

COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE
AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS
31-33, rue de la Fédération - 75752 Paris Cedex 07

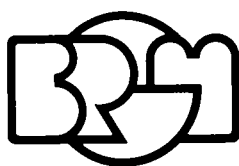
**ÉTUDE DES CONDITIONS HYDROLOGIQUES
ET HYDROGÉOLOGIQUES
DU CENTRE DE STOCKAGE N° 2**

Deuxième phase : 1981

INTERPRÉTATION ET RÉSULTATS

par

P. PEAUDECERF, D. THIERY et P. VAUBOURG



BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

Département EAU
B.P. 6009 - 45060 Orléans Cedex
Tél.: (38) 63.80.01

Mission stockages
B.P. 6009 - 45060 Orléans Cedex
Tél.: (38) 63.80.01

Rapport du B.R.G.M.

82 SGN 1000 STO

Décembre 1982

R E S U M E

Par le contrat n° 1051 du 16 novembre 1981, le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B. R. G. M.) a été chargé par l'Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (A N D R A) du Commissariat à l'Energie Atomique de poursuivre l'étude des conditions hydrologiques et hydrogéologiques du site de Saint-Priest-la-Prugne (42) avec comme objectif de préciser les caractéristiques du sous-sol sous l'aire de stockage envisagée au moyen de forages et d'essais hydrauliques et d'en suivre l'évolution après la fermeture de la mine existante.

Cette étude confirme que sous l'aire de stockage le substratum granitique au-delà de 20 à 25 m de profondeur sous la surface actuelle est peu perméable (perméabilité équivalente inférieure à 10^{-8} m/s) et montre qu'il existe des liaisons hydrauliques faibles entre la surface, le substratum granitique et la mine.

S O M M A I R E

INTRODUCTION	1
1. RAPPEL DU CADRE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL	2
2. CONDITIONS HYDROGEOLOGIQUES SOUS LE SITE	3
2.1. Perméabilités	3
2.2. Charges hydrauliques	3
3. ANALYSE QUALITATIVE DE L'EVOLUTION DES NIVEAUX D'EAU DANS LA MINE ET DANS LES FORAGES A, B ET C	6
3.1. Evolution des niveaux d'eau dans la mine (puits P ₃).	6
3.2. Evolution des niveaux d'eau dans les forages A, C et C	7
4. INTERPRETATION QUANTITATIVE DES VARIATIONS DE NIVEAUX DANS LA MINE ET DANS LES FORAGES A ET B	7
4.1. Simulation de l'évolution des niveaux d'eau dans les forages A et B	9
4.2. Simulation de la remontée du niveau d'eau dans la mine (puits P ₃)	12
5. EVOLUTION DES DEBITS DES EXUTOIRES NATURELS DE LA NAPPE SUPERFICIELLE SITUES PRES DE LA MINE DU LIMOUZAT	14
CONCLUSION	16

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 - Localisation des forages réalisés au cours de la seconde phase.
- Figure 2 - Distribution en fréquence des perméabilités.
- Figure 3 - Coupe hydrogéologique schématique du site de Saint-Priest-la-Prugne.
- Figure 4 - Noyage naturel de la mine - Evolution des niveaux d'eau dans P₃
- Figure 5 - Représentation graphique des évolutions des niveaux d'eau dans la mine et dans les forages A, B et C, des variations de débits dans le TBO et des données climatiques entre mars et décembre 1981.
- Figure 6 - Reproduction de l'évolution des niveaux d'eau au forage A à partir des historiques de niveau d'eau au puits P₃
- Figure 7 - Reproduction de l'évolution des niveaux d'eau au forage A à partir des historiques de niveau d'eau au puits P₃ et de la pluie efficace.
- Figure 8a - Reproduction de l'évolution des niveaux d'eau au forage A à partir des historiques de niveau au puits P₃, de débits au TBO et de la pluie efficace.
- Figure 8b - Part absolue des différentes influences.
- Figure 9 - Illustration schématique des liaisons hydrauliques pendant la remontée du niveau d'eau dans la mine.
- Figure 10 - Reproduction de l'évolution des niveaux d'eau dans la mine (puits P₃) à partir des débits du TBO et de la pluie naturelle.

LISTE DES PLANCHES

- Planche I Evolution de la perméabilité avec la profondeur au forage A
- Planche II Evolution de la perméabilité avec la profondeur au forage B
- Planche III Evolution de la perméabilité avec la profondeur au forage C

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 Résultats des essais hydrauliques réalisés dans les forages A, B et C
- Annexe 2 Description du modèle conceptuel équivalent CREAMUL.
- Annexe 3 Données utilisées pour les simulations.
- Annexe 4 Carte de localisation des exutoires de la nappe superficielle à proximité de la mine du Limouzat.

INTRODUCTION

Le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.) a été chargé par l'Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (A.N.D.R.A.) de poursuivre l'étude du système hydrogéologique du site de Saint-Priest-la-Prugne pour préciser son état actuel et pour en suivre l'évolution après la fermeture de la mine existante. Il a été ainsi conduit :

- dans une première phase, en 1980, (contrat n° 1015 du 19 août 1980) à exploiter les données existantes après les avoir complétées par une étude locale et régionale et par des mesures sur les eaux superficielles des hauts bassins de la Besbre et du Sichon. Cette phase a fait l'objet d'un premier rapport en 1980 (B.R.G.M. 80 SGN 766 EAU)
- dans une seconde phase, en 1981 (contrat n° 1051 du 16 novembre 1981) à préciser les caractéristiques hydrogéologiques en profondeur du massif granitique sous l'aire de stockage envisagée, au moyen de trois forages de reconnaissance et d'essais.

Le compte rendu technique des travaux de forage et des essais hydrauliques réalisés au cours de cette seconde phase a fait l'objet d'un premier rapport publié en août 1981 (B.R.G.M. 81 SGN 492 EAU).

On trouvera dans le présent rapport la suite de l'interprétation des données hydrogéologiques acquises sous le site jusqu'au 31 décembre 1981 et les conclusions que l'on peut en déduire. Les données exploitées sont essentiellement de deux types :

- résultats des essais hydrauliques réalisés avant l'arrêt de l'exhaure dans 3 forages (A, B, C) carottés en continu. En fin d'essais les forages ont été équipés pour le contrôle des variations des niveaux d'eau.
- suivi de la remontée naturelle du niveau d'eau dans la mine après arrêt de l'exhaure à la fin du mois de janvier 1981 et observation de son influence dans les 100 premiers mètres du massif granitique.

1 - RAPPEL DU CADRE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL

Le contexte géologique et structural de la mine du Limauzat est décrit en détail dans le rapport concernant les travaux réalisés en 1980 (phase 1 de l'étude - Rapport BRGM 80 SGN 766 EAU p.4 à 14).

Des données géologiques et structurales complémentaires ont été obtenues au cours de la seconde phase grâce à la réalisation en 1981 des trois forages verticaux (A, B, C) carottés en continu (voir figure 1) d'une profondeur comprise entre 60 et 110 m. Les cotes finales atteintes par chaque forage sont voisines de 670 m NGF. Les trois forages sont implantés dans le granite des Bois-Noirs. Plus précisément trois types de granite ont été recoupés :

- . un granite leucocrate équigranulaire à grains grossiers à moyens de type Bois Noirs dans les trois forages.
Il est très souvent cataclasé mais il est toujours recristallisé.
- . un microgranite porphysique souvent cataclassé. Il a été également rencontré dans les trois forages.
- . enfin un granite fin leucocrate observé dans les forages A et C seulement. Il se présente soit sous forme d'enclaves, soit sous forme de petits filaments recoupant le granite des Bois Noirs.

On peut rappeler que, structuralement, la zone est située à l'extrémité d'une lentille délimitée par deux failles d'orientation NW-SE et WNW-ESE d'importance cartographique. Cette zone a joué en compression durant la phase de déformation cassante qui a créé ces décrochements.

L'analyse des carottes des trois forages montre :

- sur les 25 premiers mètres environ [voir planches I à III A (26 m), B (18,5 m) C (23,40 m)] un granite arénisé, fragmenté et décomprimé.

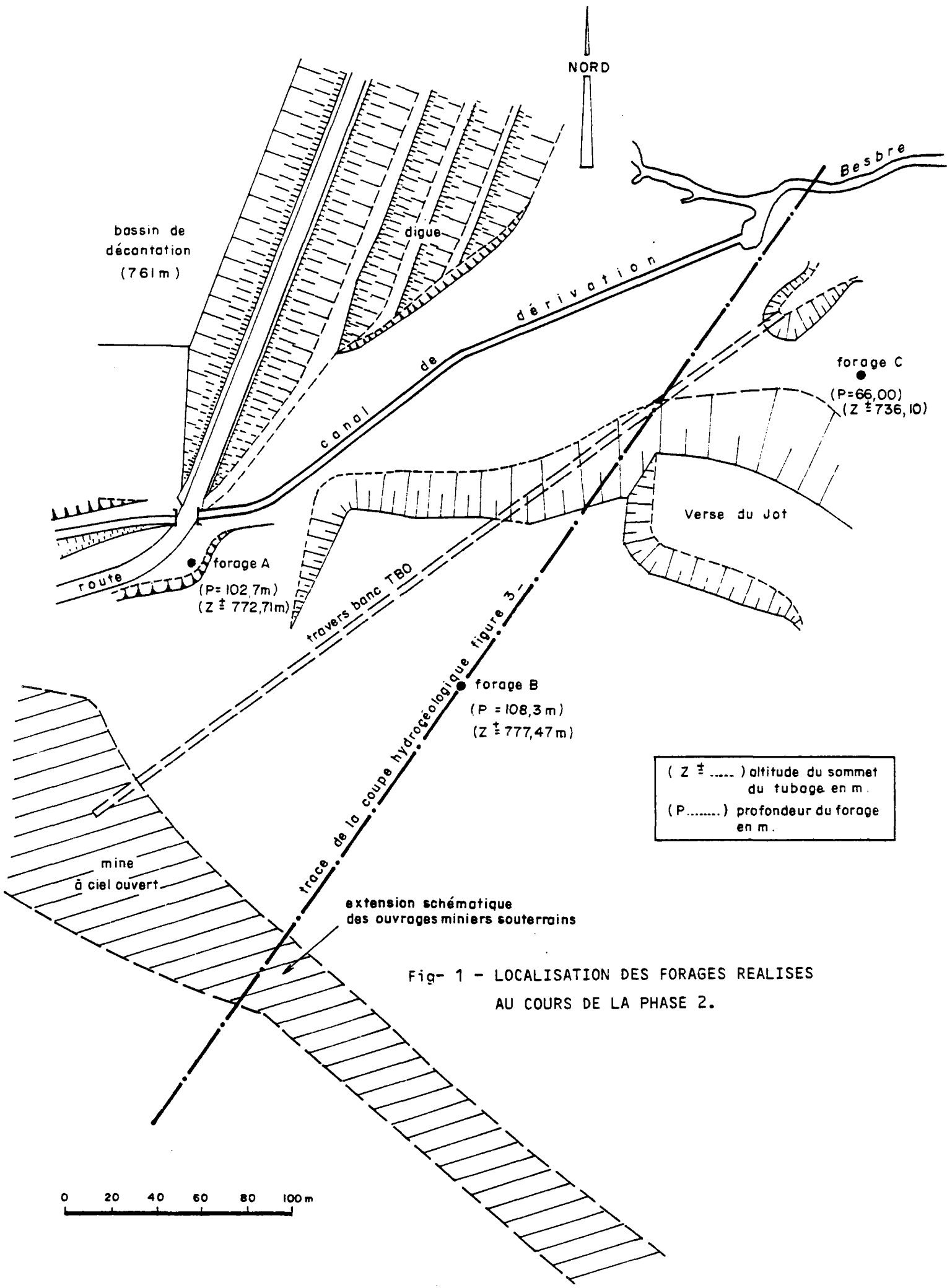
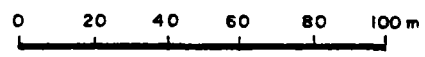


Fig- 1 - LOCALISATION DES FORAGES REALISES AU COURS DE LA PHASE 2.



DIFFUSION DU RAPPORT 82 SGN 1000 STO

"Etude des conditions hydrologiques et
hydrogéologiques du Centre de stockage n° 2
Deuxième phase : 1981 - Interprétation et
résultats"

- 3 ex. CEA - ANDRA
- 1 ex. S. COTTEZ - SGN/EAU
- 1 ex. M. THIERY - SGN/EAU
- 1 ex. M. VAUBOURG - SGN/EAU
- 1 ex. P. PEAUDECERF - SGN/STO

- Plus en profondeur, une densité de fracturation moyenne toujours assez forte de l'ordre de 10 fractures par mètre linéaire. Par ailleurs, il n'a pas été noté de variations significatives de la densité de fracturation d'un forage à l'autre. Cette densité paraît donc homogène dans le volume analysé. Ce qui étant donné la localisation des 3 forages au sein d'une zone ayant joué en compression, apparaît tout à fait logique. De plus, dans les trois sondages on n'observe pas de diminution significative de la densité de fracturation avec la profondeur. On note par contre une certaine diminution de la densité des fractures ouvertes du moins pour les forages A et C.

En conclusion, la densité de fracturation est assez forte et homogène dans les trois dimensions de l'espace, mais les fractures ouvertes sont en moyenne moins nombreuses en profondeur.

2 - CONDITIONS HYDROGEOLOGIQUES SOUS LE SITE

2.1. Perméabilités

Deux types d'essais hydrauliques ont été réalisés :

- . des injections entre double obturateurs ou sous simple obturateur dans les trois forages A, B et C.
- . des "slug-tests" au chocs hydrauliques sur les forages A et B après qu'ils aient été équipés en piézomètre.

L'interprétation de ces essais a été présentée dans le rapport antérieur. Leurs résultats sont rappelés en annexe 1 du présent document. De plus, pour en faciliter la comparaison, on a regroupé sur la même planche pour chacun des forages (planches I, II et III) la distribution verticale des perméabilités, le profil des résistivités, le RQD et une coupe structurale schématique issue de l'analyse des carottes.

D'une façon très globale, on note une diminution de la perméabilité en fonction de la profondeur, cette diminution est particulièrement nette au forage C (planche III).

Au forage A (planche I), les perméabilités décroissent également avec la profondeur mais sont assez groupées autour de la valeur 10^{-8} m/s. Dans le forage B (planche II), au contraire, la dispersion des valeurs de perméabilités est beaucoup plus grande. Des zones faiblement perméables (10^{-9} m/s) séparent, à différentes profondeurs (55 et 85 m en particulier), des zones plus perméables (10^{-8} m/s).

Les plus fortes perméabilités ($> 10^{-7}$ m/s) ont été généralement trouvées à moins de 25 m de profondeur.

Les courbes de distribution en fréquence des valeurs de perméabilités portées à la figure 2, montrent 2 maximum :

- l'un ($K = 5 \times 10^{-9}$ à 10^{-8} m/s) correspond à un granite sain fissuré
- l'autre ($K : 10^{-7}$ à 5×10^{-7} m/s) est lié au granite décomprimé et fragmenté de la zone superficielle de l'ordre de 20 à 25 m.

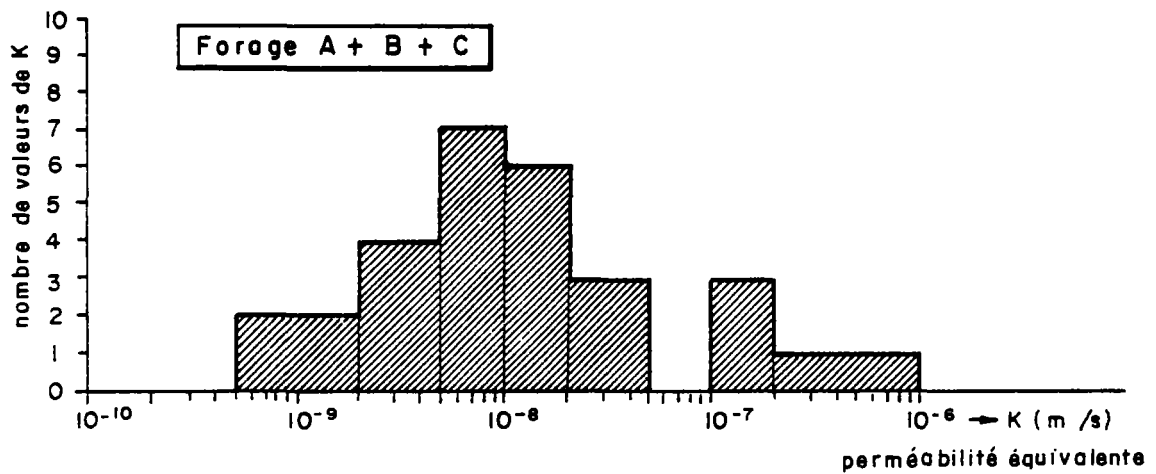
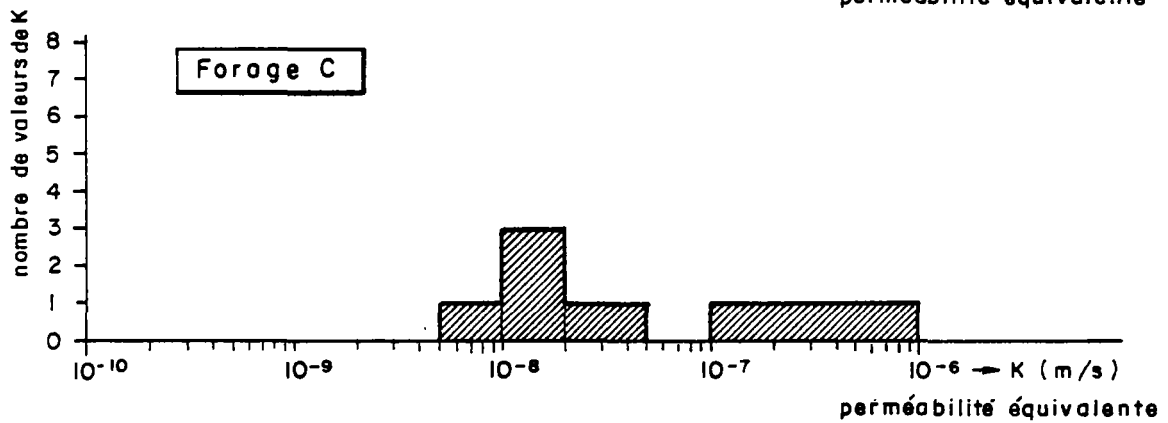
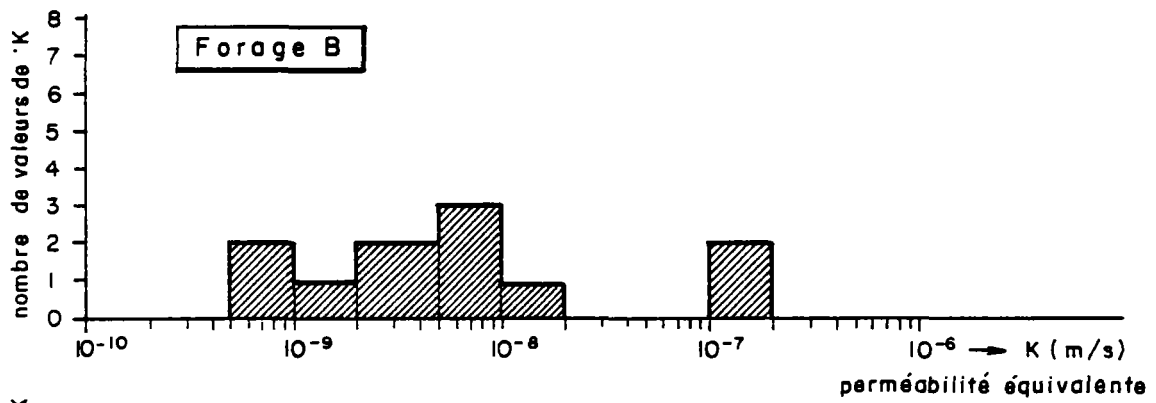
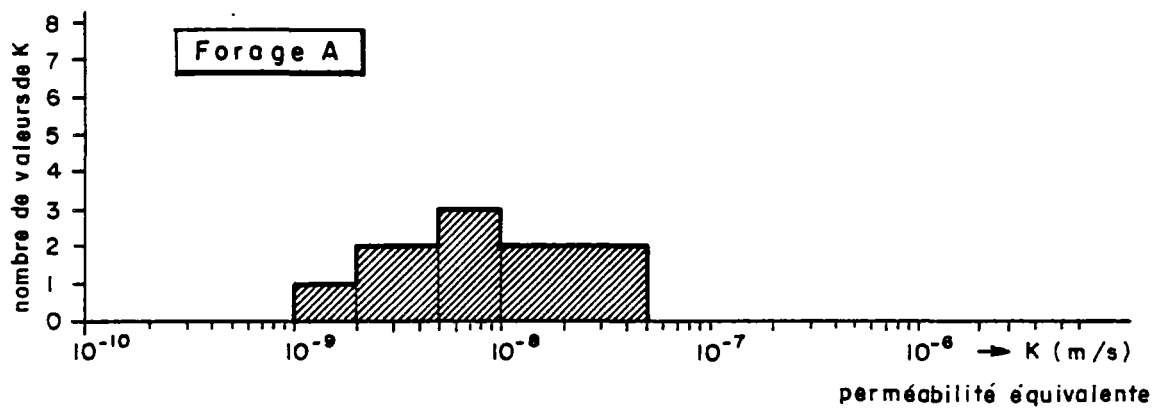
2.2. Charges hydrauliques

Les niveaux d'eau stables mesurés avant et après l'équipement des forages en piézomètres, c'est-à-dire avant et après l'occultation des parties supérieures des forages sont les suivantes :

PROFONDEUR DES NIVEAU D'EAU PAR RAPPORT AU SOL (fin 07/81) : h		
	avant équipement	après équipement
Forage A (+ 772,71*)	trou nu de 9,15 à 102,7 m h : 2,50 m	Crépiné de 47,8 à 102,7 m h : 21,93 m
Forage B (+ 777,47*)	trou nu de 11,85 à 108,3 m h : 5,90 m	Crépiné de 41,5 à 108,3 m h : 26,52 m
Forage C (+ 736,105*)	trou nu de 17,85 m à 66,0 m h : 10,5 m	Crépiné de 34,0 à 66,0 m h : 10,5 m

* Altitude des sommets des tubages.

fig.2 - Distribution en fréquence des perméabilités



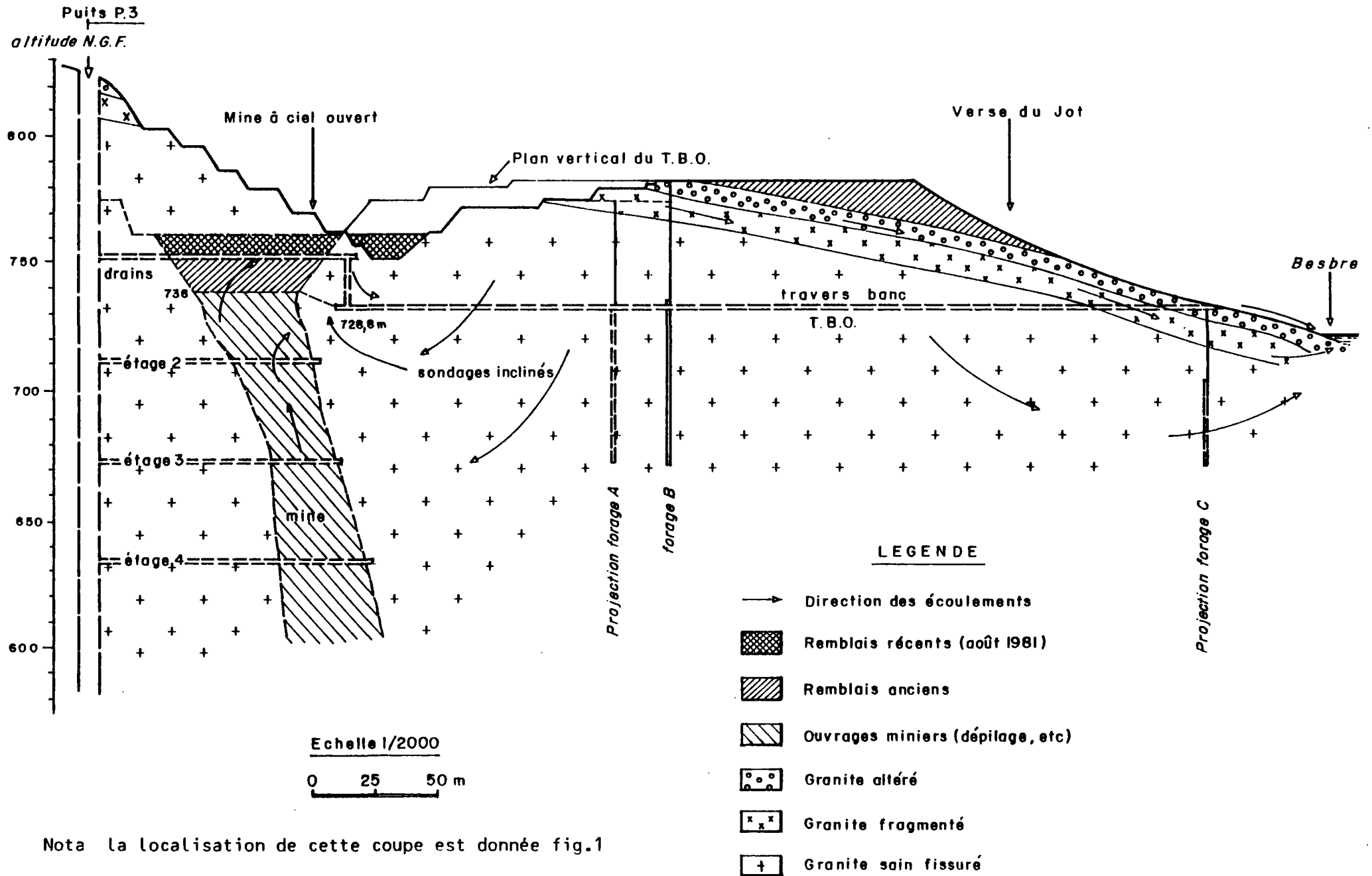
L'altitude de la base des forages est de + 670 m NGF environ tandis que la cote de l'eau dans la mine est, à fin juillet 1981, voisine de 650 m NGF.

Le tableau ci-dessus montre qu'il existe, dans les forages A et B, un fort gradient vertical de charge entre les niveaux superficiels de granite arénisé et fragmenté et les niveaux profonds de granite fissuré. Par contre, le forage C ne montre pas ces différences de niveau. Mais on doit noter qu'il est moins profond, que la zone occultée par le tubage est plus superficielle, qu'il est situé plus près de la Besbre (niveau de base de la nappe superficielle) et surtout plus loin de la mine.

Les répartitions de la fracturation et des perméabilités en fonction de la profondeur ainsi que la présence d'un fort gradient de charge vertical permettent de distinguer dans le massif rocheux deux zones superposées comme le montre la coupe schématique de la figure 3 :

- la première, superficielle, peu perméable (perméabilité équivalente de l'ordre de 10^{-6} à 10^{-7} m/s) au moins une vingtaine de mètres d'épaisseur, elle correspond au granite fragmenté et altéré. Elle contient une nappe que l'on peut considérer comme continue et qui doit s'écouler vers la Besbre. Son niveau d'eau est près du sol et il est pratiquement indépendant des niveaux d'eau dans la mine.
- la partie la plus profonde, dans le granite sain fracturé, est moins perméable encore (perméabilité équivalente de l'ordre de 10^{-8} à 10^{-9} m/s) ; les niveaux piézométriques dans cette zone sont intermédiaires entre ceux de la nappe superficielle et ceux dans les ouvrages miniers. Cette zone qui est le siège d'un fort gradient vertical de charge se comporte d'un point de vue hydrogéologique comme un "semiperméable".
D'une façon générale, un tel gradient vertical de charge ne peut exister que dans une situation piézométrique très perturbée, ce qui explique l'absence d'un tel gradient au forage C plus éloigné de la mine. Ce point est discuté plus en détail au paragraphe 4.1.

Fig.3 - COUPE HYDROGEOLOGIQUE SCHEMATIQUE DU SITE DE SAINT-PRIEST-LA-PRUGNE



3. ANALYSE QUALITATIVE DE L'EVOLUTION DES NIVEAUX D'EAU DANS LA MINE ET DANS LES FORAGES A, B et C.

3.1. Evolution des niveaux d'eau dans la mine (puits P₃)

L'exhaure dans la mine a été arrêtée fin janvier 1981. Depuis cette date jusqu'en septembre 1981, la remontée naturelle du niveau d'eau a été suivie journalièrement au puits P3 par la COGEMA (figure 4). Au delà, les mesures n'ont pu être poursuivies, le puits ayant été remblayé.

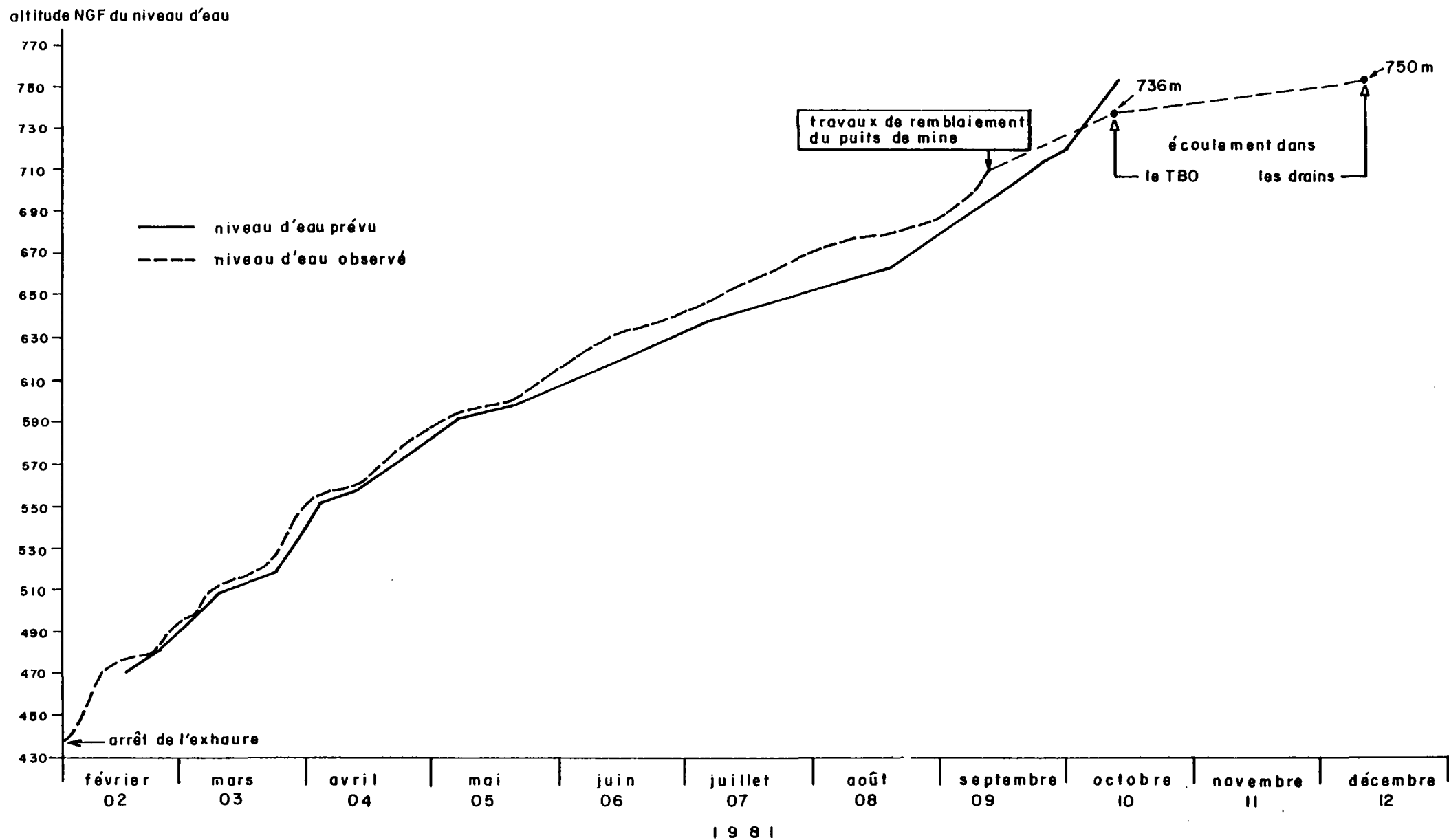
Jusqu'au niveau 736 m (figures 3 et 4), les prévisions de remontée de l'eau dans la mine, établies par la COGEMA, en supposant une totale étanchéité de l'ensemble des ouvrages miniers, ont été respectées à quelques jours près. Les faibles écarts observés ont toujours montré une avance de la remontée réelle sur la remontée prévisionnelle, tout au moins jusqu'à la période de remblayage du puits de mesure. Le 9 octobre 1981, l'eau dans la mine a atteint les extrémités de deux sondages inclinés situés à la cote 736 m. Ces sondages communiquent avec le TBO dont le font est à la cote 728,8 m.

Plus tard, vers le 12 décembre, le débit du TBO a brusquement augmenté (figure 5). Le drain supérieur, situé à la cote 750 m, qui communique avec le TBO (figure 4) était alors en eau.

Le débit d'eau évacué depuis le début d'octobre 1981 par le TBO a eu pour effet de ralentir la remontée des niveaux par rapport aux prévisions, le niveau + 750 m ayant été atteint vers le 12 décembre 1981 au lieu de la mi-octobre.

La conclusion principale de ces observations est la confirmation de la très faible perméabilité du massif granitique profond recoupé par les ouvrages miniers.

Fig.4 - NOYAGE NATUREL DE LA MINE - Evolution des niveaux d'eau dans le puits P.3



3.2. Evolution des niveaux d'eaux dans les forages A, B et C

Les premières mesures datent de la fin du mois de juillet 1981. Après une interruption jusqu'au 7 septembre 1981, elles ont été reprises sur la base de 2 mesures par semaine jusqu'au 31 décembre 1981 (figure 5). Le forage C n'a que très peu réagi : la fluctuation du niveau d'eau sur la période d'observation est toujours restée inférieure à 1 m. Rappelons qu'il est moins profond que les forages A et B et qu'il est situé près de la Besbre et plus loin de la mine.

Globalement on observe une remontée des niveaux d'eau dans les forages A et B mais elle s'accélère à partir d'octobre 1981. On peut noter qu'à la même période la pluie devient efficace. De la même manière, après une baisse des niveaux entre la mi-novembre et fin novembre 1981, la reprise de la remontée au début de décembre 1981 est contemporaine d'un nouvel épisode pluvieux. On note enfin que le ralentissement de la remontée amorcé à la mi-octobre suivi par une stabilisation des niveaux en novembre et décembre 1981 se produit au moment où le TBO commence à débiter.

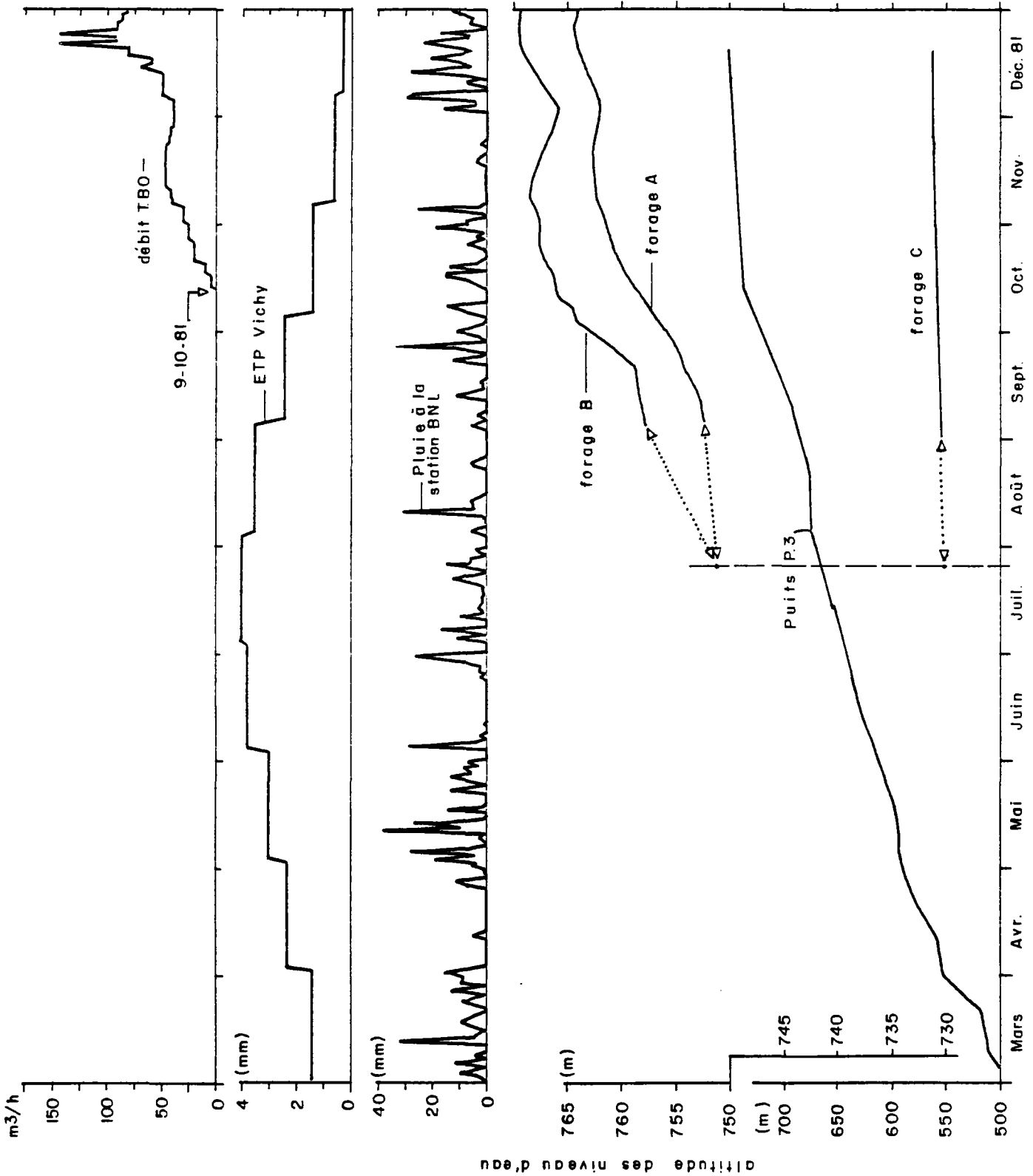
4. INTERPRETATION QUANTITATIVE DES VARIATIONS DE NIVEAUX DANS LA MINE ET DANS LES FORAGES A ET B

L'objectif de l'analyse est de déterminer quantitativement les interactions entre les différentes variables que sont la pluie, les niveaux d'eau dans les forages A, B et dans le puits de mine P3 et les débits mesurés à la sortie du TBO.

Comme nous l'avons vu précédemment, le système physique à étudier est complexe puisque constitué de deux zones aquifères superposées. C'est pourquoi il n'a pas été tenté encore d'en réaliser une modélisation en considérant les paramètres classiques que sont la transmissivité et le coefficient d'emménagement.

Le système a été étudié au moyen d'un modèle conceptuel équivalent.

Fig. 5 - REPRESENTATION GRAPHIQUE DES EVOLUTIONS DES NIVEAUX D'EAU DANS LA MINE ET DANS LES FORAGES A, B ET C, DES VARIATIONS DE DEBITS DANS LE T.B.O. ET DES DONNEES CLIMATIQUES ENTRE MARS ET DECEMBRE 1981.



Ce dernier est caractérisé par une "sortie"(par exemple niveau d'eau, débit) à expliquer par l'influence d'une ou de plusieurs "entrées" (par exemple, le niveau d'eau au puits P3, la pluie efficace ou le débit du TBO). L'hypothèse de base retenue dans ce modèle est que chaque entrée a une influence linéaire sur la sortie par l'intermédiaire d'une fonction de transfert (ou réponse impulsionnelle).

On trouvera une description détaillée de ce modèle à l'annexe n° 2. Les données qui ont été utilisées sont :

- la pluie journalière mesurée à la mine sur la période comprise entre le 1/1 et le 31/12/81
- l'évapotranspiration potentielle. Elle est calculée sur une base mensuelle par la formule TURC à la station de VICHY. Les résultats pour l'année 1981 sont les suivants :

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Evapotranspiration potentielle en mm	9	15	43	69	94	114	123	107	78	44	19	10

Les valeurs journalières ont été obtenues en divisant la valeur mensuelle par le nombre de jours du mois.

- les niveaux d'eau dans les forages A et B : mesurés le 22 juillet 1981 et au rythme de 2 fois par semaine entre le 7 septembre 1981 et le 31 décembre 1981. On dispose ainsi pour chaque forage de 31 mesures dont 30 du 7/9/81 au 31/12 (120 jours).
Pour avoir une série journalière, on a interpolé paraboliquement le niveau pour tous les jours du 7/9 au 31/12/81.
- le niveau d'eau dans la mine (au puits P3). Des mesures journalières sont disponibles du 1/1/81 au 5/9/81. Postérieurement au 5/9/81 les données de niveau ont été extrapolées sur les bases suivantes :
 - * Linéairement entre le 4/9/81 (691,3 m) et le 9/10/81 (736,0 m) date à laquelle le TBO a commencé à débiter
 - * linéairement 9/10/81 et le 12/12/81 date à laquelle on note une brusque augmentation du débit du TBO.

- le débit de débordement de la mine passant par le TBO est considéré comme nul jusqu'au 9 octobre 1981. A partir de cette date, on dispose de mesures journalières jusqu'au 31.12.82.

Toutes ces données (niveaux d'eau dans la mine, dans les forages A et B, pluie, évapotranspiration potentielle, débit du TBO) sont rassemblées à l'annexe 3. Cette annexe concerne la période comprise entre le 1/03/81 et le 31/12/81 (300 jours). Les données antérieures au 1/03/81 n'ont pas été reportées, car les niveaux piézométriques ne sont connues qu'à partir de fin juillet 1981. De plus, on peut estimer que d'une part la réserve utile du sol était saturée jusqu'au 1er mars, d'autre part que les niveaux à étudier ne doivent pas être influencés (à une constante près) par ce qui s'est passé avant cette date.

4.1. Simulation de l'évolution des niveaux d'eau dans les forages A et B

L'analyse qualitative des évolutions des niveaux d'eau dans les forages A et B nous conduit à considérer trois entrées :

- le niveau d'eau dans la mine (au puits P3)
- la pluie et l'évapotranspiration potentielle
- le débit sortant du TBO

Les historiques de niveau au puits P3 sont connus avec précisions jusqu'au début de septembre 1981. Ensuite deux mesures à deux mois d'intervalle sont seulement disponibles. D'où la nécessité de procéder à une extrapolation.

Pendant la même période le TBO a commencé à débiter et l'évolution des niveaux au puits P3 en a été assez largement influencée. En l'absence de mesures précises au puits P3, on ne connaît donc pas exactement les effets de cette influence. Ces mesures auraient été extrêmement utiles surtout à partir de novembre où une décrue et une recharge par les pluies viennent se superposer à l'influence du TBO.

En résumé, les historiques réels de niveau au puits P3 après le 9 octobre 1981 ne sont donc connus qu'indirectement au travers de variations de débits mesurés à la sortie du TBO.

La première simulation a consisté à tester seule l'influence de la remontée des niveaux au puits P3 sur l'évolution des niveaux dans les forages A et B.

La figure 6 montre que l'influence de la remontée des niveaux dans la mine est prépondérante durant cette période. Mais bien que le coefficient de corrélation soit élevé (0,993), la baisse de niveau observée fin novembre, due au tarissement naturel après la recharge par la pluie efficace n'est pas bien reproduite. Dans la seconde simulation, on a testé les influences conjuguées des niveaux d'eau au puits P3 et de la pluie sur les niveaux d'eau dans les forages A et B. La figure 7 montre que la reproduction des niveaux d'eau est plutôt meilleure pour la période antérieure au 9 octobre, c'est-à-dire quand les évolutions de niveau au puits P3 sont connues avec précisions mais qu'ensuite le calage est loin d'être satisfaisant. Le coefficient de corrélation est de 0,978.

A ce stade des simulations, on peut d'ores et déjà affirmer que les niveaux d'eau dans les forages A et B sont influencés de manière prépondérante par la remontée dans la mine et à un moindre niveau par la pluie efficace. Dans la dernière simulation, les influences de la pluie et des variations de niveau au puits P3 mesurées ou "contenues" dans les historiques de débit du TBO, ont été considérées simultanément.

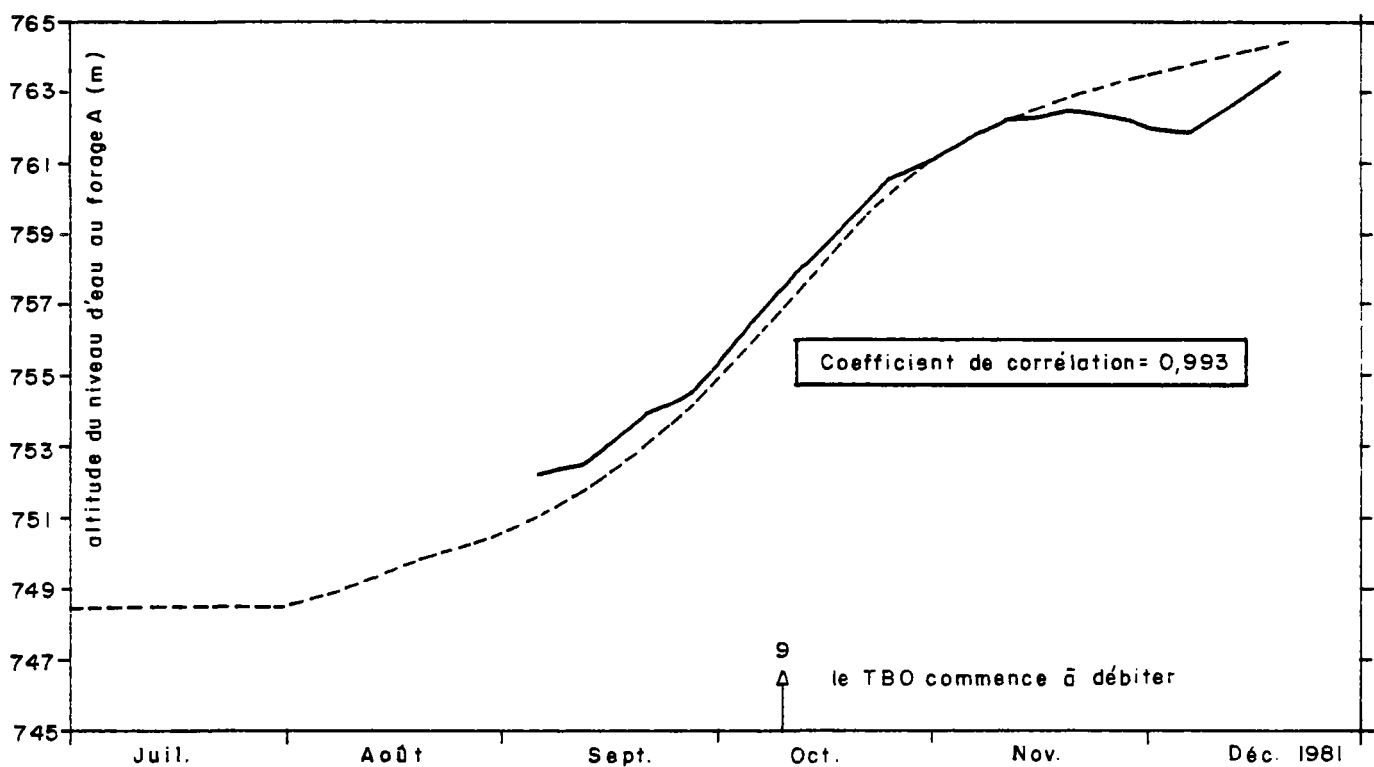
La calage a consisté à ajuster :

- 2 paramètres pour la fonction de transfert de chaque entrée
- 2 paramètres pour le bilan avec l'évapotranspiration potentielle
- 1 paramètre pour le seuil d'influence du niveau en P3.

soit au total 9 paramètres auxquels viennent s'ajouter 3 amplitudes et une constante. (voir tableau ci-après).

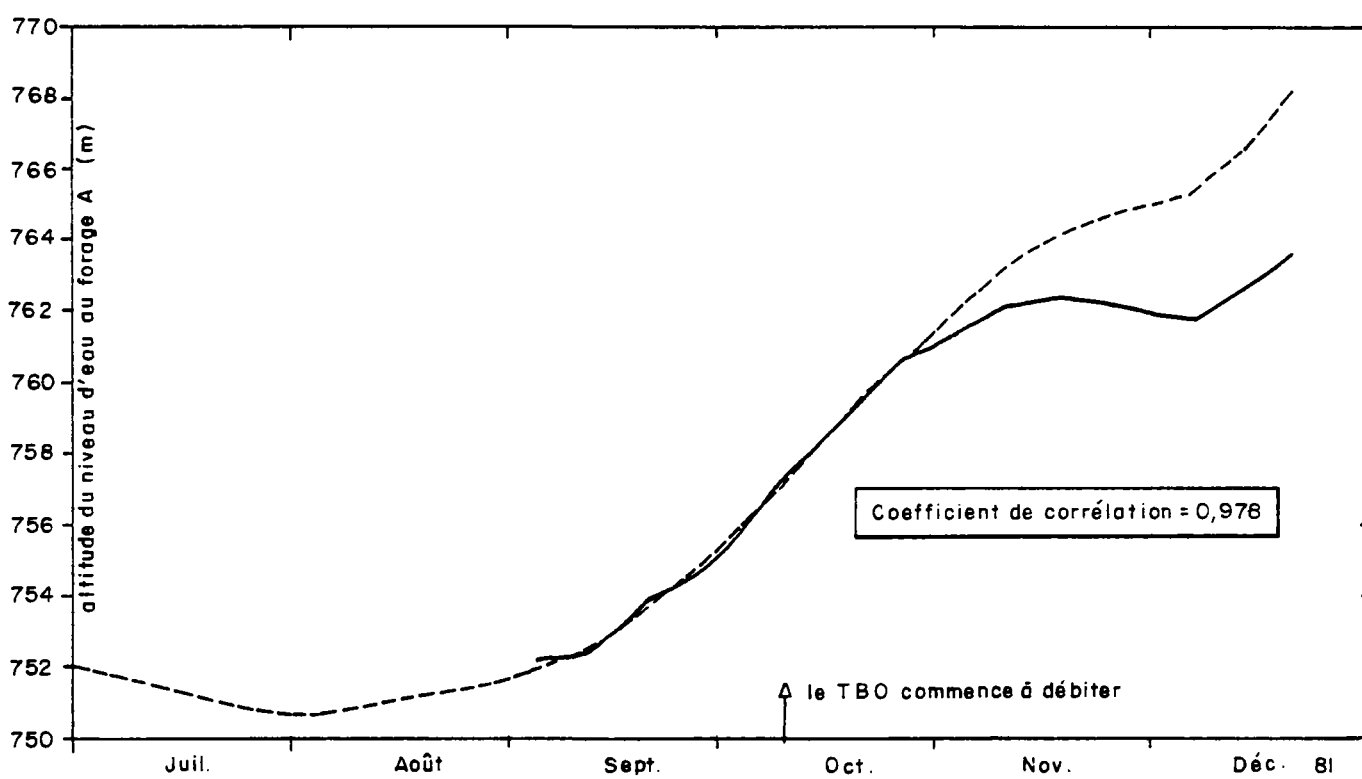
L'ajustement de ces 9 paramètres a permis une très bonne reproduction du niveau dans le forage A (figure 8a) jusqu'en décembre 1981. Le coefficient de corrélation multiple est de 0,9997. Le même type de simulation pour le forage B a donné également d'excellents résultats. Le coefficient de corrélation multiple est alors de 0,9948.

Fig. 6 - REPRODUCTION DE L'EVOLUTION DES NIVEAUX D'EAU AU FORAGE A
A PARTIR DES HISTORIQUES DE NIVEAU D'EAU AU PUIS P.3.



— courbe observée
- - - courbe simulée

Fig. 7 - REPRODUCTION DE L'EVOLUTION DES NIVEAUX D'EAU AU FORAGE A A PARTIR
DES HISTORIQUES DE NIVEAU D'EAU AU PUIS P.3. ET DE LA PLUIE EFFICACE



— courbe observée
- - - courbe simulée

	PLUIE	DEBIT	P ₃
Réserve utile (mm)	101	-	-
Correction de l'ETP en %	+ 4 %	-	-
Temps de demi-montée t _{m2} (en Jour)	15,2	12,3	4,6
Temps de demi-vidange t _{v2} (en Jour)	27,2	13,4	9,5
Seuil d'influence (en m)			662

On remarque que la pluie efficace fait intervenir une réserve utile de l'ordre de 100 mm, c'est une valeur courante sous nos latitudes. Les temps de 1/2 montée et 1/2 vidange montrent que la réaction à la pluie efficace n'est pas instantanée et que le tarissement est assez long. La figure 8b présente la part absolue des différentes influences à la même échelle. L'influence prépondérante de l'évolution des niveaux d'eau dans la mine sur les niveaux des forages A et B est confirmée.

En conclusion, il apparaît donc clairement que la position des niveaux d'eau dans les forages A et B est contrôlée par deux conditions aux limites :

- l'une amont, est constituée par le niveau de la nappe superficielle contenue dans le granite arénisé et fragmenté : celle-ci fluctue vraisemblablement sous l'effet de la pluie efficace
- l'autre aval, est représentée par le niveau d'eau dans la mine.

Cela signifie aussi qu'il existe des liaisons hydrauliques entre la zone superficielle et les ouvrages miniers à travers le réseau des fractures du granite recoupées par les forages A et B. A la figure 9 nous avons schématisé le principe de ces écoulements potentiels à travers le granite fissuré. Au plan pratique des transferts depuis la surface vers les ouvrages miniers sont donc possibles. Ce point mériterait d'être étudié plus en détail.

4.2. Simulation de la remontée du niveau d'eau dans la mine (puits P₃)

Pour mieux comprendre les interactions entre les différentes influences, on a regardé s'il était possible de simuler l'évolution du niveau d'eau dans la mine (puits P₃) à partir de la pluie efficace et du débit du TBO.

Deux influences ont donc été introduites :

- la pluie et l'évapotranspiration potentielle
- le débit du TBO

L'optimisation des paramètres a montré que l'influence des précipitations se produit par la pluie naturelle et non pas la pluie efficace. En effet, la meilleure simulation a été obtenue pour une réserve utile nulle et un coefficient d'ajustement de l'évapotranspiration potentielle (ETP) égal à - 100 %. Ce qui équivaut à une ETP nulle.

Le coefficient de corrélation multiple est de 0.997. La figure 10 montre que la reconstitution est bonne.

Les paramètres identifiés sont les suivants :

Fig.9 - ILLUSTRATION SCHEMATIQUE DES LIAISONS HYDRAULIQUES MISES EN EVIDENCE PAR LA REMONTEE DU NIVEAU D'EAU DANS LA MINE.

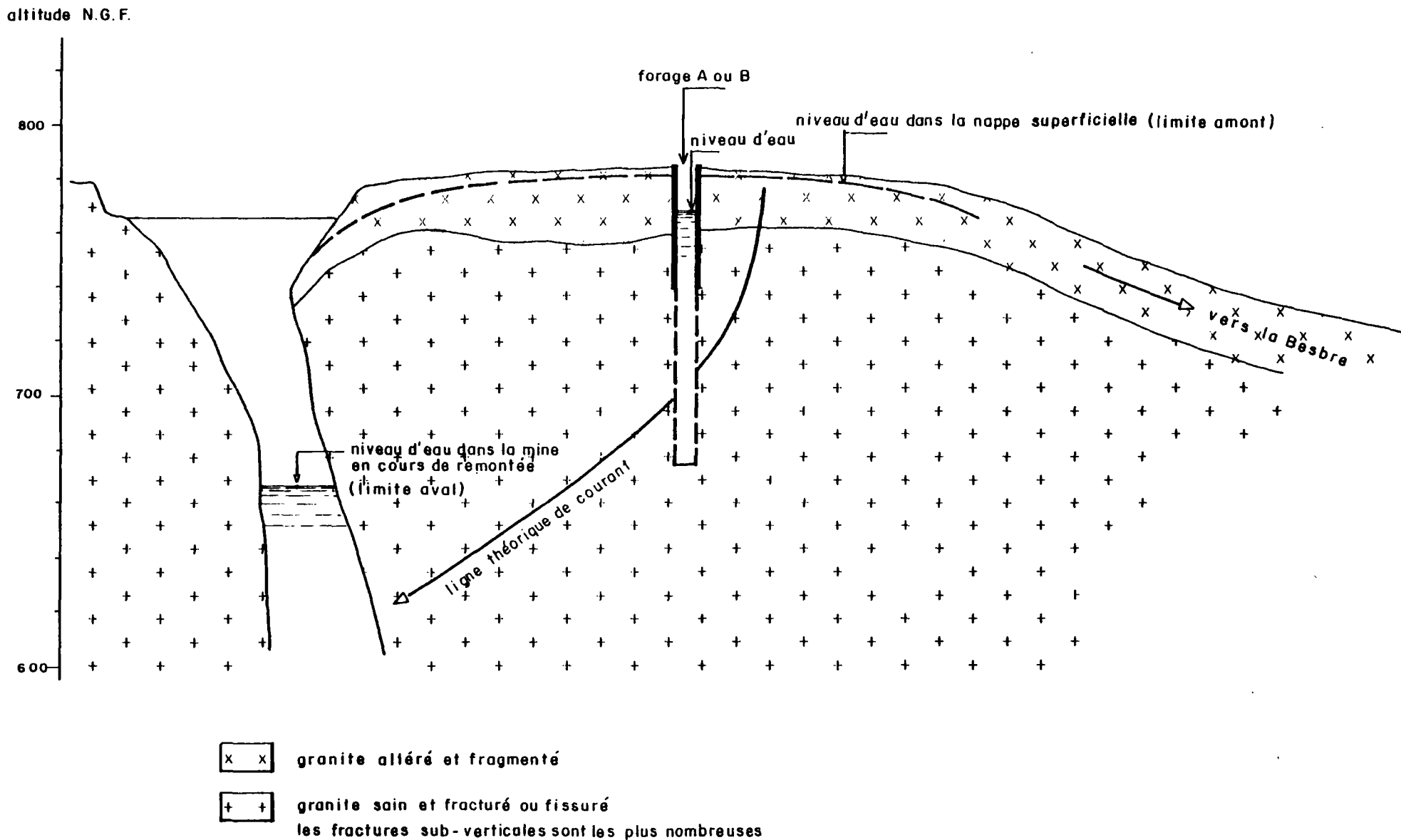
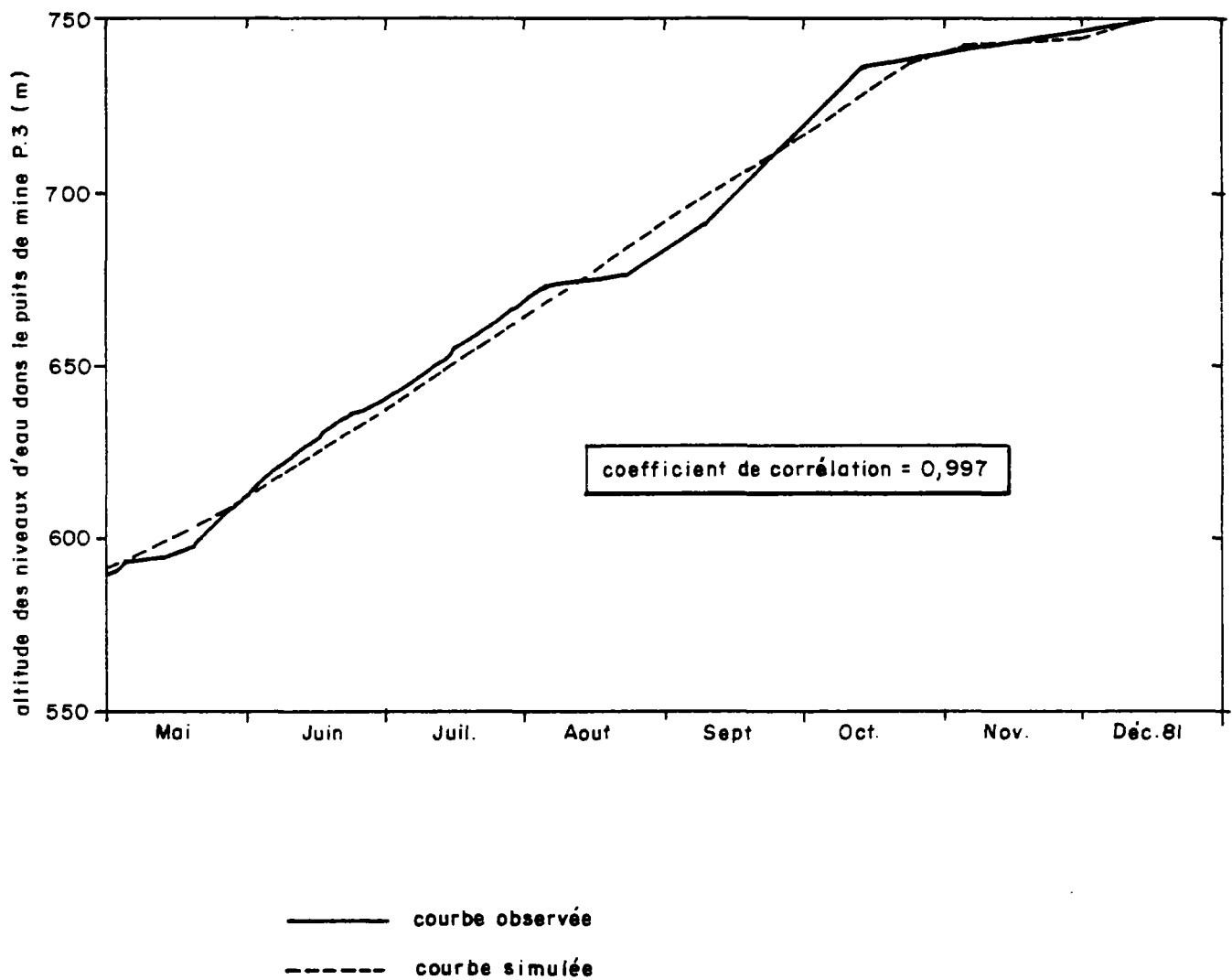


Fig. 10 - REPRODUCTION DE L'EVOLUTION DES NIVEAUX D'EAU DANS LA MINE
(Puits P.3) A PARTIR DES DEBITS AU T.B.O. ET DE LA PLUIE
NATURELLE.



	PLUIE (naturelle)	DEBIT
réserve utile (en mm)	0	-
coefficient de correction de l'ETP (%)	- 100 %	-
Temps de demi- montée (en jour)	110 j **	8,2
Temps de demi- tarissement (en jour)	500 j *	13,8

* maximum autorisé par le modèle

** ce paramètre n'a pas, ici, grande signification

On remarque que le tarissement est extrêmement lent. Ce qui montre que la masse rocheuse autour de la mine peut être considérée comme quasiment imperméable. Ces résultats sont tout à fait conformes à ceux déduits de la vitesse de remontée des eaux évaluée par la COGEMA dans l'hypothèse d'un environnement géologique pratiquement imperméable autour des ouvrages miniers.

5 - EVOLUTION DES DEBITS DES EXUTOIRES NATURELS DE LA NAPPE SUPERFICIELLE SITUES PRES DE LA MINE DU LIMOUZAT.

Les débits des sources qui sont pour partie les exutoires naturels de la nappe superficielle à proximité de la mine du LIMOUZAT ont été jaugés à différentes dates par le CEA/IPSN/DPR/STP. Il est donc possible de comparer leurs valeurs à deux périodes semblables au plan hydrologique (voir tableau n°1) :

- la première série de mesures a été effectuée au début de février 1981, peu après l'arrêt de l'exhaure dans la mine. A cette période, le niveau d'eau dans les ouvrages miniers (cote 445 m) étaient encore très nettement en dessous du sol.
- la seconde série de mesures est postérieure à l'arrivée naturelle des niveaux d'eau dans le puits P3 à la cote 750 m.

On peut noter que ces sources sont situées entre les cotes 720 et 750 m. On trouvera leur localisation à l'annexe 4.

Le tableau montre qu'il n'existe pas d'écarts significatifs entre les débits des exutoires naturels à ces deux dates.

Ce constat suggère que la remontée naturelle du niveau d'eau dans la mine n'a probablement pas d'influence notable sur le débit des exutoires de la nappe superficielle recensés avant l'arrêt de l'exhaure.

TABLEAU n° 1

COMPARAISON DES DEBITS DES EXUTOIRES NATURELS DE LA NAPPE SUPERFICIELLE

N° du point de prélèvement	Type du point de prélèvement	Débit en m ³ /h au début février 1981	Débit en m ³ /h en janvier 1982
1	SOURCE	0,67	0,65
2	SOURCE	1,50	1,60
3	BOURBIER	1,00	1,00
4	SOURCE	1,35	1,32
4 bis	SOURCE	0,60	0,60
5	MARE	6,15	7,70
6	MARE	pas d'écoulement	pas d'écoulement
7	MARE	0,80	0,50
8	MARE	10,30	8,30
9	BOURBIER	0,30	0,70
10	MARE	1,65	1,85
11	CAPTAGE (trop plein)	2,70	3,30
12	SOURCE	0,50	0,80
13	SOURCE	0,70	0,12
14	MARE	0,45	0,28
15	MARE	5,10	
16	MARE	0,70	0,60
17	MARE	23,00	23,00
18	SOURCE	2,00	1,90
19	MARE	2,20	Sec.
20	SOURCE	0,55	0,60
21	SOURCE	23,00	24,60
22	SOURCE	} fort débit	} fort débit
23	SOURCE		
24	SOURCE		
25	BOURBIER		
26	BOURBIER	0,40	0,82
27	SOURCE	0,20	0,47
28	SOURCE	0,05	pas d'écoulement
29	BOURBIER	0,20	0,40
30	SOURCE	2,40	1,30
31	BOURBIER	8,40	6,60
32	SOURCE	1,00	1,60
33	SOURCE	0,20	pas d'écoulement
34	BOURBIER	1,60	2,90
35	SOURCE	1,20	1,00
36	SOURCE	0,50	2,00
37	SOURCE	0,90	0,90
38	SOURCE		0,60

NOTES : 1 - Les jaugeages ont été effectués par le C.E.A./I.P.S.N./D.P.R./S.T.P.
2 - La localisation des points de jaugeages est donnée à l'annexe 4.

CONCLUSION

De l'analyse et de l'interprétation de l'ensemble des données acquises en 1981 sur les conditions hydrologiques et hydrogéologiques sous la zone envisagée pour le stockage, on peut confirmer que :

- les caractéristiques hydrogéologiques locales sont conformes à celles que l'on observe habituellement dans les massifs granitiques sous nos latitudes. Les répartitions de la fracturation, des perméabilités et des niveaux d'eau avec la profondeur permettent de distinguer deux zones superposées :
 - . la première, superficielle, correspondant au granite fragmenté et altéré, d'épaisseur voisine de 20 - 25 m, est peu perméable (perméabilité équivalente de l'ordre de 10^{-6} à 10^{-7} m/s). Elle contient une nappe que l'on peut considérer comme continue et qui s'écoule essentiellement vers la Besbre. Son niveau d'eau est situé à quelques mètres sous la surface du sol et il est pratiquement indépendant des niveaux d'eau dans la mine ;
 - . la seconde, plus profonde, située dans le granite sain fissuré, est encore moins perméable (perméabilité équivalente de l'ordre de 10^{-8} à 10^{-9} m/s). Les charges hydrauliques dans cette zone sont intermédiaires entre celles de la nappe superficielle et celles des ouvrages miniers ;
- la faible perméabilité du substratum granitique profond est également confirmée par :
 - . la concordance entre la remontée prévue par la COGEMA en supposant une totale étanchéité de l'environnement géologique autour des ouvrages miniers et la remontée observée ;
 - . l'influence prépondérante de la pluie naturelle (non corrigée de l'évapotranspiration) sur la remontée de l'eau dans la mine ;

- . la faiblesse des liaisons hydrauliques mises en évidence localement entre la zone superficielle et les ouvrages miniers à travers le réseau des fractures du substratum granitique.

L'ensemble de ces données permettent de dégager deux conclusions principales :

- 1 - les seuls trajets souterrains que l'on peut envisager pour d'éventuels transferts de matière à partir de la zone de stockage, aboutissent à courte distance à la Besbre, soit directement, soit après être passé par les ouvrages miniers ;
- 2 - au droit du site, la faille du Limouzat ne joue aucun rôle hydraulique appréciable.

A N N E X E S

ANNEXE 1

RESULTATS DES ESSAIS HYDRAULIQUES REALISES DANS LES FORAGES

A, B et C (extrait du rapport 81 SGN 492 EAU)

Le programme des essais hydrauliques réalisés au cours de la phase 2 est résumé à la figure -1.1.

REMARQUE : La notion de transmissivité suppose un écoulement bidimensionnel dans un "monocouche", condition non rigoureusement réalisée dans un massif granitique. L'assimilation d'une hauteur de "tranche" explorée à une couche est naturellement une approximation qui tend en général à surestimer la "perméabilité" déduite de la transmissivité apparente.

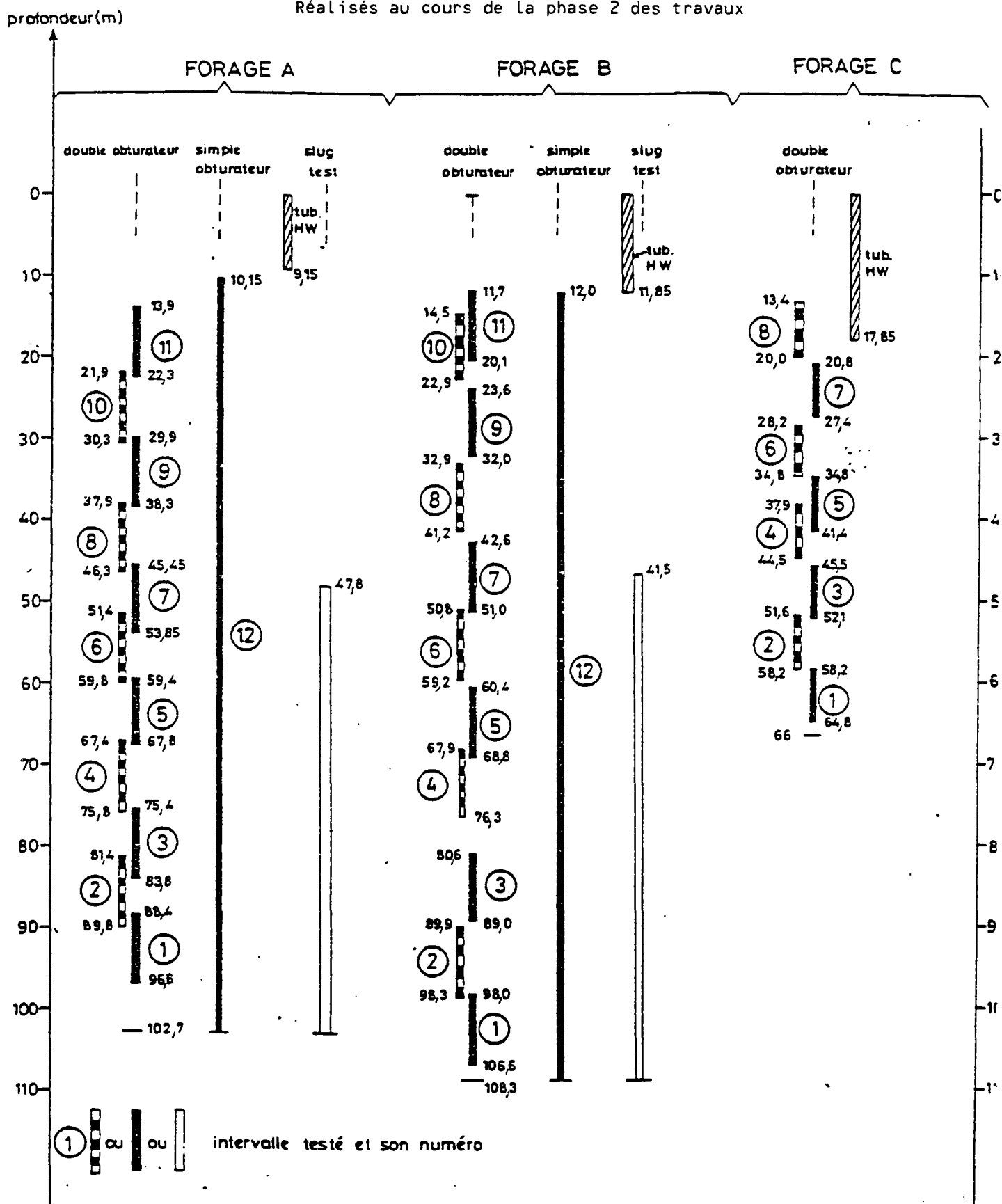
Les termes perméabilité et transmissivité seront donc employés ici dans les sens de perméabilité (ou conductivité hydraulique) et de transmissivité équivalentes.

Les résultats des interprétations sont présentés sous forme de tableaux :

TABLEAU I : Essais d'injection entre double obturateurs
TABLEAU II : Essais d'injection sous simple obturateur
TABLEAU III : Slug Tests ou chocs hydrauliques.

PROGRAMME DES ESSAIS

Réalisés au cours de la phase 2 des travaux



Extrait du rapport - Compte rendu technique des travaux de forage.

TABLEAU I - Résultats des essais d'injection entre double obturateurs

FORAGE A

N° essai	Intervalle testé	Transmissivité équivalente (m ² /s)	Perméabilité équivalente (m/s)
1	86,4 à 96,6 m	1,5 . 10 ⁻⁶	1,6 . 10 ⁻⁹
2	81,4 à 89,6 m	1,8 . 10 ⁻⁶	2,2 . 10 ⁻⁹
3	75,4 à 83,8 m	1,4 . 10 ⁻⁷	1,7 . 10 ⁻⁸
4	67,4 à 75,6 m	2,0 . 10 ⁻⁷	2,4 . 10 ⁻⁸
5	59,4 à 67,6 m	5,0 . 10 ⁻⁶	6,0 . 10 ⁻⁹
6	51,4 à 59,6 m	6,1 . 10 ⁻⁶	7,3 . 10 ⁻⁹
7	45,45 à 53,85 m	3,7 . 10 ⁻⁶	4,4 . 10 ⁻⁹
8	37,9 à 46,3 m	1,5 . 10 ⁻⁷	1,6 . 10 ⁻⁸
9	29,3 à 36,3 m	5,7 . 10 ⁻⁶	6,8 . 10 ⁻⁹
10	21,9 à 30,3 m	1,8 . 10 ⁻⁷	2,1 . 10 ⁻⁶
11	19,9 à 22,3 m	incident ⁱⁱ	
	Total (1 à 10)	9,1 . 10 ⁻⁷ m ² /s	

FORAGE B

1	98,2 à 106,6 m	1,4 . 10 ⁻⁸	4,9 . 10 ⁻⁹
2	89,9 à 96,3 m	5,8 . 10 ⁻⁹	6,9 . 10 ⁻¹⁰
3	80,6 à 89,0 m	1,5 . 10 ⁻⁸	1,6 . 10 ⁻⁹
4	67,86 à 76,26 m	5,0 . 10 ⁻⁸	6,0 . 10 ⁻⁹
5	60,36 à 68,76 m	4,7 . 10 ⁻⁸	5,6 . 10 ⁻⁹
6	50,6 à 59,2 m	4,4 . 10 ⁻⁹	5,2 . 10 ⁻¹⁰
7	42,6 à 51,0 m	9,7 . 10 ⁻⁸	1,1 . 10 ⁻⁸
8	32,9 à 41,2 m	douteux ⁱⁱ	
9	23,6 à 32,0 m	3,9 . 10 ⁻⁶	4,6 . 10 ⁻⁹
10	14,50 à 22,9 m	8,7 . 10 ⁻⁷	1,0 . 10 ⁻⁷
11	11,7 à 20,1 m	1,1 . 10 ⁻⁶	1,3 . 10 ⁻⁷
	Total (1 à 11, 8 excepté)	2,3 . 10 ⁻⁶ m ² /s	

FORAGE C

1	64,6 à 58,2 m	6,9 . 10 ⁻⁸	8,2 . 10 ⁻⁹
2	51,6 à 58,2 m	9,4 . 10 ⁻⁸	1,1 . 10 ⁻⁸
3	45,5 à 52,1 m	1,3 . 10 ⁻⁷	1,5 . 10 ⁻⁸
4	37,9 à 44,5 m	1,3 . 10 ⁻⁷	1,5 . 10 ⁻⁸
5	34,8 à 41,4 m	2,0 . 10 ⁻⁷	2,4 . 10 ⁻⁸
6	28,2 à 34,8 m	1,7 . 10 ⁻⁶	2,0 . 10 ⁻⁷
7	20,8 à 27,4 m	1,6 . 10 ⁻⁶	1,9 . 10 ⁻⁷
8	13,4 à 20,0 m	7,3 . 10 ⁻⁶	8,7 . 10 ⁻⁷
	Total (1 à 8)	1,1 . 10 ⁻⁵ m ² /s	

TABLEAU II - Résultats des essais d'injection sous simple obturateur

	N° essai	Intervalle testé	Niveau statique	Transmissivité équivalente (m ² /s)
<u>FORAGE A</u>	12	10,15 à 112,3 m	2,50 m (P1)	$1,4 \cdot 10^{-6}$
			21,93 m (P2)	$7,7 \cdot 10^{-7}$
<u>FORAGE B</u>	12	12,0 à 108,3 m	5,90 m (P1)	$4,6 \cdot 10^{-6}$
			26,52 m (P2)	$2,4 \cdot 10^{-6}$

TABLEAU III - Résultats des "slug tests" ou des chocs hydrauliques

	Surcharge initiale H ₀ (m)	Transmissivité(m ² /s) équivalente
<u>FORAGE A</u>	5,05	$1,6 \times 10^{-6}$
<u>FORAGE B</u>	4,90	$6,0 \times 10^{-7}$

DESCRIPTION DU MODELE CONCEPTUEL EQUIVALENT CREAMUL

1. Principe du modèle conceptuel équivalent

Le modèle conceptuel équivalent, utilisé dans le cadre de cette étude est caractérisé par une "sortie" à expliquer par l'influence d'une ou plusieurs "entrées".

Les entrées peuvent être de plusieurs types :

- a) pluie rendue efficace par comparaison avec l'évapotranspiration potentielle et l'état d'une réserve utile (représentant l'état hydraulique au sol). Ce bilan dans la zone non saturée fait intervenir 3 paramètres globaux :
- . la capacité de la réserve utile
 - . un coefficient de correction global de l'évapotranspiration potentielle calculée
 - . un seuil de ruissellement au dessus duquel les pluies excédentaires ruissellent directement en surface (c'est une "capacité maximale d'absorption").
- b) influence linéaire simple (ex : niveau ou débit)
- c) influence linéaire d'une variable quand elle dépasse un seuil. Cette possibilité a été introduite dans le modèle spécialement pour cette étude pour représenter l'effet du niveau dans la mine (Puits P3) qui n'aurait un effet qu'à partir du moment où est atteint un niveau seuil correspondant par exemple à un horizon fissuré en communication avec la base des piézomètres.

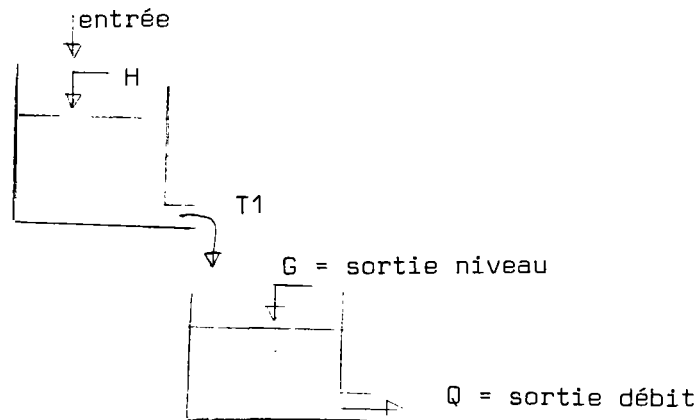
Les sorties, de leur côté, peuvent être de deux types :

- a) un niveau d'eau : c'est un état (symbolisé dans le modèle par un niveau d'eau dans un réservoir).
- b) un débit : c'est un flux symbolisé dans le modèle par le débit de vidange d'un réservoir.

L'hypothèse de base est que chaque entrée (pluie efficace, débit, niveau au dessus d'un seuil) a une influence linéaire sur la sortie. Une entrée produit donc sur la sortie une influence par l'intermédiaire d'une fonction de transfert (ou réponse impulsionnelle) représentée dans le modèle par 2 réservoirs caractérisés :

- . l'un par un temps de demi-montée (t_{m2})
- . l'autre par un temps de demi-vidange (ou demi tarissement) (t_{v2})

Ces deux réservoirs sont disposés en série :



Le réservoir H se vidange dans le réservoir G suivant la loi :
 $dH = H/T_1$. Par définition, le temps de demi-montée tm_2 est le temps nécessaire pour que le réservoir H se vidange à moitié (en l'absence d'entrée). On a alors la relation :

$$T_1 = 1 / \left[1 - \exp \left(- \frac{\ln 2}{tm_2} \right) \right] \quad \text{Ln : logarithme Neperien}$$

Le temps de demi vidange t_{v2} est le temps nécessaire pour que le réservoir étant vide, le réservoir G se vidange à moitié. On a alors la relation :

$$T_2 = 1 / \left[1 - \exp \left(- \frac{\ln 2}{t_{v2}} \right) \right]$$

en appelant tv_{90} le temps correspondant à 90 % de la vidange on aurait

$$tv_{90} = \frac{\ln 90}{\ln 2} \quad tv_2 \quad \text{soit} \quad tv_{90} = 6,5 \quad tv_2$$

La sortie est alors une fonction linéaire (on devrait dire affine) des influences de chaque entrée : soient les entrées E_1, E_2, \dots, E_n qui produisent les influences I_1, I_2, \dots, I_n la sortie S est obtenue par $S = a_1 I_1 + a_2 I_2 + \dots + a_n I_n + a_{n+1}$

Ce modèle construit par le B.R.G.M. permet, dans sa version actuelle, de faire intervenir un maximum de 5 entrées simultanées. Ce qui est en général suffisant dans la plupart des cas.

2. Principe du calage du modèle

Le calage consiste à ajuster tous les paramètres du modèle de façon à ce qu'il reproduise le mieux possible le phénomène étudié (qui est la sortie du modèle).

Ces paramètres sont de 3 types ; pour chaque entrée

a) les paramètres de non linéarité :

. réserve utile, correction d'évapotranspiration potentielle, seuil de ruissellement ou seuil d'influence

b) les 2 paramètres de la fonction de transfert t_m et t_v

c) le paramètre d'amplitude a_i

Par une suite d'essais successifs et à l'aide d'une méthode de tâtonnements améliorée (la méthode de ROSEMBROCK bien connue en hydrologie et en analyse de système), on détermine l'ensemble des paramètres a) et b) qui produisent des influences permettant d'obtenir par régression multiple la sortie ayant le plus fort coefficient de corrélation (multiple) avec la sortie mesurée. On obtient par la même occasion les coefficients d'amplitudes a_1 et a_{n+1}

ANNEXE 3

DONEES UTILISEES POUR LES SIMULATIONS

J = jour

M = mois

A = année

Puits de A la station				Puits de A la station			
DATE	mine P3	BNL - Pluie	ETP	DATE	mine P3	BNL - Pluie	ETP
J M A	(m)	(mm)	(mm)	J.M.A	(m)	(mm)	(mm)
10381	446.5	1.5	1.4	10581	590.4	2.4	3.0
20381	497.8	3.9	1.4	20581	591.0	19.4	3.0
30381	498.8	10.6	1.4	30581	592.8	5.4	3.0
40381	500.0	4.0	1.4	40581	593.1	28.8	3.0
50381	501.5	0.2	1.4	50581	593.3	7.2	3.0
60381	504.8	11.3	1.4	60581	593.6	0.8	3.0
70381	508.4	0.8	1.4	70581	593.8	0.2	3.0
80381	510.3	4.4	1.4	80581	594.0	2.7	3.0
90381	512.5	0.0	1.4	90581	594.2	0.4	3.0
100381	513.4	0.1	1.4	100581	594.4	38.2	3.0
110381	513.9	0.0	1.4	110581	594.6	8.8	3.0
120381	514.3	32.0	1.4	120581	594.9	27.3	3.0
130381	514.7	5.9	1.4	130581	595.2	1.7	3.0
140381	515.1	2.4	1.4	140581	595.7	0.1	3.0
150381	515.6	1.2	1.4	150581	596.2	0.5	3.0
160381	516.1	5.6	1.4	160581	596.8	13.4	3.0
170381	516.7	9.5	1.4	170581	597.3	1.5	3.0
180381	517.3	5.9	1.4	180581	597.8	0.0	3.0
190381	517.8	1.3	1.4	190581	598.8	0.1	3.0
200381	518.5	0.0	1.4	200581	600.5	0.0	3.0
210381	521.0	0.0	1.4	210581	601.9	12.7	3.0
220381	525.0	4.7	1.4	220581	603.2	0.4	3.0
230381	528.3	9.8	1.4	230581	604.6	0.0	3.0
240381	531.3	2.6	1.4	240581	605.8	9.2	3.0
250381	535.0	0.1	1.4	250581	607.1	12.7	3.0
260381	538.8	12.8	1.4	260581	608.3	5.0	3.0
270381	542.1	0.0	1.4	270581	609.8	8.4	3.0
280381	545.5	8.2	1.4	280581	611.1	2.7	3.0
290381	549.0	4.6	1.4	290581	612.7	7.2	3.0
300381	551.1	8.3	1.4	300581	613.8	1.4	3.0
310381	553.0	15.3	1.4	310581	614.4	0.0	3.0
10481	553.6	6.9	2.3	10681	616.0	0.0	3.8
20481	554.1	0.0	2.3	20681	617.0	0.0	3.8
30481	554.5	0.2	2.3	30681	618.0	29.8	3.8
40481	555.0	0.1	2.3	40681	619.2	4.1	3.8
50481	555.4	0.0	2.3	50681	620.4	0.0	3.8
60481	555.8	0.8	2.3	60681	621.4	2.2	3.8
70481	556.3	0.0	2.3	70681	622.6	0.0	3.8
80481	556.9	0.1	2.3	80681	623.6	0.0	3.8
90481	557.5	0.1	2.3	90681	624.6	0.8	3.8
100481	558.8	3.3	2.3	100681	625.6	0.0	3.8
110481	561.4	4.6	2.3	110681	626.5	0.1	3.8
120481	563.5	0.1	2.3	120681	627.5	0.0	3.8
130481	565.3	0.0	2.3	130681	628.5	0.0	3.8
140481	567.0	0.2	2.3	140681	629.5	0.0	3.8
150481	568.7	0.0	2.3	150681	630.4	0.0	3.8
160481	570.8	0.0	2.3	160681	632.5	0.0	3.8
170481	573.4	0.0	2.3	170681	633.2	0.0	3.8
180481	574.8	0.0	2.3	180681	634.0	0.0	3.8
190481	576.2	0.0	2.3	190681	634.6	0.0	3.8
200481	577.5	0.0	2.3	200681	635.0	0.0	3.8
210481	578.6	0.0	2.3	210681	636.6	0.0	3.8
220481	580.6	0.0	2.3	220681	636.1	2.0	3.8
230481	580.9	0.0	2.3	230681	636.5	0.0	3.8
240481	583.0	0.0	2.3	240681	637.0	2.3	3.8
250481	584.5	7.6	2.3	250681	637.6	2.0	3.8
260481	586.3	11.2	2.3	260681	638.2	7.5	3.8
270481	587.5	0.0	2.3	270681	639.2	16.3	3.8
280481	589.1	0.4	2.3	280681	639.7	27.6	3.8
290481	590.0	1.0	2.3	290681	640.4	0.5	3.8
300481	590.4	5.9	2.3	300681	641.3	0.0	3.8

DATE J.M.A	Niveau d'eau dans les forages		Puits de mine CP3 -700m (m)	à la station chantier BNL Pluie (mm)	ETP (mm)
	A - 700 m	B - 700 m			
10781			642.1	0.0	4.0
20781			642.9	0.0	4.0
30781			643.7	10.9	4.0
40781			644.7	0.0	4.0
50781			645.5	15.5	4.0
60781			645.3	0.0	4.0
70781			647.1	0.0	4.0
80781			648.0	0.0	4.0
90781			648.9	9.6	4.0
100781			649.7	0.6	4.0
110781			650.6	2.8	4.0
120781			651.4	2.1	4.0
130781			654.4	1.2	4.0
140781			655.0	1.6	4.0
150781			655.8	1.2	4.0
160781			656.6	0.4	4.0
170781			657.5	0.7	4.0
180781			658.4	1.6	4.0
190781			659.2	12.6	4.0
200781			660.1	5.6	4.0
210781			661.0	0.4	4.0
220781			662.1	0.0	4.0
230781	50.78	50.95	663.2	14.0	4.0
240781	50.78	50.95	664.1	5.0	4.0
250781			665.1	5.4	4.0
260781			666.0	0.0	4.0
270781			667.1	3.7	4.0
280781			668.1	5.0	4.0
290781			669.1	0.0	4.0
300781			670.1	0.0	4.0
310781			670.9	0.0	4.0
<hr/>					
10881			671.5	2.1	3.5
20881			672.2	4.8	3.5
30881			672.7	0.1	3.5
40881			673.1	0.0	3.5
50881			673.4	0.0	3.5
60881			673.6	1.6	3.5
70881			673.8	31.4	3.5
80881			674.0	4.6	3.5
90881			674.2	4.7	3.5
100881			674.4	4.2	3.5
110881			674.5	5.1	3.5
120881			674.6	1.0	3.5
130881			674.8	0.0	3.5
140881			674.9	0.1	3.5
150881			675.1	0.0	3.5
160881			675.3	0.0	3.5
170881			675.6	0.0	3.5
180881			675.9	0.0	3.5
190881			676.3	0.0	3.5
200881			677.0	4.3	3.5
210881			677.9	5.4	3.5
220881			678.7	0.0	3.5
230881			679.5	0.9	3.5
240881			680.4	0.0	3.5
250881			681.3	0.0	3.5
260881			682.2	0.0	3.5
270881			683.0	0.0	3.5
280881			683.9	0.0	3.5
290881			684.9	0.0	3.5
300881			685.7	0.0	3.5
310881			686.6	5.8	3.5

DATE J.M.A	A -700m	B -700m	C	P3 (m)	Pluie (mm)	Débit TBO m3/h	ETP (mm)
10981				687.5	0.0		2.4
20981				688.4	0.0		2.4
30981				689.4	3.4		2.4
40981				690.0	0.0		2.4
50981				691.3	0.0		2.4
60981				692.6	0.0		2.4
70981	52.41	57.87		693.4	0.0		2.4
80981				695.3	11.2		2.4
90981				696.6	4.8		2.4
100981	52.80	58.00		697.4	1.1		2.4
110981				699.2	0.9		2.4
120981				700.5	2.1		2.4
130981				701.8	0.7		2.4
140981				703.1	0.1		2.4
150981				704.5	0.0		2.4
160981	53.90	58.30		705.8	0.1		2.4
170981				707.1	0.0		2.4
180981				708.4	12.8		2.4
190981				709.7	1.5		2.4
200981				711.0	0.0		2.4
210981				712.3	11.2		2.4
220981				713.7	34.5		2.4
230981	54.70	50.70		715.0	0.3		2.4
240981				716.3	0.1		2.4
250981				717.6	2.5		2.4
260981				718.9	11.5		2.4
270981				720.2	4.8		2.4
280981				721.5	1.0		2.4
290981	56.00	53.30		722.9	0.0		2.4
300981				724.2	0.0		2.4
11081				725.5	4.6		1.4
21081	56.80	53.90		726.8	8.3		1.4
31081				728.1	14.5		1.4
41081				729.4	0.0		1.4
51081				730.7	0.0		1.4
61081	57.70	55.20		732.1	0.0		1.4
71081				733.4	0.0		1.4
81081				734.7	0.1		1.4
91081	58.20	55.50		736.0	2.9	4.	1.4
101081				736.2	5.3	4.	1.4
111081				736.4	14.0	4.	1.4
121081				736.6	14.7	4.	1.4
131081	59.10	56.00		736.8	0.0	8.	1.4
141081				737.1	13.7	10.	1.4
151081				737.3	3.1	8.	1.4
161081	59.70	66.60		737.5	0.0	20.	1.4
171081				737.7	0.0	20.	1.4
181081				737.9	0.1	20.	1.4
191081				738.1	0.0	20.	1.4
201081	60.40	55.90		738.3	7.0	20.	1.4
211081				738.5	4.7	20.	1.4
221081				738.8	0.7	25.	1.4
231081	60.70	67.00		739.0	3.0	25.	1.4
241081				739.2	0.9	25.	1.4
251081				739.4	17.1	25.	1.4
261081				739.6	6.1	25.	1.4
271081	61.10	57.00		739.8	7.0	30.	1.4
281081				740.0	0.0	30.	1.4
291081				740.2	0.0	30.	1.4
301081	61.49	57.46	725,88	740.5	24.6	30.	1.4
311081				740.6	2.5	30.	1.4

DATE	A	B	C	PS m	Pluie (mm)	DEBIT TBD (m3/h)	ETP (mm)
J M A	- 700 m - 700 m						
11181				740.7	0.0	40.	0.6
21181				740.9	0.0	40.	0.6
31181	61.91	57.87	725,94	741.1	0.0	42.	0.6
41181				741.3	0.0	42.	0.6
51181				741.5	0.0	42.	0.6
61181				741.7	0.1	43.	0.6
71181				741.9	0.1	43.	0.6
81181				742.2	0.0	43.	0.6
91181	62.10	57.67	725,74	742.4	0.0	43.	0.6
101181				742.6	0.0	43.	0.6
111181				742.8	0.0	43.	0.6
121181	62.24	57.28	725,55	743.0	2.5	43.	0.6
131181				743.2	2.7	43.	0.6
141181				743.4	0.0	43.	0.6
151181				743.6	0.1	43.	0.6
161181	62.20	55.59	725,60	743.8	0.0	43.	0.6
171181				744.1	1.7	43.	0.6
181181				744.3	0.0	43.	0.6
191181				744.5	0.0	43.	0.6
201181	62.01	55.09	725,55	744.7	0.0	42.	0.6
211181				744.9	0.0	42.	0.6
221181				745.1	0.1	40.	0.6
231181	61.88	55.72	725,51	745.3	0.3	40.	0.6
241181				745.5	0.3	40.	0.6
251181				745.8	0.0	40.	0.6
261181				746.0	0.3	40.	0.6
271181	61.69	55.24	725,52	746.2	15.1	40.	0.6
281181				746.4	2.5	40.	0.6
291181				746.6	3.6	40.	0.6
301181	61.57	55.79	725,99	746.8	29.4	40.	0.6
11281				747.1	24.8	50.	0.3
21281				747.3	0.1	48.	0.3
31281				747.5	0.1	48.	0.3
41281				747.7	7.0	48.	0.3
51281				748.1	0.2	48.	0.3
61281				748.4	6.6	48.	0.3
71281	62.57	57.40	725,90	748.7	27.9	48.	0.3
81281				748.9	15.6	50.	0.3
91281				749.2	5.2	58.	0.3
101281				749.5	10.8	55.	0.3
111281	63.13	58.26	726,23	749.7	19.8	55.	0.3
121281				750.0	5.4	80.	0.3
131281					4.0	80.	0.3
141281	63.50	58.79	726,33		16.4	80.	0.3
151281					23.0	140.	0.3
161281					6.6	90.	0.3
171281					6.0	90.	0.3
181281	63.52	59.01	726,31		16.6	140.	0.3
191281					0.0	90.	0.3
201281					1.2	90.	0.3
211281	63.91	59.03	726,20		5.8	90.	0.3
221281					4.8	85.	0.3
231281					6.2	85.	0.3
241281	63.65	58.96	726,02		12.8	80.	0.3
251281					1.0	80.	0.3
261281					2.4	80.	0.3
271281					9.1	75.	0.3
281281	63.60	58.94	726,08		2.1	75.	0.3
291281					15.9	90.	0.3
301281					2.0	80.	0.3
311281	63.69	59.05	726,26		7.3	80.	0.3



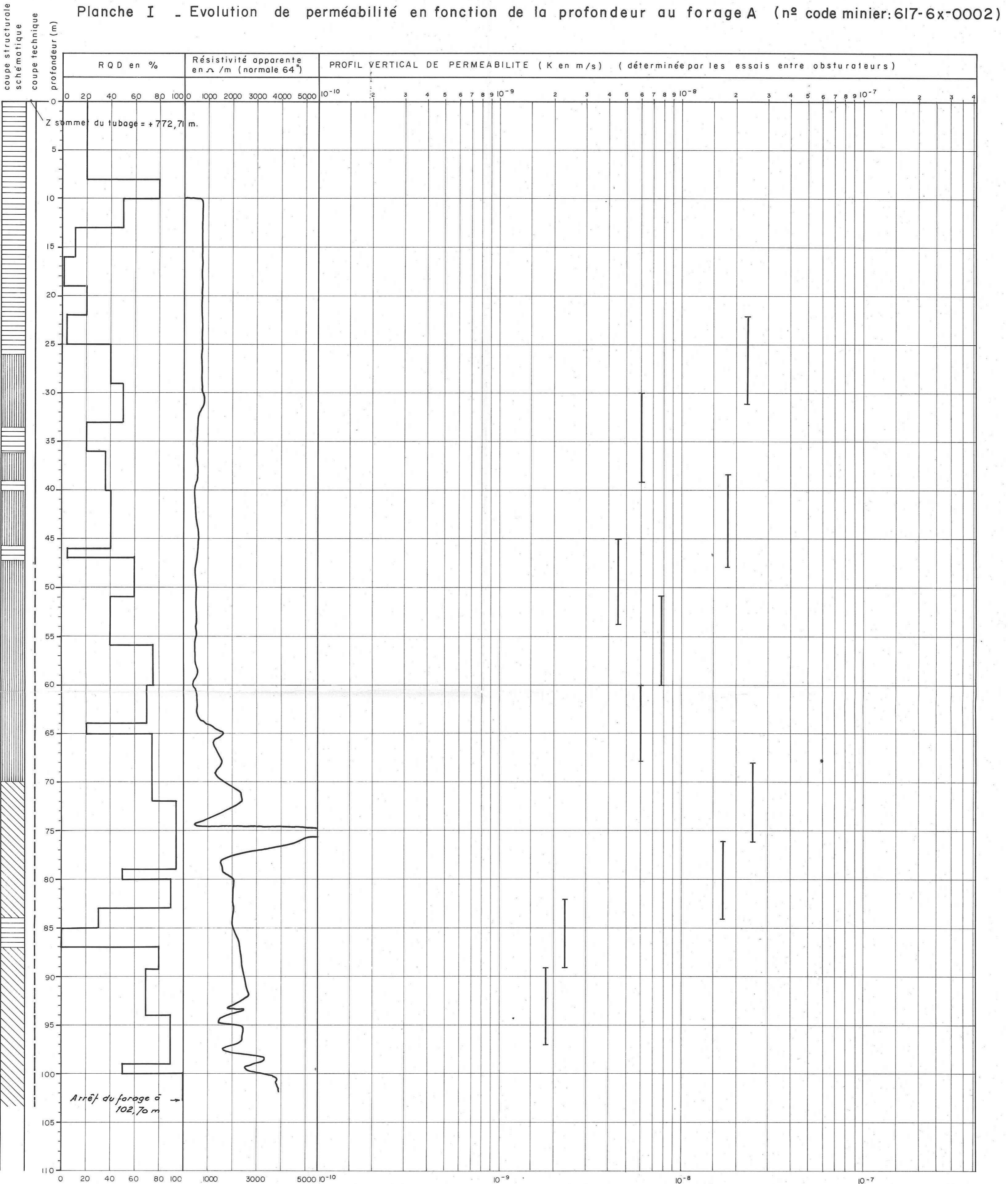
Légende

- 🌿 Jongs
- ⊗ Zone humide avec jongs
- ⊙ Bourbier
- Source
- ⊕ Mare
- Sens écoulement
- - - Limite zone de surveillance des résurgences éventuelles durant le noyage de la mine.

ANNEXE 4
 CARTE DE LOCALISATION
 des exutoires de la nappe superficielle
 à proximité de la mine du LIMOUZAT.

⊙ Point de prélèvement et son numéro d'identification.

Planche I - Evolution de perméabilité en fonction de la profondeur au forage A (n° code minier: 617-6x-0002)

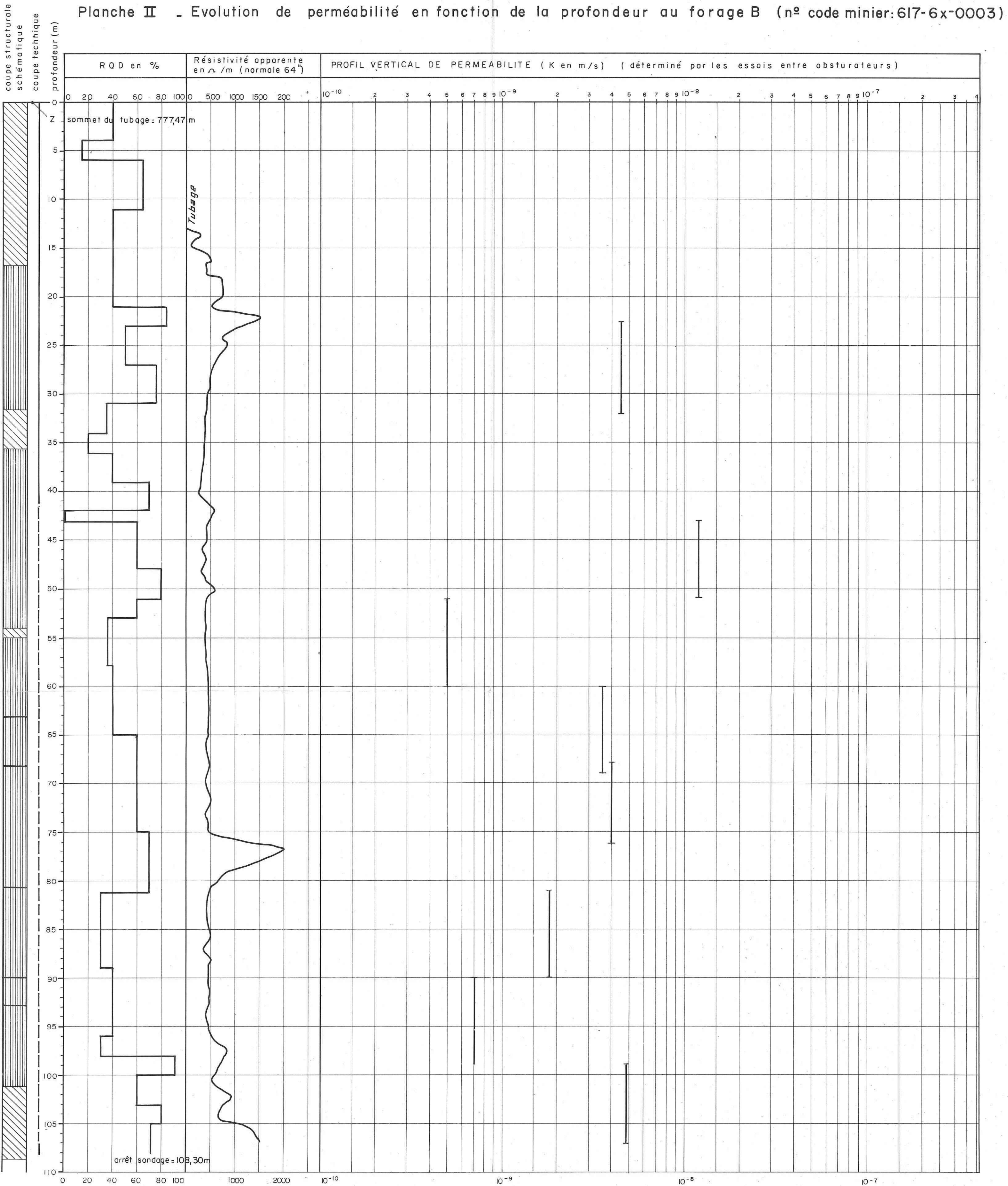


granite fracturé, altéré et décomprimé

granite moyennement fracturé (environ 10 fractures/m)

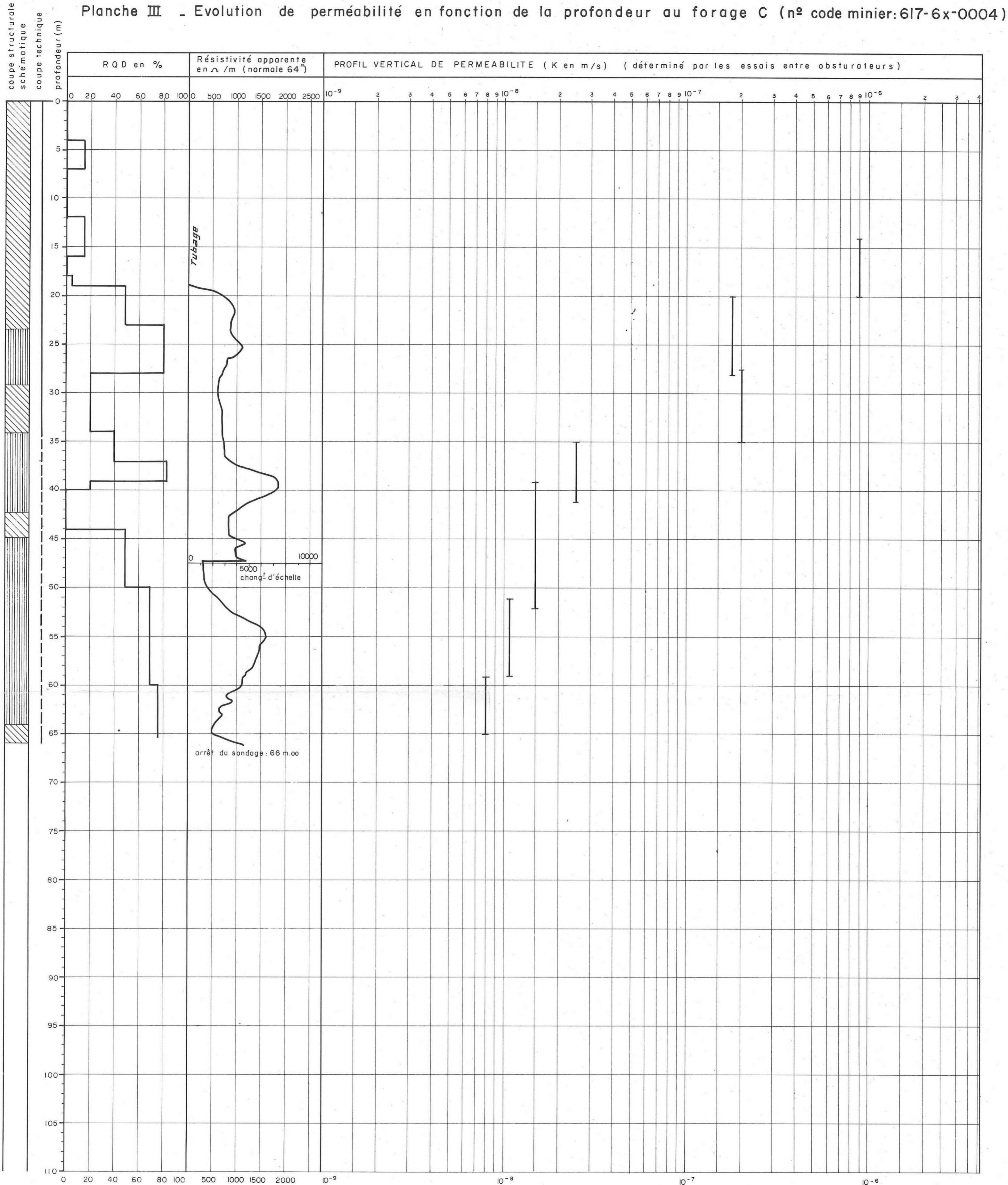
granite très faiblement fracturé (général! moins de 5 fractures/m)

Planche II - Evolution de perméabilité en fonction de la profondeur au forage B (n° code minier: 617-6x-0003)



granite fracturé, altéré et décomprimé
 granite moyennement fracturé (environ 10 fractures/m)
 granite très faiblement fracturé (général! moins de 5 fractures/m)

Planche III - Evolution de perméabilité en fonction de la profondeur au forage C (n° code minier: 617-6x-0004)



granite fracturé, altéré et décomprimé
 granite moyennement fracturé (environ 10 fractures/m)
 granite très faiblement fracturé (général! moins de 5 fractures/m)