



BRGM

SIMULATION DE LA NAPPE ALLUVIALE DE L'ALLIER

CAPTAGES AEP DE CLERMONT-FERRAND
SECTEUR DE COURNON D'AUVERGNE - (PUY DE DOME)

—

par

M. LENIR - G. GAGNIERE - R. BELKESSA

79 SGN 629 AUV - Septembre 1979

R É S U M É

—

La nappe alluviale de l'Allier constitue la principale ressource d'alimentation en eau potable et industrielle des centres urbains, en particulier de Clermont-Ferrand.

Actuellement les problèmes de ressources sont surtout des problèmes de gestion, ce qui implique une connaissance d'une part, des mécanismes d'alimentation des nappes et d'autre part, de la structure hydrodynamique déterminant les modalités de prélèvement.

Le modèle est avant tout un schéma d'interprétation de l'ensemble des informations recueillies (piézométrie, perméabilité, prélèvement). Il permet, à l'occasion, de valider ces données par la cohérence de l'ensemble des relations et d'éliminer les douteuses.

Le choix s'est porté sur le modèle PL1 qui est un modèle de simulation en régime permanent effectuant une résolution du problème par différences finies.

Les résultats du calage de ce modèle ont permis :

- la détermination du colmatage des berges ;
- la détermination des parts de débits dues à la nappe et aux infiltrations en provenance de la rivière (moyenne : 53 %) ;
- la mise en évidence des risques de pollution de la nappe alluviale en cas de contamination chimique de la rivière (à préciser par un modèle en régime transitoire POPOF ou TL1).

Cette étude a été réalisée sur crédits de Service public du Ministère de l'Industrie.

—

S O M M A I R E

	<u>pages</u>
1 - PRÉAMBULE	1
2 - DONNÉES DISPONIBLES	1
3 - CONSTRUCTION DU MODÈLE	2
4 - CALAGE DU MODÈLE - RÉSULTATS	4
4.1 - COLMATAGE DES BÉRGES	4
4.2 - REPARTITION DES DEBITS PROVENANT DE LA NAPPE ET DE L'INFILTRATION DE LA RIVIERE	5
4.3 - RISQUES DE POLLUTION	5
5 - CONCLUSIONS	8

1 - PRÉAMBULE

L'alimentation en eau de la ville de Clermont-Ferrand est essentiellement assurée par la nappe contenue dans les basses terrasses alluviales de l'Allier, les sources des terrains volcaniques de la Chaîne des Puys en sont le complément.

Dans la plaine de Cournon, des séries de puits reliés par des siphons, exploitent cette nappe alluviale, à un débit compris entre 0,5 et 1 m³/s.

Les études antérieures ont montré les bonnes caractéristiques hydrodynamiques de cet aquifère qui, en régime naturel, est alimenté par les précipitations atmosphériques directes, le ruissellement instantané ou retardé des versants, l'écoulement des nappes de coteau emmagasinées dans les formations de pente ou dans les alluvions anciennes des terrasses supérieures. L'Allier apparaît alors comme l'axe unique de drainage quelle que soit la période de l'année.

Cependant, le développement des pompages sur les terrasses alluviales au-delà du flux naturel de la nappe a renversé la tendance naturelle et, actuellement, l'alimentation de la nappe alluviale est faite d'un apport des terrains encaissants et d'infiltrations en provenance de la rivière.

Ces dernières qui voient leur importance s'accroître avec l'augmentation des débits extraits, soulèvent le problème de la qualité de la qualité des eaux exploitées. En effet, la rivière est beaucoup plus sensible que la nappe à des pollutions chimiques qui se transmettent directement aux puits d'exploitation en proportion de l'alimentation de la nappe imputable à la rivière.

Il convient donc avant toute modification des captages actuels (augmentation des débits prélevés, ouverture de nouvelles carrières d'agregats) de mettre en évidence la part des infiltrations de la rivière dans l'alimentation des pompages existants et d'étudier l'influence du colmatage des berges sur la piézométrie observée. L'utilisation d'un modèle mathématique est en mesure de répondre aux problèmes soulevés.

2 - DONNÉES DISPONIBLES

Pour l'élaboration du modèle, ont été utilisés :

- l'inventaire des puits et piézomètres entre Dallet (Nord) et Cournon d'Auvergne (Sud) : 168 ouvrages (annexe 1). Cet inventaire contient les puits d'exploitation, des forages de reconnaissance en petit diamètre équipés en piézomètres, 2 forages profonds. Malheureusement, la disposition naturelle des ouvrages ne permet pas d'avoir de renseignement en dehors d'une zone étroite bordant la rivière et pose, par là même, le choix des conditions aux limites d'un modèle devant prendre en compte les apports de terrains encaissants relativement éloignés de la zone inventoriée.

- les relevés piézométriques du 16 mai 1977 et du 29 novembre 1977 sur 112 ouvrages. Ces relevés représentent respectivement les hautes eaux et l'étiage de la nappe. La variation moyenne du niveau piézométrique est d'environ 1 m et correspond grossièrement à la variation du niveau de la rivière, extrapolée linéairement entre trois mesures faites respectivement au Pont de Cournon, à la passerelle de l'usine des Eaux et au Pont de Dallet.
- Les valeurs de la perméabilité mesurées sur 28 ouvrages. Ces valeurs proviennent d'essais de pompage ou d'essais d'injection Lefranc exécutés sur les forages en petit diamètre.
Il est à remarquer que les essais de pompage donnent des valeurs généralement supérieures ($1 \text{ à } 2.10^{-3} \text{ m/s}$) aux essais Lefranc ($2 \text{ à } 5.10^{-4} \text{ m/s}$). Cette différence est due à des différences de méthodologie mais peut-être également à un meilleur développement des puits d'exploitation où les pompages ont été réalisés. Quoi qu'il en soit, les différences sont faibles et les terrains peuvent être considérés comme relativement homogènes.
- Carte du toit du substratum imperméable. Cette carte a été obtenue par sondages électriques étalonnés par les nombreuses coupes géologiques des forages et des puits.
Les terrasses alluviales aquifères forment un couloir très étroit dont la profondeur maximale s'étire généralement en rive droite de l'Allier. Les remontées de la couche imperméable, tant à l'Est qu'à l'Ouest, limitent rapidement les hauteurs d'aquifère exploitable et contribuent à réduire les apports des terrains encaissants.
- L'estimation des débits prélevés a été faite soit par mesure directe au moment des relevés piézométriques, soit à travers la consommation électrique des stations de pompage (annexes 1 et tableau 1 ci-contre).

Les stations de pompage B1 et B2 collectant gravitairement les eaux de respectivement 29 et 9 puits, les débits de chaque ouvrage ont été pris arbitrairement proportionnellement aux hauteurs mouillées de chacun. Ce sont ces débits qui ont été reportés à l'annexe 1.

3 - CONSTRUCTION DU MODELE

Les données disponibles et les problèmes à résoudre ont conduit à utiliser un modèle mathématique de simulation hydrodynamique en régime permanent. Le choix s'est porté sur le programme de calcul PL 1, élaboré par le département hydrogéologie du B.R.G.M., qui traite des écoulements dans les nappes hétérogènes, libres, sans possibilité de mise en charge ou de débordement.

Les transmissivités ne sont pas introduites directement. Elles sont calculées à partir des éléments qui la déterminent : perméabilité, niveau piézométrique, cotes du substratum de l'aquifère. Cette opération est répétée à chaque pas de calcul du processus d'approximations successives suivant la hauteur d'aquifère mouillé.

Ce modèle est à maillage carré et utilise la méthode des "différences finies". Il est opérationnel en particulier sur les ordinateurs IBM 370 Control Data CDC 7600 tout en étant aisément adaptable à tout ordinateur moderne.

ALLUVIONS DE L'ALLIERAEP CLERMONT-FERRAND

- Relevé piézométrique du 16 mai 1977

- . consommation calculée par comptage électrique
(pompage 24 h/24 h) pour le 16.5.77 : 52 461 m3 (de 4 h à 4 h
le 17.5.77)

. Zones de pompage :

de 4 à 8 h le 16.5.77

B1	1 pompe	:	600 m3/h
B2	1 pompe	:	530 m3/h
B3	1 pompe	:	530 m3/h
B4	(évalué)	:	525 m3/h

de 8 h à 3 h 30
le 17.5.77

B1	2 pompes	:	1 200 m3/h	(29 puits)
B2	1 pompe	:	530 m3/h	(9 puits)
B3	1 pompe	:	530 m3/h	
B4	4 puits	:	250 m3/h	

55 585 m3/h

Le 11 mai

51 538 m3/h

Le 12 mai

53 384 m3/h

Le 13 mai

51 076 m3/h

Le 14 mai

29 076 m3/h

Le 15 mai

27 692 m3/h

- Relevé piézométrique du 29 novembre 1977 (pompages)

B1	1 pompe	:	600 m3/h
B2	1 pompe	:	530 m3/h
B3	1 pompe	:	530 m3/h
B4	(9 puits	:	630 m3/h (estimation)
	en pompage)		

- consommation relevée du 29.11 à 4 h au 30.11 à 4 h : 55 538 m3 (24 h de pompage
par jour)

AEP COURNON

- consommation le 29 novembre 1977 :

3 puits : 3 620 m3 en 10 h (22 h à 6 h plus 4 h la journée de 10 à 12 h -
14 h 30 à 16 h 30 à la demande)

Ces pompes fonctionnaient au moment des mesures le 29.11.77 ; elles étaient
arrêtées le 16.5.77

Extension du modèle et limites

L'étroitesse et l'étirement des terrasses alluviales entre Cournon et Dallet et la direction générale de l'écoulement, qui se fait perpendiculairement à la ligne de pompage, découpent naturellement plusieurs unités indépendantes à comportement semblable.

La rivière, limite à potentiel imposé, partage aussi la région en deux zones hydrauliquement indépendantes : la rive droite et la rive gauche.

Il a donc été choisi de modéliser les terrasses de rive droite entre, approximativement, le Pont de Cournon et le lieu-dit : le Moulin situé au Sud de Dallet.

Cette zone qui a l'avantage de comprendre les terrasses alluviales les plus larges et les zones de pompage les plus importantes permet de montrer l'utilité et les limites de la modélisation des nappes alluviales étroites. Les résultats obtenus sur cette zone expliquent correctement le schéma hydraulique applicable aux autres zones de pompage non simulées. Ils permettent également une réflexion à l'échelle de la région sur les risques de pollution engendrés par les infiltrations de la rivière dans la nappe avant le choix d'objectifs plus précis à traiter par la simulation : simulation d'autres zones de pompage, simulation de nouveaux prélèvements et simulation d'une propagation de pollution vers les captages à partir d'accidents survenant dans la rivière, etc....

La limite ouest du modèle représente la berge du fleuve et son colmatage. C'est une limite à niveau strictement imposé et indépendant de l'exploitation de l'aquifère. Les cartes piézométriques (annexes 3 et 4) générales ont montré que le gradient du niveau de la rivière est constant dans le temps et l'espace ($i = 1,1 \text{ ‰}$). Cela nous a permis d'imposer les niveaux dans chaque maille de cette limite avec une très bonne approximation, à partir des trois valeurs de mesures disponibles (Pont de Cournon, passerelle de l'usine des Eaux, pont de Dallet).

La limite est une limite arbitraire. L'absence de points d'observation de la nappe et la méconnaissance des niveaux piézométriques, en dehors de la zone exploitée nous a fait choisir une limite proche, relativement bien connue, l'équipotentielle + 318,50 m, pour la phase de calage du modèle.

Au Nord, le modèle est fermé par une limite à potentiels imposés, reliant l'équipotentielle + 318,50 m aux niveaux imposés de la rivière.

Maillage

Dans un modèle numérique, comme PL 1, le milieu continu de l'aquifère est représenté par un réseau d'éléments parallèles et perpendiculaires appelés mailles, en liaison les uns avec les autres, suivant les lois physiques de l'hydraulique des milieux poreux.

Chaque maille représente un carré de 63 m de côté ; l'échelle utilisée est le 1/5 000.

Répartition des perméabilités

Il est nécessaire de donner une perméabilité à chaque maille du modèle. La répartition des valeurs de départ s'est faite en fonction des résultats des essais de pompage. Cette répartition a été ajustée lors de la phase de calage.

Les données relatives aux limites, piézométrie, perméabilité et cotes du substratum sont reportées sur les annexes 5, 6 et 7.

Les débits exploités ont été également simulés dans la phase de calage (annexe 8) car la piézométrie utilisée (relevé du 29.11.77) est une piézométrie influencée par ces pompages (pompage en continu 24 h/24 h).

4 - CALAGE DU MODÈLE - RÉSULTATS

Le calage a consisté en une modification progressive et locale des valeurs du colmatage des berges et des perméabilités appliquées à certaines mailles jusqu'à la reconstitution satisfaisante de la piézométrie mesurée tout en conservant les débits prélevés (annexe 9).

Les données utilisées sont celles du 29.11.77 et les résultats ont permis d'évaluer des paramètres difficilement mesurables par d'autres moyens. Les résultats de calage ont permis en particulier :

- la détermination du colmatage des berges ;
- la détermination des parts de débit dues à la nappe et aux infiltrations en provenance de la rivière ;
- la mise en évidence des risques de pollution de la nappe alluviale en cas de contamination chimique de la rivière.

4.1 - COLMATAGE DES BERGES

La "perméabilité équivalente" des berges varie entre 10^{-5} m/s et 10^{-3} m/s. Cette perméabilité équivalente est appliquée à une maille de 63 m de largeur. La perméabilité réelle dépend de la largeur du colmatage, qui est inconnue mais évidemment bien inférieure à la largeur de la maille. (par exemple, la perméabilité réelle serait de $3 \cdot 10^{-7}$ à $3 \cdot 10^{-5}$ m/s si le colmatage avait 2 m d'épaisseur).

Le colmatage varie assez rapidement le long de la berge mais il suit généralement les concavités et convexités du méandre :

- les perméabilités sont généralement plus fortes vers l'extérieur des méandres, là où l'érosion fluviale est la plus importante et où les dépôts de fines sont moindres,
- en revanche, les zones intérieures aux méandres, lieux d'alluvionnement, montrent souvent les colmatages les plus importants (annexe 7).

Ces différences de colmatage créent des zones potentielles d'infiltration privilégiées dès que la nappe est rabattue sous le niveau de la rivière, par les pompages d'exploitation.

Les débits d'infiltration calculés dans les zones d'appel varient ainsi de 4,8 l/s à 33 l/s pour des longueurs de 100 m de berge suivant la perméabilité de la berge, de l'aquifère et suivant la distance séparant les captages et la rivière.

4.2 - REPARTITION DES DEBITS PROVENANT DE LA NAPPE ET DE L'INFILTRATION DE LA RIVIERE

L'annexe 8 permet d'apprécier des apports respectifs de la nappe et des infiltrations de la rivière.

Ces infiltrations sont dues aux zones déprimées de la piézométrie, créées par les pompages.

Le tableau suivant donne une idée de la répartition des apports de la nappe et de la rivière dans le débit de chaque puits ou groupe de puits.

Ces résultats montrent que l'apport de la rivière est relativement important et que, si localement quelques puits éloignés sont alimentés uniquement par la nappe, globalement, à l'échelle du groupe de puits, la proportion des infiltrations varie de 25 à 68 % du total des débits prélevés avec une moyenne rapportée à l'ensemble des captages de 53 % des débits exploités.

Cette proportion de 53 % correspondant au débit soustrait à la rivière est vraisemblable. La détermination de cette valeur par des calculs analytiques se heurterait à plusieurs obstacles :

- . la géométrie des captages peut difficilement être ramenée à une configuration simple, l'ensemble des ouvrages du site (en exploitation simultanée) ne peut être représenté de façon schématique ;
- . la nappe est hétérogène ;
- . le colmatage des berges doit être pris en considération.

Il est donc nécessaire de faire intervenir des techniques de simulation.

Il semble intéressant de rappeler ici les tentatives de quantification de ces infiltrations de l'Allier par des essais physico-chimiques.

En 1948, on trouve cette idée dans un programme établi par l'entreprise ETFN. "On prélèvera à intervalles réguliers des échantillons d'eau d'environ 1 l, dans tous les forages, dans les puits, dans l'Allier, afin de déterminer la résistivité. On sait en effet que cette grandeur physique est une excellente caractéristique des eaux qui permet de déterminer très simplement leur mélange. Ces résistivités prises pour des débits différents, montreront si la nappe est alimentée par l'Allier et dans quelles conditions". Aucune mesure ne fut, à notre connaissance, exécutée.

4.3 - RISQUES DE POLLUTION

L'importance des infiltrations de la rivière dans l'alimentation actuelle de la nappe alluviale entraîne un risque de pollution accidentelle de celle-ci (et des eaux exploitées) par pollution chimique de la rivière.

Cette pollution peut être continue et, dans ce cas, la pollution des eaux exhaurées serait proportionnelle à la participation de la rivière au débit pompé (voir tableau suivant). L'exploitation du modèle précédent permettrait alors de prévoir les réductions de pompages à envisager.

En 1954, M. DORIER, directeur du laboratoire municipal, note le parallélisme remarquable des variations des différents facteurs de minéralisation des puits suivant leur position par rapport au cours de l'Allier.

Partant du principe que les eaux captées sont un mélange des eaux de la rivière et des eaux en provenance des coteaux et que les puits les plus éloignés ne sont alimentés que par la nappe, M. DORIER calcule le pourcentage pour l'ensemble des puits 170 - 181 à 189 - 197 de ces deux origines en utilisant l'équation :

$$\begin{aligned} \% \text{ eau Allier} &= \frac{\text{T.H n}^\circ 197 - \text{T.H } (170-181) + (189-197)}{\text{T.H n}^\circ 197 - \text{T.H Allier}} \\ &= \frac{40,7 - 7,45}{40,7 - 2,95} = \frac{33,25}{37,75} = 88 \% \end{aligned}$$

Si au lieu du T.H, on considère les conductivités :

$$\begin{aligned} \% \text{ eau Allier} &= \frac{\text{C n}^\circ 197 - \text{C } (170-181) + 189-197)}{\text{C n}^\circ 197 - \text{C Allier}} \\ &= \frac{75,7 - 16,8}{75,7 - 8,41} = \frac{58,9}{66,59} = 88,5 \% \end{aligned}$$

L'examen des résultats obtenus par les méthodes mathématiques et physico-chimiques montre, malgré les différences, qu'un fort pourcentage (les valeurs à comparer sont de 54 et de 88 %) de l'eau prélevée provient : des infiltrations de l'eau de la rivière dans les formations alluvionnaires.

Cette différence s'explique par des prélèvements en 1954 supérieurs à ceux d'aujourd'hui et sur un nombre d'ouvrages plus restreint.

La pollution peut être accidentelle et donc passagère. Dans ce cas, il y aurait :

- un transfert de la pollution le long de la rivière, en fonction des quantités de polluant, du temps de leur déversement dans la rivière et également du débit de celle-ci ;
- une contamination progressive de la nappe à travers des infiltrations vers les zones de pompage , dépendant essentiellement des débits extraits et de leur continuité.

Il serait intéressant alors d'étudier préventivement la propagation d'une pollution de la rivière vers les champs de captage afin de dégager des plans d'actions applicables à des cas réels.

Deux modèles du département Hydrogéologie du B.R.G.M. pourraient être utilisés :

Contributions respectives de la nappe et de la rivière aux débits exploités

Puits	Débit l/s	Q rivière	Q nappe	$\frac{\% \text{ Q rivière}}{\text{Q total}}$
155	20	11	9	55
157	20	5	15	25
160	20			
161	20			
162	15	30,5	64,5	32
163	20			
164	20			
167	20			
169	20	12,5	7,5	62
216	18	10,5	9,5	52
215	17			
214	16			
213	21			
212	19	100,5	46,5	68
211	15			
210	15			
209	8			
208	17			
187	6			
186	7			
185	7			
184	7			
183	7			
182	7			
181	7			
180	7			
179	6			
178	6			
177	6			
176	7			
175	6			
174	6			
173	5	89	77	54
172	5			
114	5			
171	5			
170	5			
197	5			
196	6			
195	6			
188	4			
189	5			
190	6			
191	4			
192	3			
193	5			
194	5			
Totaux	488	259	229	53

- POPOF qui procède au calcul des lignes de courant et simule la progression du front d'une pollution miscible. La simulation permettrait de prévoir les temps d'arrivée de la pollution aux puits exploités.
- TLI qui est un modèle hydrodynamique de simulation en transitoire des écoulements dans les nappes hétérogènes libres sans possibilité de mise en charge ou de débordement.

Ce modèle permettrait de connaître l'incidence des arrêts des pompes sur les débits d'infiltration de la rivière, en fonction du temps nécessaire à combler la dépression piézométrique de la nappe alluviale créée par les champs de pompage. On pourrait alors prévoir l'intérêt et les durées nécessaires des arrêts de pompes pour la limitation de la pollution de la nappe et des captages.

Il serait utile, pour la réalisation de ces deux simulations, de connaître quelques points de piézométrie, à la limite de la nappe alluviale et des terrains encaissants. En cas d'impossibilité (absence de points d'observation), il sera toutefois possible de calculer une piézométrie théorique, sur cette limite, en utilisant les données du calage déjà réalisé.

En effet, la modélisation en transitoire proposée nécessite l'extension du champ piézométrique connu, soit jusqu'à une limite naturelle réelle, soit en éloignant suffisamment la limite arbitraire de l'Est de façon à pouvoir négliger son influence sur les phénomènes transitoires étudiés.

5 - CONCLUSIONS

L'utilisation du modèle PLI a permis de calculer la part des infiltrations de la rivière dans l'alimentation de la nappe alluviale et donc dans les débits des champs de pompage .

Cette part, qui est variable suivant le degré de colmatage des berges, des valeurs de la perméabilité des terrasses alluviales, des débits prélevés et de la proximité des prélèvements par rapport à la rivière, peut cependant être évaluée à 53 % des débits totaux prélevés.

L'importance des infiltrations entraîne un risque de pollution non négligeable des eaux exhaurées en cas de pollution accidentelle de la rivière dont il est possible d'étudier les effets sur les captages par simulation de la propagation d'un front de pollution (Programme de calcul POPOF).

L'incidence d'arrêts de pompage temporaires sur la propagation de la pollution peut être étudiée par une simulation en régime transitoire.

Les conclusions de ces deux études devraient permettre l'élaboration d'un plan d'action applicable aux cas réels.

L I S T E D E S A N N E X E S

—

- | | | |
|-----------|---|--------------------------|
| Annexe 1a | { | Données hydrogéologiques |
| Annexe 1b | | |
| Annexe 1c | | |
- Annexe 2 - Carte piézométrique - 16/5/77
- Annexe 3 - Carte piézométrique - 29/11/77
- Annexe 4 - Modèle : piézométrie 29/11/77
- Annexe 5 - Modèle : isohypses du substratum
- Annexe 6 - Modèle : perméabilité
- Annexe 7 - Modèle : alimentation des captages
- Annexe 8 - Modèle : piézométrie calculée et mesurée

—

OUVRAGE		COTES N.G.F.				EAU 16/05/77		Epaisseur de l'aquifère (en m)	Débit au moment des mesures (en m3/h)	PARAMETRES HYDRAULIQUES		EAU 30/11/1977	
N°	indice de classement	Sol	Repère	substrat	fond de l'ouvra- ge	Profon- deur (en m)	cote N.G.F.			T (en m2/h)	S (en ‰)	prof. (en m)	cote N.G.F.
1		+313,02		+306,92	+305,92								
2		+313,80	+314,77	+306,50		2,28	+312,49					3,00	311,77
3		+313,91		+305,31	+304,21								
G		+314,20		+304,20									
H		+314,36		+304,20									
I		+314,13	+314,93	+303,93		1,86	+313,07					2,40	312,53
B6		+313,55	+318,17	+302,65		5,97	+312,20					6,74	311,43
4		+313,15		+302,65	+301,95								
5		+313,43	+314,45	+306,33	+305,63	1,54	+312,91					2,22	312,23
6		+314,29	+315,11	+305,60	+304,59	1,94	+313,17					2,44	312,67
7		+313,84		+303,64	+303,04								
8		+315,02	+316,12	+307,42	+306,52	2,96	+313,16					bouché	
9		+314,31		+307,41	+306,41								
10		+314,08	+314,95	+305,08	+304,08	2,10	+312,85					2,64	312,31
11		+313,85	+314,70	+304,55	+303,55	2,12	+312,58					2,59	312,11
12		+315,40	+316,45	+307,69	+306,70	2,96	+313,49					3,64	312,81
13		+314,75	+315,60	+306,65	+305,55	2,05	+313,55					2,55	313,05
14		+314,35	+315,27	+304,75	+303,75	2,12	+313,15					2,63	312,64
15		+314,24		+308,24	+307,24								
16		+315,23	+316,19	+306,03	+305,03	2,41	+313,78					3,18	313,01
17		+314,68		+304,38	+304,28								
18		+313,28		+305,08	+304,28								
19		+313,41		+305,05	+304,04								
20		+313,88	+314,95	+305,38		1,83	+313,12					2,36	312,59
21		+314,43	+315,45	+305,23		1,93	+313,52					2,52	312,93
22		+315,53		+305,03									
23		+315,55		+308,85									
24		+313,75	+314,80	+304,25		2,32	+312,48					3,07	311,73
25		+313,77	+314,65	+304,57		2,28	+312,37					3,05	311,60
K		+313,71		+304,61									
L		+313,59	+ 314,35	+304,89		1,78	+312,57					2,55	311,80
F1		+313,22	+313,47	+303,22		1,31	+312,16					1,74	311,73
F2		+314,01	+314,27	+304,30		1,39	+312,88					1,90	312,37
F3		+314,24	+314,50	+304,44		1,30	+313,20					1,84	312,66
A		+314,11	+314,95	+304,41		1,95	+313,00					2,46	312,49
B		+314,02	+314,82	+304,32		1,92	+312,90					2,42	312,40
F4		+314,53	+314,83	+303,93		1,21	+313,62					2,11	312,72
D		+314,62	+315,44	+304,12		1,78	+313,66					2,46	312,98
E		+314,54	+315,37	+304,14		1,80	+313,57					2,49	312,88
J		+314,96	+315,81	+305,06		1,83	+313,98					2,51	313,30
B5		+314,96	+317,56	+303,96		3,75	+313,81					4,45	313,11
26		+315,25		+304,45									
27		+315,59		+304,89									
28		+315,27		+304,78									
29		+315,35		+304,65									
30		+315,48		+304,68									
	694-5X-70	+324,61	+325,21	?	+316,21	7,10	318,11					7,46	317,75
	693-8X-94	+316,09		+308,49	+308,09					3,6.10 ⁻³ ‰ (à 5,40 m)			
	693-8X-95	+316,07		+308,57	+308,07					2,1.10 ⁻³ ‰ (à 5,30 m)			
	693-8X-96	+315,34		+304,64	+303,84					1,2.10 ⁻² ‰ (à 8,30 m)			
	693-8X-97	+315,24		+305,04	+304,74					1,1.10 ⁻² ‰ (à 7,10 m)			
	693-8X-98	+315,35		+305,25	+304,85					6,4.10 ⁻³ ‰ (à 7,20 m)			
	693-8X-68	+316,09		+311,59	+310,59								
	693-8X-69	+316,07		+304,77	+304,27					1,3.10 ⁻² ‰ (à 8,90 m)			
	693-8X-70	+315,34		+304,14	+303,84					2,8.10 ⁻³ ‰ (à 9,80 m)			
	693-8X-71	+315,24		+304,44	+304,14					3,8.10 ⁻³ ‰ (à 8,60 m)			
	693-8X-152	+315,00		+305,50	+304,50					3,0.10 ⁻² ‰			
	693-8X-153	+315,00		+305,00	+304,00					2,5.10 ⁻² ‰			
	ALLIER PONT DE DALLEY						+311,92						+311,38

OUVRAGE		COTES N.G.F.				EAU 16/05/77		EPAISSEUR DE L'AQUIFERE (en m)	DEBIT AU MOMENT DES MESURES (en m3/h)	PARAMETRES HYDRAULIQUES		EAU 30/11/1977	
N°	indice de classement	Sol	Repère	Substrat	Fond de l'ouvra- ge	Profon- deur (en m)	Cote N.G.F.			T (en m2/h)	S (en %)	Prof. (en m)	Cote N.G.F.
1	693-8X-170	318,00	318,98	307,59	307,50	4,85	314,13	6,54				5,80	313,18
2	693-8X-171	318,20	318,88	307,91	307,80	4,80	314,08	6,17				5,73	313,15
3	693-8X-114	318,16	318,92	307,50	307,46	4,75	314,17	6,67				5,70	313,22
4	693-8X-172	318,20	318,95	307,59	307,85	4,80	314,15	6,30				5,74	313,21
5	693-8X-173	317,93	319,03	307,28	307,28	4,73	314,30	7,02				5,60	313,43
6	693-8X-174	318,27	318,91	306,22	306,07	4,82	314,09	7,87				5,75	313,16
7	693-8X-175	318,40	319,00	306,54	306,20	4,60	314,40	7,86				5,44	313,56
8	693-8X-176	318,73	319,00	305,93	305,73	4,43	314,57	8,64				5,35	313,65
9	693-8X-177	318,67	318,95	306,56	305,57	4,20	314,75	8,19				5,15	313,8
10	693-8X-178	319,09	319,26	305,99	306,19	4,65	314,61	8,42				5,44	313,82
11	693-8X-179	318,99	318,99	306,14	306,09	4,63	314,36	8,22				5,46	313,53
12	693-8X-180	318,99	318,99	305,75	305,49	4,56	314,43	8,68				5,50	313,49
13	693-8X-181	318,71	318,95	305,70	305,31	4,60	314,35	8,65				5,46	313,47
14	693-8X-182	318,99	318,99	305,75	305,49	4,67	314,32	8,57				5,60	313,39
15	693-8X-183	319,09	319,54	305,73	305,59	4,85	314,69	8,96				5,80	313,74
16	693-8X-184	319,00	319,44	305,55	305,30	4,42	315,02	9,47				5,40	314,04
17	693-8X-185	319,10	319,41	305,66	305,10	4,95	314,46	8,80				5,84	313,57
18	693-8X-186	319,00	319,16	305,85	306,50	4,55	314,61	8,76				5,40	313,76
19	693-8X-187	318,70	319,44	306,14	305,70	5,15	314,29	8,15				6,07	313,09
20	693-8X-188	318,50	319,38	307,63	307,50	6,76	312,62	4,99				7,78	311,6
21	693-8X-189	318,75	319,59	305,97	305,75	6,56	313,03	7,06				7,60	311,99
22	693-8X-190	319,00	319,67	304,76	304,50	6,53	313,14	8,38				7,42	312,25
23	693-8X-191	318,40	319,06	307,64	307,40	6,04	313,02	5,38				7,00	312,06
24	693-8X-192	318,05	318,87	309,00	309,05	5,36	313,51	4,46				5,47	313,40
25	693-8X-193	318,70	319,34	305,78	305,70	6,20	313,14	7,36				7,10	312,24
26	693-8X-194	318,90	319,34	305,85	305,90	6,92	313,42	7,57				6,90	312,44
27	693-8X-195	317,00	319,40	306,20	306,00	6,32	313,08	6,88				7,24	312,16
28	693-8X-196	316,81	319,38	305,11	304,81	non mesuré		6,96				7,17	312,21
29	693-8X-197	317,14	319,42	306,27	306,14	6,11	313,31	7,04				7,07	312,35
30	693-8X-208	318,16	319,75	306,92	306,66	6,03	313,72	6,80				6,96	312,79
31	693-8X-209		319,25	312,64		3,24	316,01	3,37				4,05	315,20
31	693-8X-210	318,99	319,53	308,15	302,15	4,89	314,64	6,49				5,70	313,83
Piézo			(+0,50)			3,15						3,90	
32	693-8X-211	318,56	319,81	308,43	308,43	5,30	314,51	6,08				6,55	313,26
Piézo			(+0,57)			3,69						4,50	
33	693-8X-212	319,09	319,88	306,79	306,79	5,57	314,31	7,52				6,40	313,48
34	693-8X-213	318,97	320,31	306,83	306,83	5,07	315,24	8,41				5,92	314,39
35	693-8X-214	319,50	320,59	307,59	307,59	6,40	314,19	6,60				7,15	313,44
36	693-8X-215	319,30	320,77	307,45	307,45	6,48	314,29	6,84				7,22	313,55
37	693-8X-216	319,70	320,98	306,85	306,85	6,95	314,03	7,18				7,72	313,26
38	693-8X-217	319,40	322,05	307,64	307,64	3,22	318,83					4,00	318,05
Piézo			(+0,35)			2,46						3,30	
39	693-8X-218	319,30	321,95	308,11	308,11	3,75	318,20					4,52	317,43
40	693-8X-219	319,20	322,05	307,90	307,90	4,40	317,65					5,18	316,87
101	693-8X-198	315,79	316,93	310,41	309,80	1,76	315,17					2,70	314,23
102	693-8X-199	316,21	320,36	310,14	310,40	5,43	314,93					6,22	314,14
103	693-8X-200	316,34	320,29	310,43	309,34	5,43	314,86					6,00	314,29
104	693-8X-201	316,43	320,23	310,49	310,43	5,37	314,86					5,98	314,25
105	693-8X-202	316,29	320,09	310,29	310,29	4,68	315,41					5,84	314,25
106	693-8X-203	316,52	319,80	310,52	310,52	4,15	315,65					5,75	314,05
107	693-8X-204	318,00	320,88	310,80	310,80	(5,10)	315,78					5,08	315,80
108	693-8X-205	318,15	320,57	312,15	312,15	3,84	316,73					4,87	315,70
109	693-8X-206	317,84	320,04	311,34	311,34	3,53	316,51					4,50	315,54
110	693-8X-207	317,49	319,65	311,69	311,69	3,50	316,15					4,40	315,25
111		317,87	319,00	312,17		3,35	315,65					4,26	314,74
112		318,97	319,50	312,17		2,76	316,74					3,72	315,78
Piézo	693-8X-87	319,00	319,80			2,32	317,48					2,91	316,89
Forage pro- fond	693-8X-154	318,50	+319,40			1,76	317,64					2,82	316,58
	ALLIER - PASSERELLE USINE DES EAUX		315,15	(O de l'échelle)		+0,98	+316,13					+0,43	+315,58

OUVRAGE		COTES N.G.F.				EAU 16/05/1977		EPAISSEUR DE L'AQUIFERE (en m)	DEBIT AU MOMENT DES MESURES (en m3/h)	PARAMETRES HYDRAULIQUES		EAU 29/11/1977																																																																						
N°	indice de classement	Sol	Repère	Substrat	Fond de l'ouvrage	Profon- deur (en m)	Cote N.G.F.			T (en m2/h)	S (en ‰)	Prof. (en m)	cote N.G.F.																																																																					
10	693-8X-63	+320,91	+321,35	+309,31	+308,91	2,44	318,91			5,0.10 ⁻³ ‰ (à 9,50 m)		3,25	318,1																																																																					
11	693-8X-62	+320,40	+321,07	+307,30	+306,80	2,53	318,54						4,6.10 ⁻³ ‰ (à 11,20 m)		3,28	317,79																																																																		
11	693-8X-62	+320,40	+321,07	+307,30	+306,80	2,53	3,18												2,92																																																															
16						2,09																	2,92																																																											
17	693-8X-61	+320,60	+321,05	+309,05	+308,60	2,37	318,68																				3,14	317,91																																																						
18						2,47																									3,20																																																			
19						2,18																													2,95																																															
	693-8X-64	+321,29		+309,29	+308,79																																																																													
	693-8X-65	+320,33		+309,88	+309,33																																																																													
	693-8X-66	+319,38		+306,98	+306,48																																																																													
	693-8X-67	+321,57		+310,77	+310,27																																																																													
S1	693-8X-73	+321,54		+318,44	+311,44																																																																													
S3	693-8X-73	+319,80		+318,15	+308,70																																																																													
S4	693-8X-73	+327,33		+321,23	+314,63																																																																													
S5	693-8X-73	+319,80		+317,39	+312,35																																																																													
S6	693-8X-73	+319,80		+316,67	+314,52																																																																													
S7	693-8X-73	+319,80		+318,24	+313,24																																																																													
S8	693-8X-73	+319,80		+317,25	+312,25																																																																													
S9	693-8X-73	+319,80		+317,65	+313,15																																																																													
	693-8X-54	+320,06		+306,76	+306,46																																																																													
	693-8X-55	+319,10		+307,85	+307,30																																																																													
	693-8X-56	+319,19		+309,84	+309,40																																																																													
	693-8X-57	+318,71		+309,31	+308,71																																																																													
	693-8X-58	+316,96		+309,86	+309,36																																																																													
	693-8X-59	+317,09		+309,24	+308,75																																																																													
	693-8X-60	+317,12		+309,72	+309,22																																																																													
	693-8X-104	+321,15		+309,25	+308,65																																																																													
	693-8X-105	+322,00	+323,92	+309,80	+309,40	3,95	+319,97																																																																											
	693-8X-106	+321,00		+308,80	+308,00																																																																													
	693-8X-107	+320,10		+307,30	+306,60																																																																													
	693-8X-108	+318,50		+309,10	+308,50																																																																													
	693-8X-109	+319,30		+314,20	+313,30																																																																													
	693-8X-110	(+321,00)	+322,80	+309,00	+308,00	5,66	+317,14																																																																											
	693-8X-111	(+321,00)	+322,34	+309,00	+308,02	5,33	+317,01																																																																											
	693-8X-145	+322,54	+323,04		+315,97	2,41	+320,63																																																																											
	693-8X-146	+322,01	+322,58		+316,93	4,20	+318,38																																																																											
15 (55)	693-8X-155	+321,07	+322,25	+307,67	<306,67	2,84	+319,41																																																																				10,56							
14 (54)	693-8X-156	+320,73	+322,00	+307,63	<306,63	3,16	+318,84																																																																				9,94							
13 (53)	693-8X-157	+320,14	+321,79	+309,14	<308,14	3,88	317,91																																																																											
12 (52)	693-8X-158	+320,55	+321,81	+308,45	<307,72	4,01	317,8																																																																											
11 (51)	693-8X-159	+320,45	+321,78	+308,45	<307,65	4,98	316,8																																																																											
10 (50)	693-8X-160	+320,47	+321,57	+308,47	<307,47	3,98	317,59																																																																											
9 (49)	693-8X-161	+320,36	+321,28	+309,16	<308,16	3,48	317,8																																																																											
8 (48)	693-8X-162	+320,43	+321,39	+308,23	<307,23	5,22	316,17																																																																											
7 (47)	693-8X-163	+320,09	+321,15	+307,89	<306,89	3,66	317,49																																																																											
6 (46)	693-8X-164	+320,24	+321,46	+308,44	<307,44	4,43	317,03																																																																											
5 (45)	693-8X-165	+320,13	+321,36	+307,23	<306,23	4,88	316,48																																																																											
4 (44)	693-8X-166	+319,78	+320,86	+307,58	<306,58	5,41	315,45																																																																											
3 (43)	693-8X-167	+320,07	+320,90	+307,07	<306,07	3,03	317,87																																																																											
2 (42)	693-8X-168	+319,98	+321,04	+308,68	<307,68	3,10	317,94																																																																											
1 (41)	693-8X-169	+319,85	+321,01	+308,85	<307,85	3,18	317,83																																																																											
13						2,52																																																																												
12						2,98																																																																												
	ALLIER PONT DE COURNON						320,14																																																																											
																																																																							le 16/05/77		le 29/11/77									
																																																																								Duvrage non exploité										
* Obtenue à partir de la valeur de K méthode LEFRANC																																																																																		

SIMULATION DE LA NAPPE ALLUVIALE DE L'ALLIER
SECTEUR DE COURNON D'AUVERGNE
PUY-DE-DOME

CARTE PIEZOMETRIQUE

DU 16/05/77

ECHELLE : 1/10000

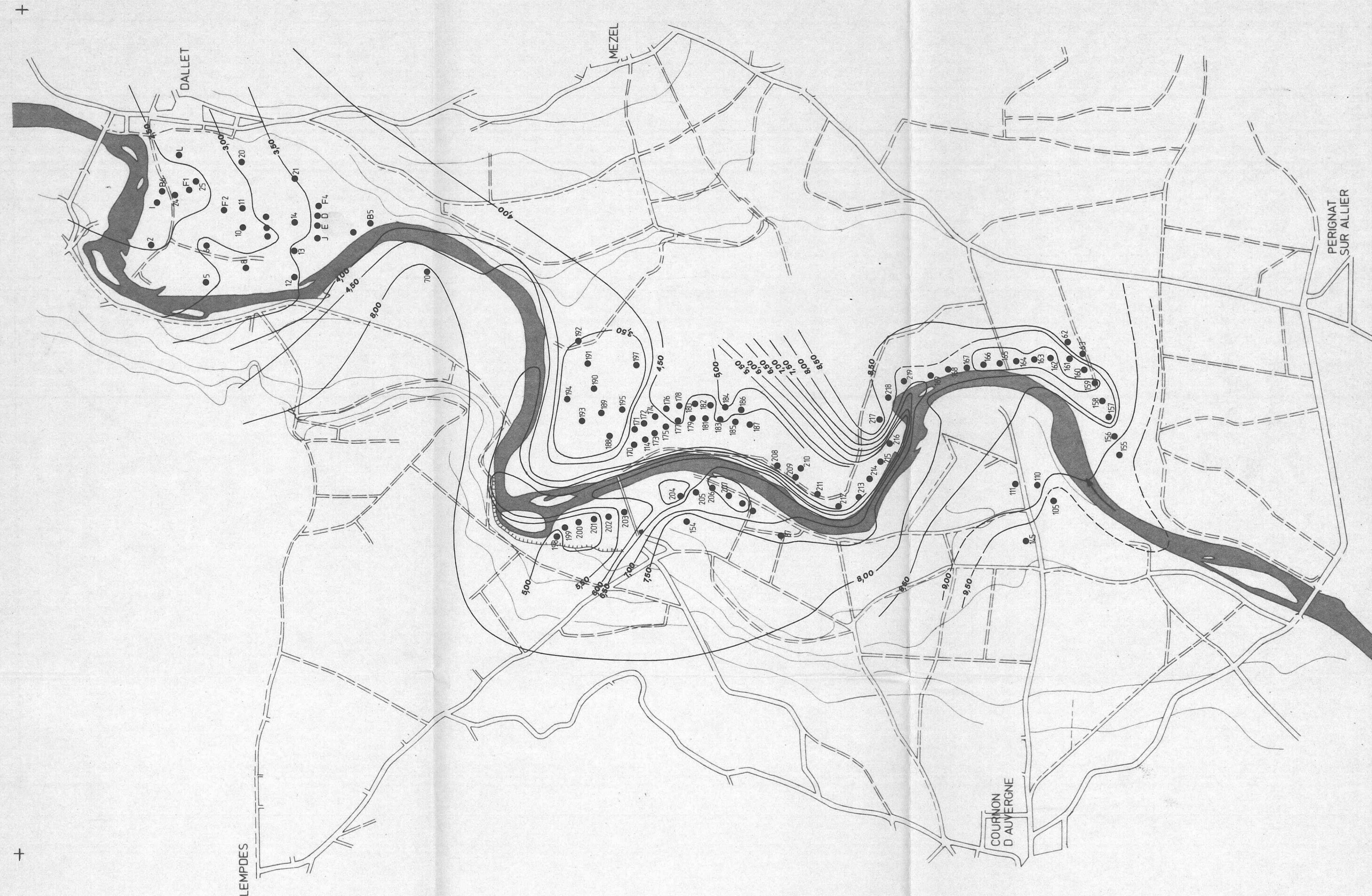
RAPPORT N°79 SGN 629 AUV

Annexe n° 2

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES

Service géologique régional MASSIF CENTRAL

22, Avenue de Lempdes
63800 COURNON D'AUVERGNE
Tél: 84-80-83



SIMULATION DE LA NAPPE ALLUVIALE DE L'ALLIER
SECTEUR DE COURNON D'Auvergne
PUY-DE-DOME

CARTE PIEZOMETRIQUE

DU 29/11 / 77

ECHELLE : 1/10000

RAPPORT N°79 SGN629 AUV

Annexe n° 3

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES

Service géologique régional MASSIF CENTRAL

22, Avenue de Lempdes
63800 COURNON D'Auvergne
Tél: 84-80-83



SIMULATION DE LA NAPPE ALLUVIALE DE L'ALLIER
SECTEUR DE CURNON D'AUVERGNE
PUY-DE-DOME

PIEZOMETRIE DU 29/11/77

ECHELLE : 1/5000

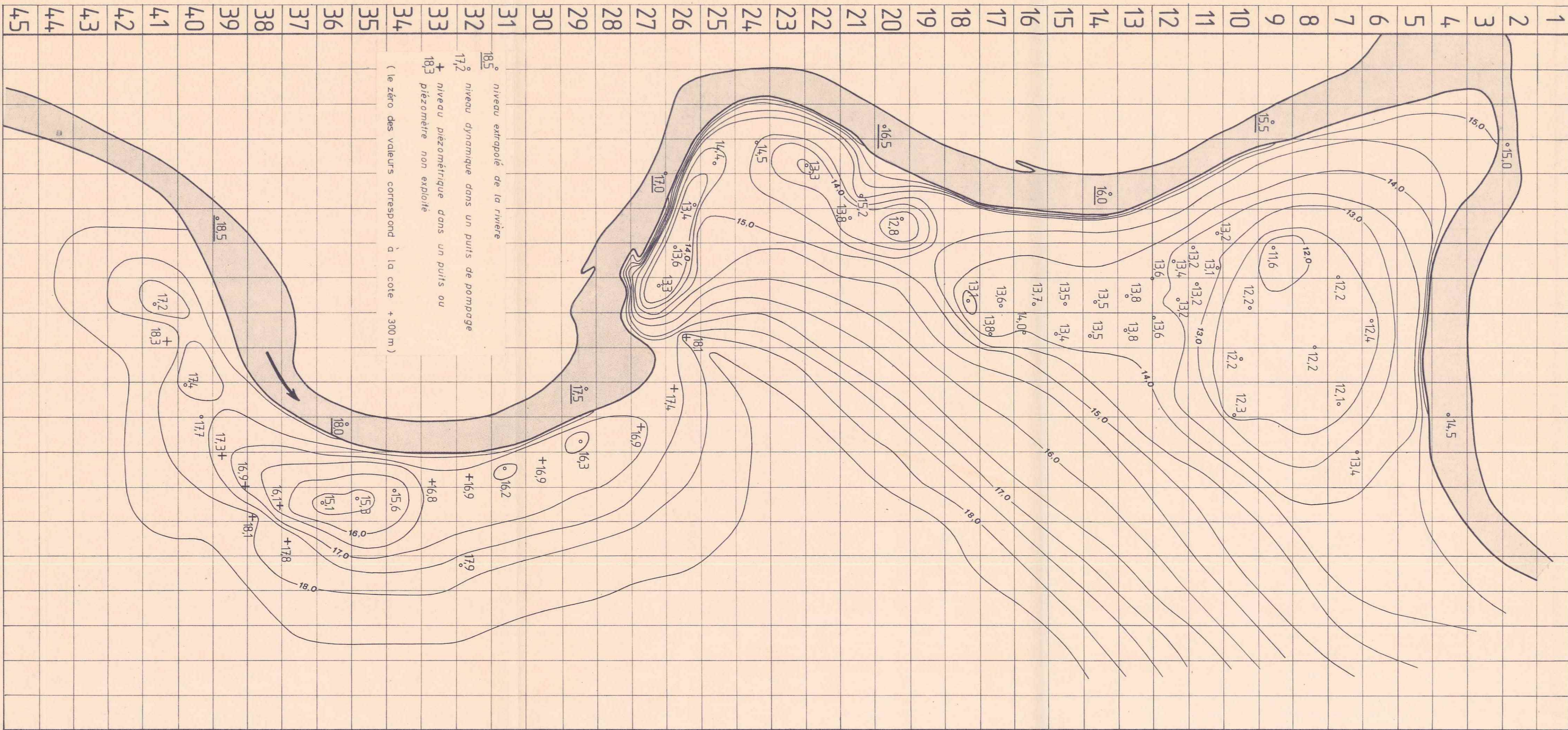
RAPPORT N 79 SGN 629 AUV

Annexe n° 4

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES

Service géologique régional MASSIF CENTRAL

22, Avenue de Lempdes
63800 CURNON D'AUVERGNE
Tél: 84-80-83



SIMULATION DE LA NAPPE ALLUVIALE DE L'ALLIER
SECTEUR DE CURNON D'Auvergne
PUY-DE-DOME

ISOHYPSES DU SUBSTRATUM

(LE ZERO DES VALEURS CORRESPOND A LA COTE +300m)

ECHELLE : 1/5000

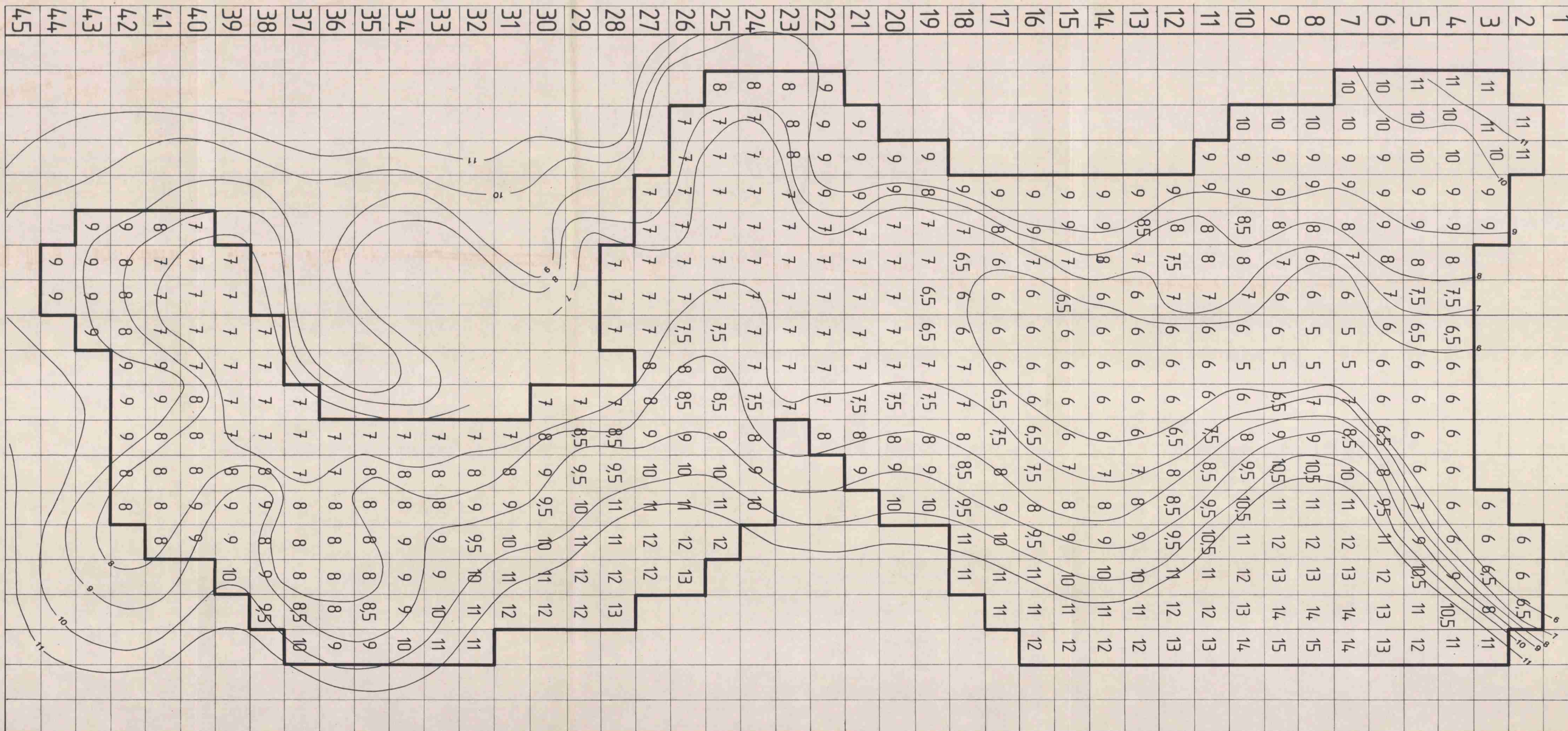
RAPPORT N°79 SGN 629 AUV

Annexe n°5

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES

Service géologique régional MASSIF CENTRAL

22, Avenue de Lempdes
63800 CURNON D'Auvergne
Tél : 84-80-83



SIMULATION DE LA NAPPE ALLUVIALE DE L'ALLIER
SECTEUR DE COURNON D'AUVERGNE
PUY-DE-DOME

PERMEABILITE

ECHELLE : 1/5000

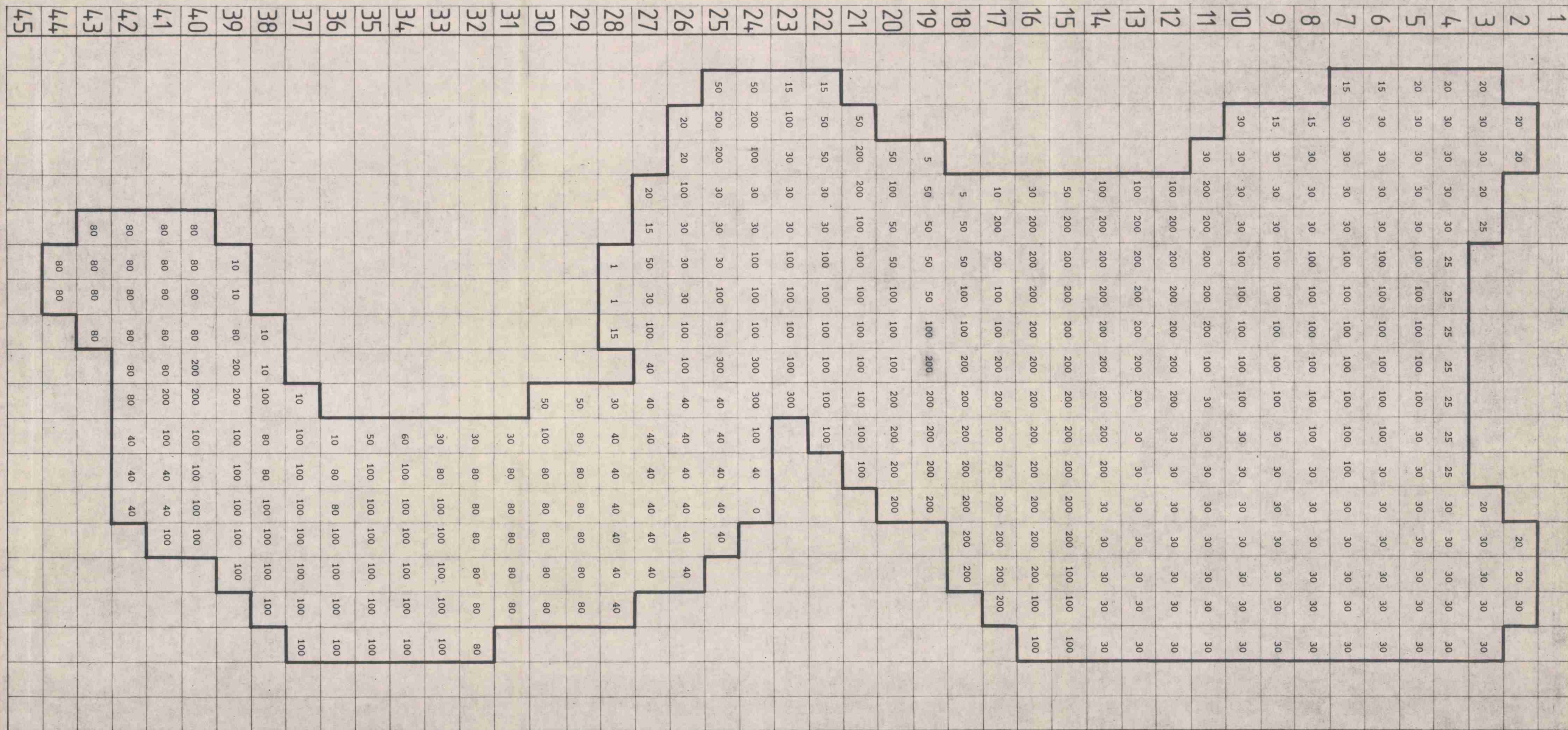
RAPPORT N 79 SGN 629 AUV

Annexe n° 6

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES

Service géologique régional MASSIF CENTRAL

22, Avenue de Lempdes
63800 COURNON D'AUVERGNE
Tél : 84-80-83



SIMULATION DE LA NAPPE ALLUVIALE DE L'ALLIER
SECTEUR DE COURNON D'AUVERGNE
PUY-DE-DOME

CARTE DES DEBITS SIMULES

Origine de l'alimentation
des forages

ECHELLE : 1/ 5000

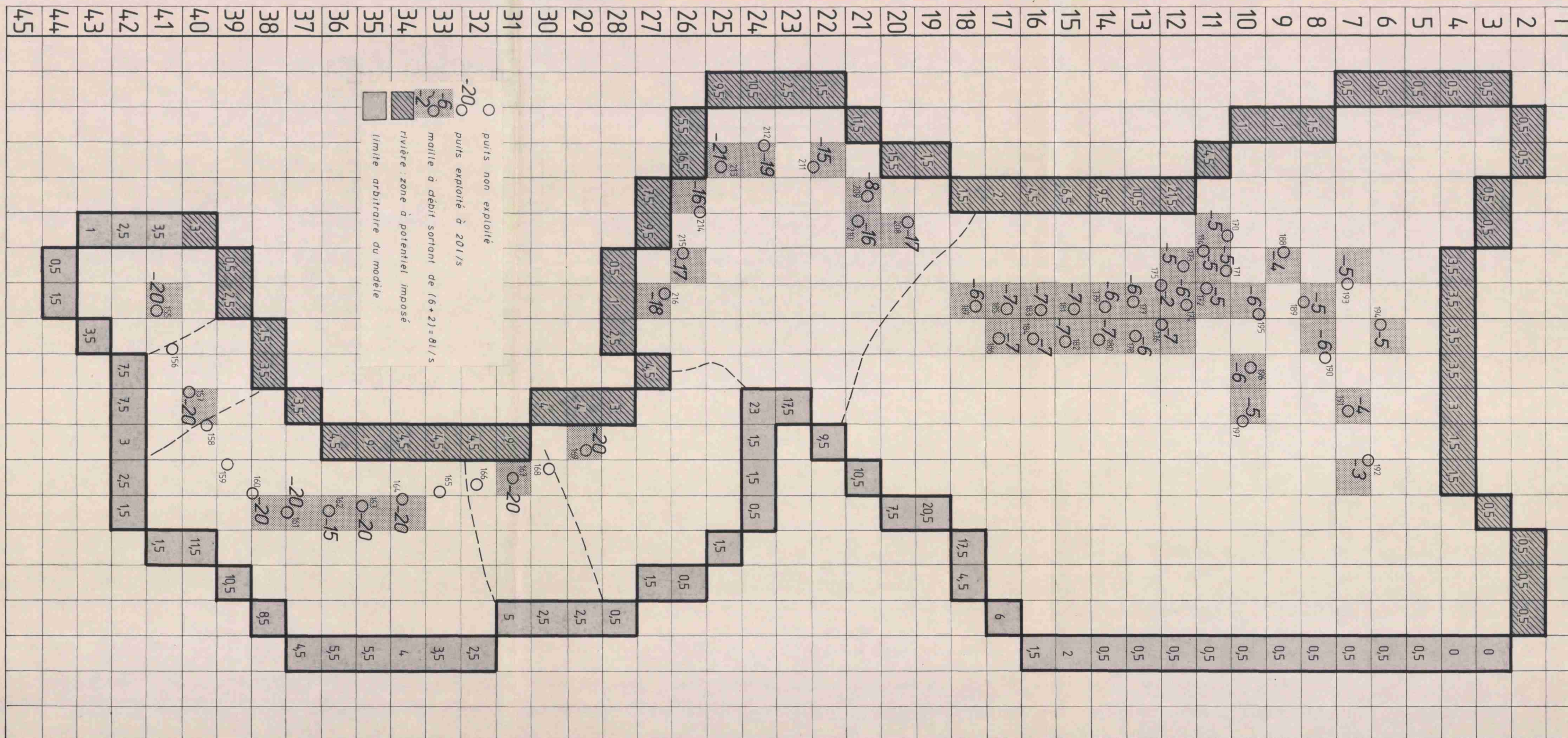
RAPPORT N 79 SGN 629 AUV

Annexe n° 7

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES

Service géologique régional MASSIF CENTRAL

22, Avenue de Lempdes
63800 COURNON D'AUVERGNE
Tél : 84-80-83



SIMULATION DE LA NAPPE ALLUVIALE DE L'ALLIER
SECTEUR DE COURNON D'AUVERGNE
PUY-DE-DÔME

ECARTS ENTRE PIEZOMETRIE CALCULEE ET MESUREE

ECHELLE : 1/5000

RAPPORT N°79 SGN629 AUV

Annexe n°8

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES

Service géologique régional MASSIF CENTRAL

22, Avenue de Lempdes
63800 COURNON D'AUVERGNE
Tél. : 84-80-83

