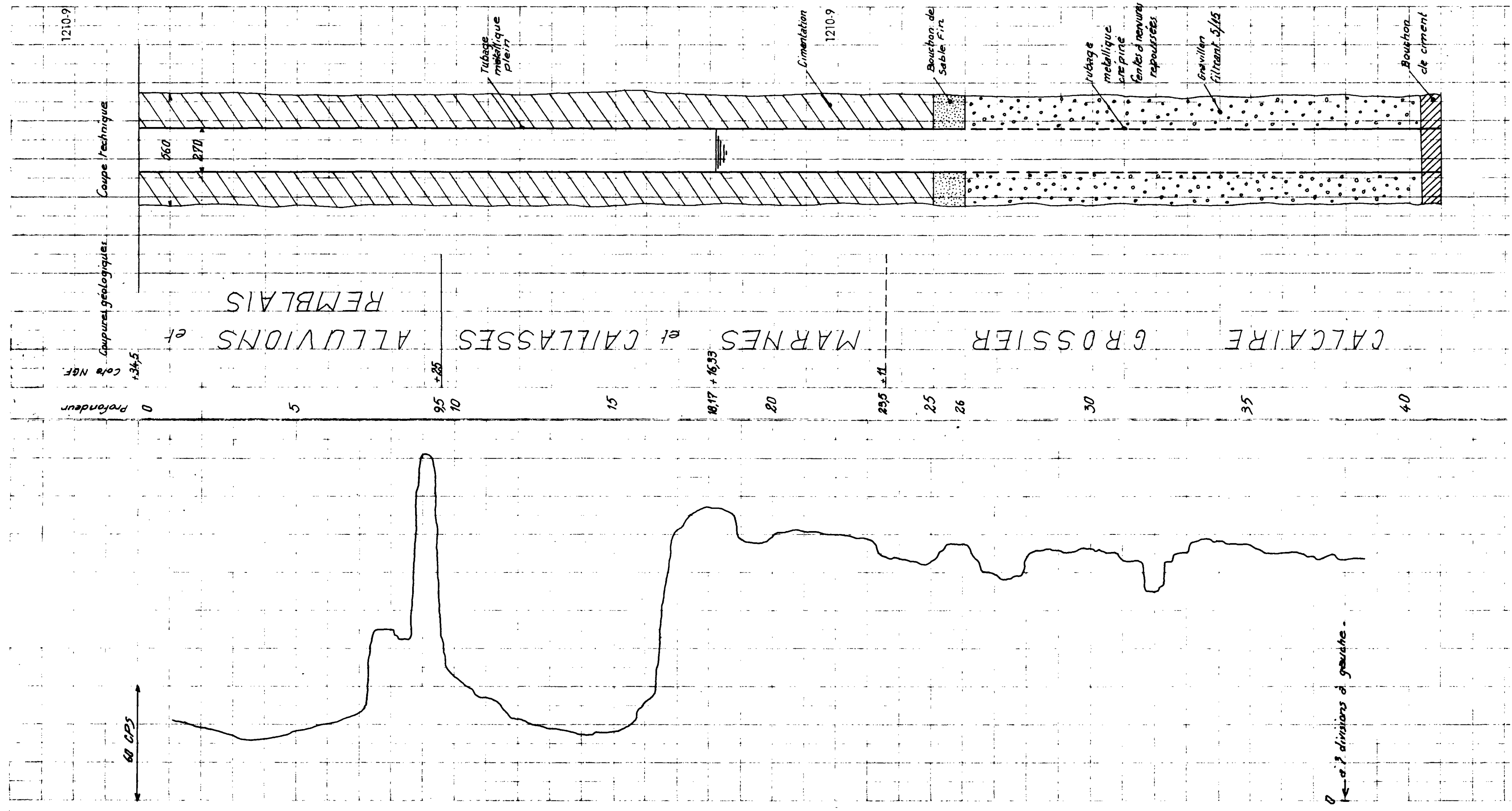
Appareil: NIM Gearhart Owen

LOCALISATION	Designation du forage: Les Halles Puits BF
Département: 75	Nomenclature: 183 7A 476
Commune: PARIS 1^e	Coordonnées Lambert: x 600 765 y 129 115 z 34,50
Date:	

METHODE UTILISEE	Densimétrie: <input type="checkbox"/>
Conductivité: <input checked="" type="checkbox"/>	Test de perméabilité: <input type="checkbox"/>
P.S. Résistivité: <input type="checkbox"/>	

CARACTERISTIQUES DE L'ENREGISTREMENT	CARACTERISTIQUES DU FORAGE
Conductivité temps CT: 3	Diamètre: 285mm
Vitesse V: 2mètres minute	Profondeur:
Sensibilité pour 60 CPS: 120 mm	Nature du tubage: métallique
Calibre: 50	Nature du tubage:
Origine des mesures et cote par rapport au sol:	Nature du bouillonnage:
Echelle: 1/50 <input type="checkbox"/>	Nature du bouillonnage:
1/100 <input checked="" type="checkbox"/>	
Profondeur log: 39,00	
Hauteur grille:	

OBSERVATIONS:



PL. B3
BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL



Service géologique régional BASSIN DE PARIS

65, rue du général-Leclerc, 77 Brie-Comte-Robert - Tél.: (01) 405.01.46

COUPE TECHNIQUE et
DIAGRAPHIES ELECTRIQUES

Appareil : NIM - Gearhart - Owen

LOCALISATION:

Désignation du forage : Halles Piézomètre Ba

Département : 75

Numéro code minier : 183 7A 476

Commune : PARIS 1^o Rue Rambuteau

Coordonnées Lambert x : 600,765

Date : 7/10/71

y : 129,115

z : 34,55

METHODE UTILISEE:

Gamma-ray

Débitmètre

P.S. Résistivité

Température

CARACTERISTIQUES DE L'ENREGISTREMENT:

Constante temps CT : 3

Vitesse V : 2 m/mn

Sensibilité 60 CPS : 120mm Calibre : 10
 50

Origine des mesures et cote par rapport au sol :

1/50

Echelle 1/100

Profondeur log : 23 m

Hauteur carottée : 21,50 m

CARACTERISTIQUES DU FORAGE:

Diamètre : 98 mm

Profondeur : 25 m

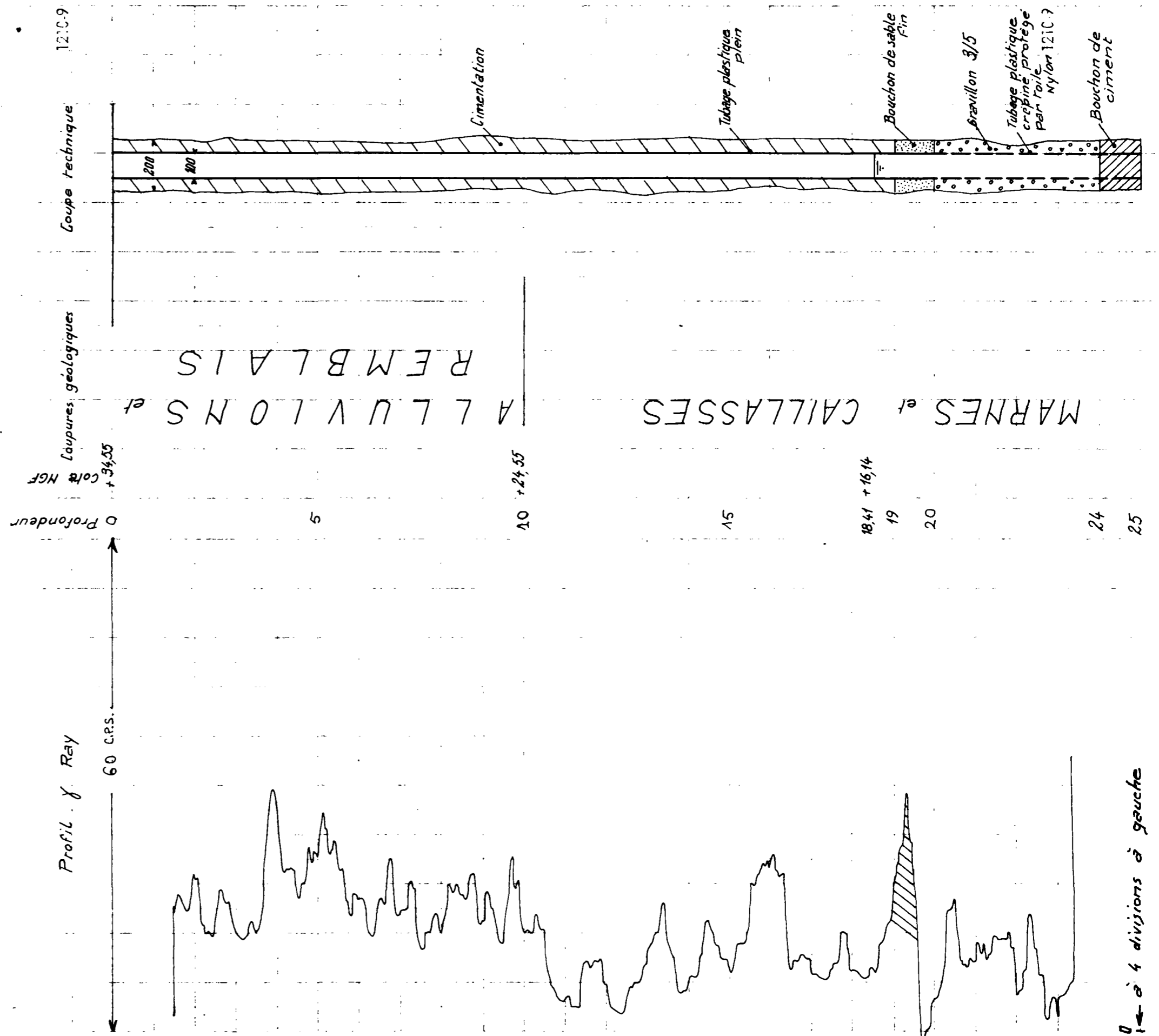
Nature du tubage : plastique

Sabot du tubage : 20 m

Nature de la boue :

Niveau d'eau : 18,16 m

OBSERVATIONS:



BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL



Service géologique régional BASSIN DE PARIS

85, rue du général-Leclerc, 77 Brie-Comte-Robert - Tél.: (01) 405.01.46

COUPE TECHNIQUE et DIAGRAPHIES ELECTRIQUES

Appareil: NIM - Gearhart - Owen

LOCALISATION:

Département : 75 Désignation du forage : Halles - Piézomètre Bb

Commune : Paris 1^o - Rue Rambuteau Numéro code minier : 183 7A 476

Date : 7/10/71 Coordonnées Lambert x : 600 765
y : 129 115
z : 34,55

METHODE UTILISEE:

Gamma-ray Débitmètre

P.S. Résistivité Température

CARACTERISTIQUES DE L'ENREGISTREMENT:

Constante temps CT : 3

Vitesse V : 2 m/mn

Sensibilité 60 CPS : 120mm Calibre : 10 / 50 / 100

Origine des mesures et cote par rapport au sol :

Echelle 1/50 / 100

Profondeur log : 38 m

Hauteur carottée : 36 m

CARACTERISTIQUES DU FORAGE:

Diamètre : 98 mm

Profondeur : 40 m

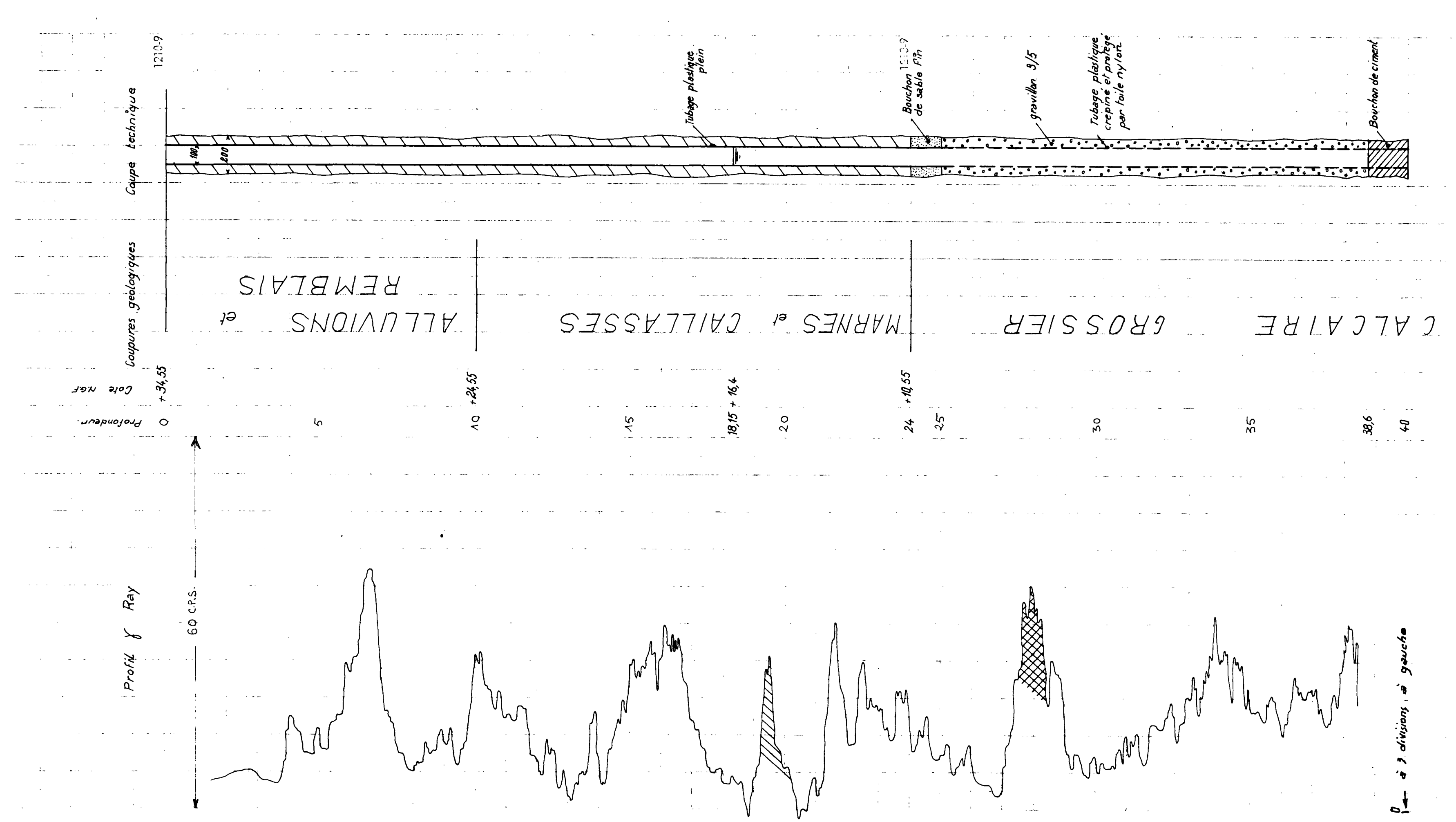
Nature du tubage : plastique

Sabot du tubage : 25 m

Nature de la boue :

Niveau d'eau : 18,12 m

OBSERVATIONS:





Service géologique régional BASSIN DE PARIS
65, rue du général Leclerc, 77 Boulogne-Bièvre, Paris 13^e Tél. (01) 405 01 46

COUPE TECHNIQUE et
DIAGRAPHIES ÉLECTRIQUES

Appareil NIM Gearhart 6000

LOCALISATION

Commune Halles
piézomètres B.I

75

183 7A 471

Commune PARIS 1^{er} Rue Pierre Lescot

600 900

Date

129 140

34,42

METHODE UTILISEE

Manivelle

P.S. Résistive

CARACTERISTIQUES DE L'ENREGISTREMENT

Constante temps C1 3

Vitesse V 2mm

Sensibilité pour 60 CPS 24 mm Calibre 10

Origine des mesures et cote par rapport au sol

Echelle 1:50

1:100

Profondeur log 47,00

Hauteur carotée

CARACTERISTIQUES DU FORAGE

Ø 98mm

Ø 50

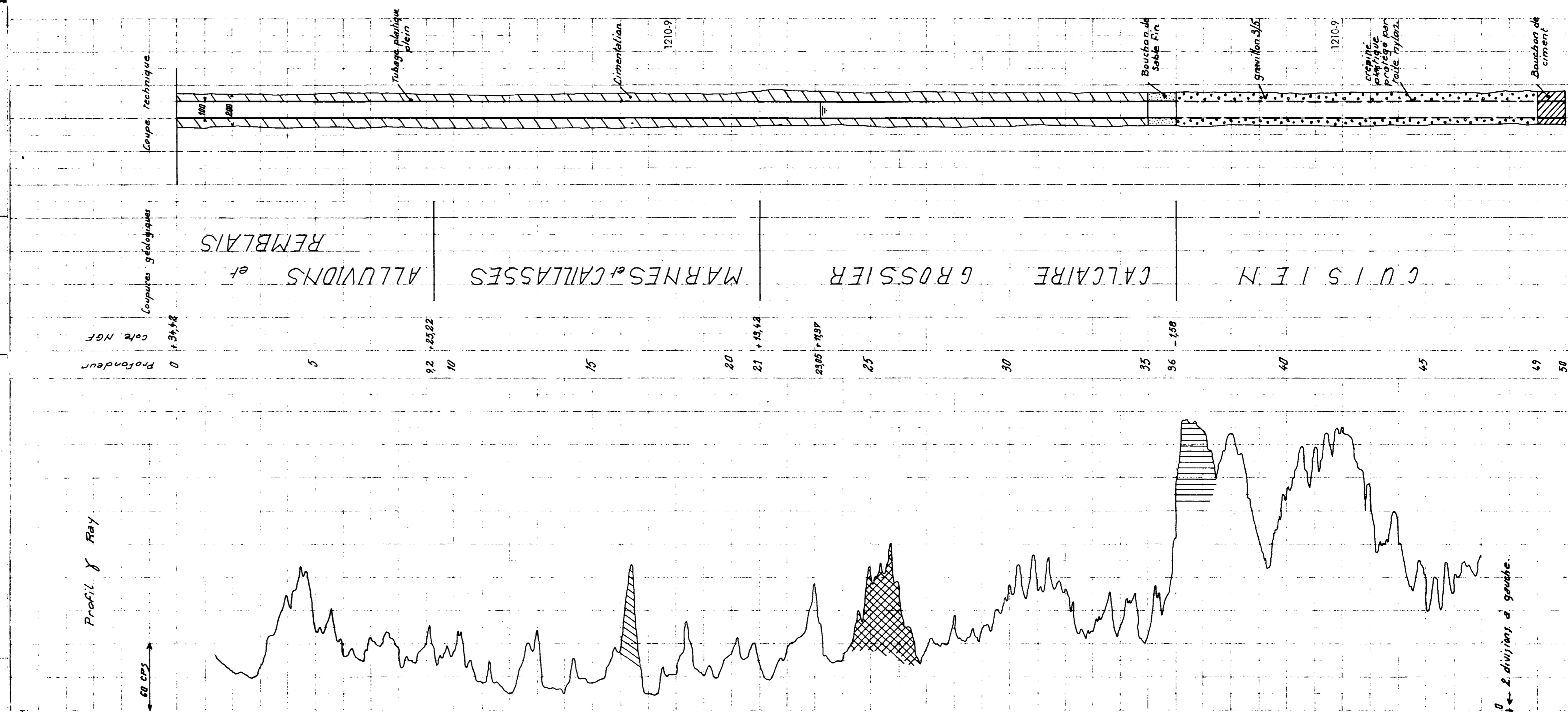
Nature de l'isolant plastique

Nature du fluide

Nature de la terre

Nature de l'eau

OBSERVATIONS



BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL



Service géologique régional BASSIN DE PARIS

65, rue du général-Leclerc, 77 Brie-Comte-Robert - Tél.: (01) 405.01.46

COUPE TECHNIQUE et DIAGRAPHIES ELECTRIQUES

Appareil : NIM - Georhart-owen

LOCALISATION:

Désignation du forage : Halles - Piézomètre B2

Département : 75

Número code minier : 183 7A 472

Commune : PARIS 1^o rue P. Lescot

Coordonnées Lambert : x : 600 855

Date : 6/10/71

y : 129 085

z : 34,45

METHODE UTILISEE:

Gamma-ray

Débitmètre

P.S. Résistivité

Température

CARACTERISTIQUES DE L'ENREGISTREMENT:

Constante temps CT : 3

Vitesse V : 2 m/mn

Sensibilité 60 CPS : 96 mm Calibre : 10
50

Origine des mesures et cote par rapport au sol :

1/50

Echelle 1/100

Profondeur log : 47,50 m

Hauteur carottée : 45,50 m

CARACTERISTIQUES DU FORAGE:

Diamètre : 270 mm

Profondeur : 50 m

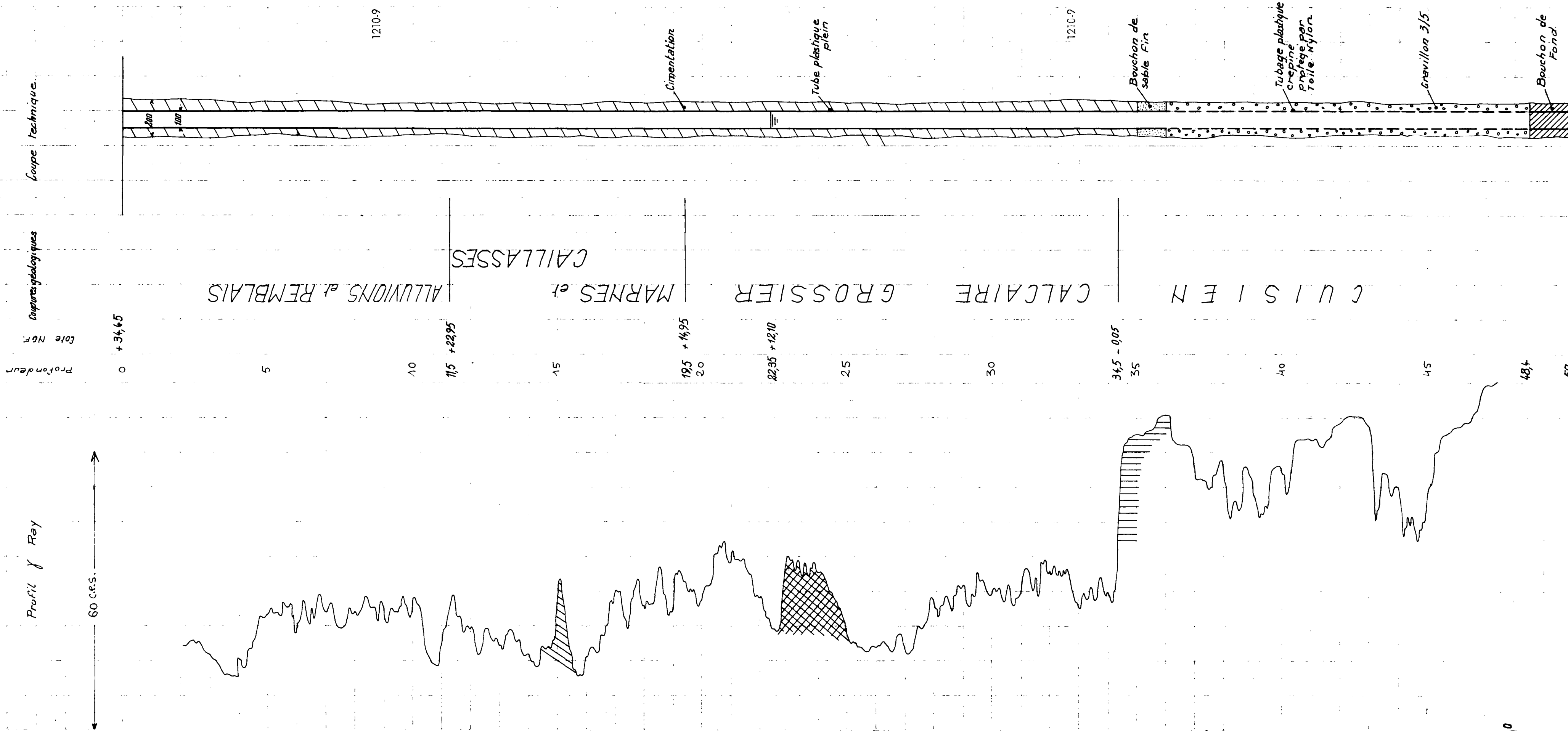
Nature du tubage : plastique

Sabot du tubage : 36 m

Nature de la boue :

Niveau d'eau : 22,60 m

OBSERVATIONS:





Service géologique régional BASSIN DE PARIS

65, rue du général-Leclerc, 77 Brie Comte-Robert - Tél. (01) 405 01 46

COUPE TECHNIQUE et
DIAGRAPHIES ELECTRIQUES

Appareil : NIM - Gearhart-owen

LOCALISATION :

Désignation du forage : Halles - Piézomètre B3

Département : 75

Numéro code minier : 183 7A 473

Commune : Paris 1^o - Pavillon 6

Coordonnées Lambert x : 600,655

y : 129 030

Date : 7/10/71

z : 34,60

METHODE UTILISEE :

Gamma-ray Débitmètre
P.S. Résistivité Température

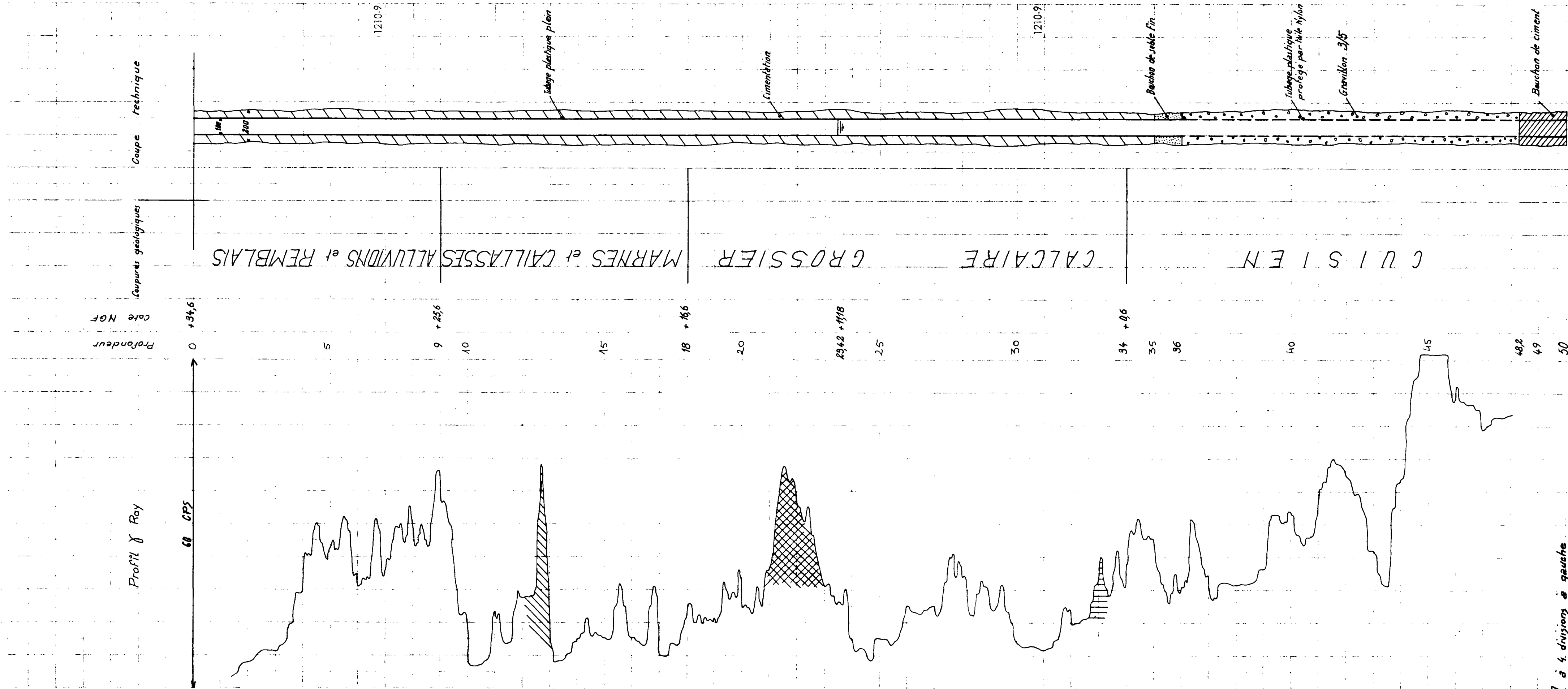
CARACTERISTIQUES DE L'ENREGISTREMENT :

Constante Temps CT : 3
Vitesse V : 2 m/mm
Sensibilité 60 CPS : 120mm Calibre : 10
50
Origine des mesures et cote par rapport au sol :
Echelle 1/50
1/100
Profondeur log : 47,50 m
Hauteur carottée : 44,50 m

CARACTERISTIQUES DU FORAGE :

Diamètre : 98 mm
Profondeur : 50 m
Nature du tubage : plastique
Sabot du tubage 36 m
Nature de la boue :
Niveau d'eau : 22,88 m

OBSERVATIONS :





Service géologique régional BASSIN DE PARIS
 65, rue du général-Leclerc, 77 Brie-Comte-Robert - Tél.: (01) 405.01.46

COUPE TECHNIQUE et
DIAGRAPHIES ELECTRIQUES

Appareil : NIM - Geohart - Owen

LOCALISATION:

Désignation du forage : Halles - Piézomètre B4

Département : 75

Número code minier : 183 7A 474

Commune : Paris 1^o - Rue Coquillière

Coordonnées Lambert x : 600 510

Date : 8/10/71

y : 129 200

z : 34,72

METHODE UTILISEE:

Gamme - ray Débitmètre
 P.S. Résistivité Température

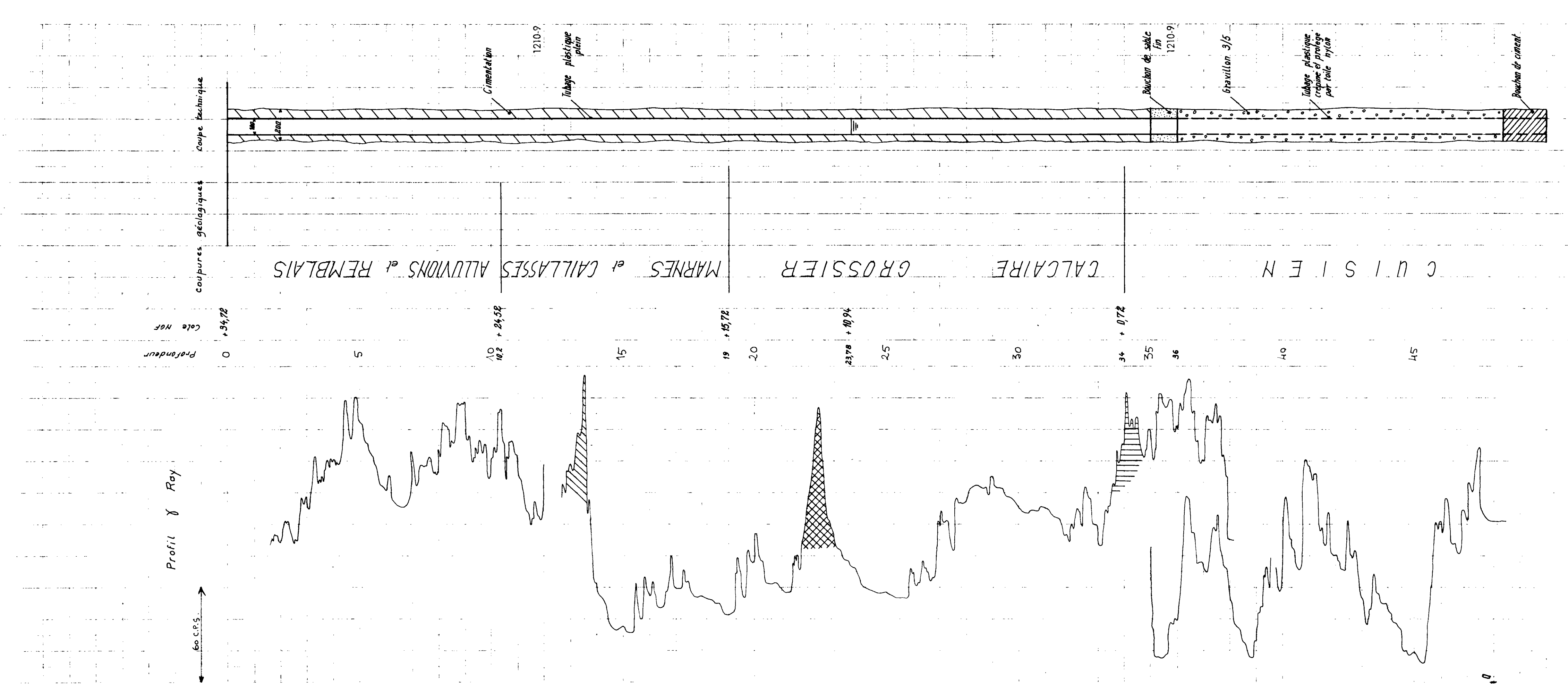
CARACTERISTIQUES DE L'ENREGISTREMENT:

Constante temps CT : 3
 Vitesse V : 2 m/min
 Sensibilité 60 CPS : 36mm Calibre : 10
 50
 Origine des mesures et cote par rapport au sol :
 1/50
 Echelle 1/100
 Profondeur log : 47,50 m
 Hauteur carottée : 46 m

CARACTERISTIQUES DU FORAGE:

Diamètre : 98 mm
 Profondeur : 50 m
 Nature du tubage : plastique
 Sabot du tubage : 36 m
 Nature de la boue :
 Niveau d'eau : 24 m

OBSERVATIONS:



BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL



Service géologique régional BASSIN DE PARIS

65, rue du général-Leclerc, 77 Brie-Comte-Robert - Tél.: (01) 405.01.46

COUPE TECHNIQUE et
DIAGRAPHIES ELECTRIQUES

Appareil : NIM - Gearhart - Owen

LOCALISATION:

Désignation du forage : Halles - Piézomètre B5

Département : 75

Número code minier : 183 7A 475

Commune : Paris 1^o - Rue Berger

Coordonnées Lambert x : 600 470

Date : 7/10/71

y : 129 090

z : 34,85

METHODE UTILISEE:

Gamma-ray

Débitmètre

P.S. Résistivité

Température

CARACTERISTIQUES DE L'ENREGISTREMENT:

Constante temps CT : 3

Vitesse V : 2 m/mm

Sensibilité 60 CPS : 120mm Calibre : 10

50

Origine des mesures et cote par rapport au sol :

1/50

Echelle 1/100

Profondeur log : 39 m

Hauteur carottée : 38 m

CARACTERISTIQUES DU FORAGE:

Diamètre : 98 mm

Profondeur : 45 m

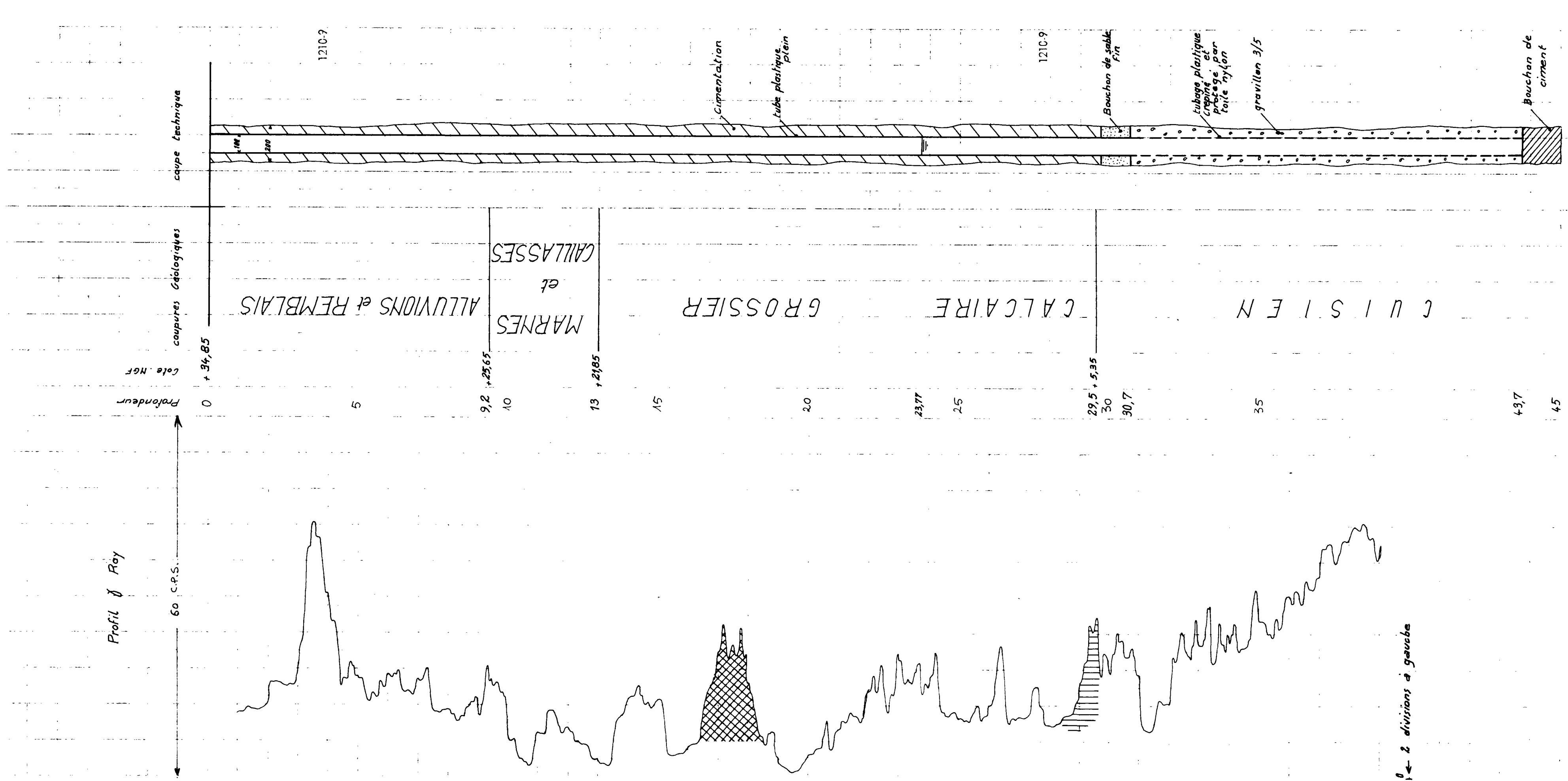
Nature du tubage : plastique

Sabot du tubage : 30,70 m

Nature de la boue :

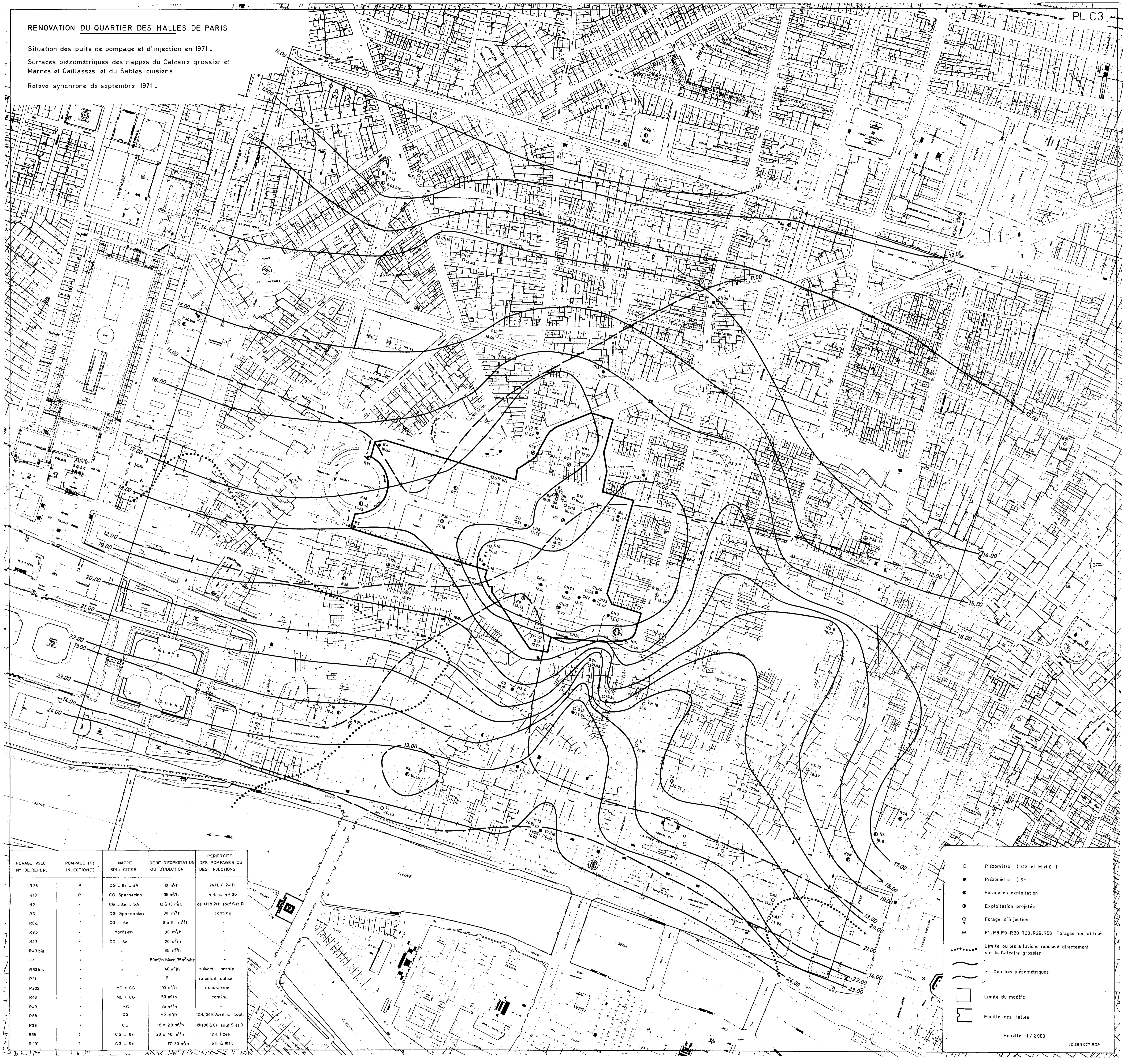
Niveau d'eau : 23,78 m

OBSERVATIONS:



RENOVATION DU QUARTIER DES HALLES DE PARIS

Situation des puits de pompage et d'injection en 1971 .
Surfaces piézométriques des nappes de Calcaire grossier et Marnes et Caillasses et du Sables cuiensens .
Relevé synchrone de septembre 1971 .



FORAGE AVEC N° DE REFER.	POMPAGE (P) INJECTION(I)	NAPPE SOLLICITEE	DEBIT D'EXPLOITATION OU D'INJECTION	PERIODE DES POMPAGES OU DES INJECTIONS
R28	P	CG - Sc - SA	10 m³/h	24 H / 24 H.
R10	P	CG Sparnacien	35 m³/h	4 H. à 4H.30
R7	.	CG - Sc - SA	12 à 13 m³/h	de 14 H. à 24 H. sauf Set D
R6	.	CG Sparnacien	30 m³/h	continu
R6a	.	CG - Sc	6 à 8 m³/h	
R6b	.	Yprésien	30 m³/h	
R43	.	CG - Sc	20 m³/h	
R43 bis	.		35 m³/h	
F4	.		50 m³/h hiver, 75 m³/h été	
R30 bis	.		40 m³/h	suivant besoin
R31	.		?	rarement utilisé
R232	.	MC + CG	100 m³/h	occasionnel
R48	.	MC + CG	50 m³/h	continu
R49	.	MC	35 m³/h	
R88	.	CG	45 m³/h	12H/24H Avril à Sept.
R38	.	CG	18 à 20 m³/h	19H30 à 6H. sauf 5 et D
R35	I	CG - Sc	20 à 40 m³/h	12 H. / 24 H.
R191	I	CG - Sc	## 20 m³/h	6H. à 18H.

- Piézomètre (CG et Met C)
- Piézomètre (Sc)
- Forage en exploitation
- Exploitation projetée
- ⊕ Forage d'injection
- ⊕ F1, F8, F9, R20, R23, R29, R58 Forages non utilisés
- Limite ou les alluvions reposent directement sur le Calcaire grossier
- ~~~~~ Courbes piézométriques
- ▭ Limite du modèle
- ▭ Fouille des Halles

Echelle : 1 / 2 000

72 506 077 BDP