

**MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT
INDUSTRIEL ET SCIENTIFIQUE**

**BUREAU DE RECHERCHES
GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES**

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
B.P. 6009 – 45018 Orléans Cédex
Tél.: (38) 66.06.60

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT

GROUPE D'ÉTUDE ET DE PROGRAMMATION

ÉTUDE DE PLANS D'EAU AU SUD DE RENNES (35)

S.D.A.U.

Seconde campagne

par

L. BRUNEL & J. DEPAGNE



Service géologique régional BRETAGNE – PAYS-DE-LA-LOIRE
c/o C.S.T.B. chemin de la Bourgeonnière, 44000 Nantes – Tél.: (40) 74.94.49

**Bureau de Recherches
Géologiques et Minières**

BIBLIOTHEQUE

73 SGN 119 BPL

Nantes, mars 1973

RESUME GENERAL DE L'ETUDE
DU SECTEUR DES PLANS D'EAU DE RENNES

Le Ministère de l'Équipement et du Logement (Direction Départementale de l'Équipement d'Ille-et-Vilaine) a confié au B.R.G.M. l'étude géologique et hydrogéologique du secteur des ballastières situé dans la vallée de la Vilaine en aval de Rennes. Ce secteur doit, selon le schéma d'Aménagement et d'Urbanisme de Rennes, être aménagé en une zone de loisirs permettant la pratique des sports nautiques. La qualité des futurs plans d'eau doit donc satisfaire aux prescriptions réglementaires du point de vue sanitaire. L'étude avait pour but de déterminer dans quelle mesure les conditions de gisement et d'écoulement de la nappe alluviale sont susceptibles d'influer sur la salubrité de l'aménagement projeté. Il est patent en effet que la Vilaine, après la traversée de l'agglomération rennaise, est fortement polluée. La propagation de pollutions à partir du fleuve aurait donc pu être de nature à compromettre le projet.

L'étude a comporté :

- le recueil et l'exploitation de la documentation existante, afin de préciser la nature et la géométrie des divers terrains constituant le substratum et le remplissage de la vallée. Des observations et investigations de terrain ont permis de la compléter ;
- la mise en place et l'exploitation d'un réseau d'observations piézométriques, composé d'échelles limnimétriques dans les carrières et de puits particuliers, et complété par la réalisation de piézomètres. Au total 38 points de mesure, dont 4 en rive droite, ont fait l'objet de relevés bimensuels ;
- des pompages d'essai et une opération de traçage destinés à définir la perméabilité des alluvions.

Les principaux résultats peuvent être résumés de la façon suivante :

- La vallée présente un remplissage alluvial constitué de graviers, assez propres dans la partie centrale du secteur, beaucoup plus argileux au Nord (entre Apigné et Lillion), et recouvert d'une faible épaisseur de limons. Cette formation est déjà largement entamée par les exploitations et le développement prévisible des carrières n'en laissera subsister que des lambeaux. Les graviers reposent sur un substratum de formations tertiaires, argiles dans la partie orientale et le long de la Vilaine en aval de Lillion, sables rouges dans la partie centrale et au Nord du secteur.

- Les graviers contiennent une nappe alimentée essentiellement par le ruissellement du versant (St Jacques de la Lande), et drainée par la Vilaine. Cette disposition d'ensemble est toutefois perturbée par la situation artificielle créée par les exploitations (pompages de la carrière du Roux, alimentation directe par la Vilaine de la carrière Huchet et de l'étang d'Apigné). A un écoulement d'ensemble vers le fleuve se superpose donc un cône de dépression au Sud et une réalimentation au Nord.
- Outre l'existence de carrières noyées, qui forment un "tampon" qui limite la propagation des pollutions, la nappe est compartimentée par des remblais, le colmatage des berges des étangs et, semble-t-il, par le compactage des terrains sous-jacents aux routes et chemins.
- La perméabilité des graviers est variable, comme leur teneur en argile. Relativement peu élevée dans la partie centrale du secteur (de l'ordre de 2.10^{-3} m/s), elle apparaît beaucoup plus faible vers le Nord (2 à 5.10^{-6} m/s). Il est à remarquer que c'est dans la zone où la Vilaine est en communication hydraulique avec la nappe, sans intercalation d'argiles tertiaires, que la perméabilité est la plus faible.
- Nos observations ont en effet montré que, entre Apigné et Lillion, des communications souterraines existent. La dépression causée par les pompages du Sud du secteur favorise donc une certaine contamination par l'eau du fleuve, d'autant plus qu'à la surface de contact offerte par les berges de la Vilaine s'ajoute celle des berges de l'étang d'Apigné et de la carrière Huchet.

Les données géologiques et hydrogéologiques sont donc dans l'ensemble favorables à l'aménagement projeté : alimentation par le versant, compartimentage de la nappe, isolement de la nappe par rapport à la Vilaine ou au pire communications au travers de terrains de faible perméabilité. Le rétablissement de conditions naturelles d'écoulement, après l'arrêt des exploitations de graviers, s'opposera à la propagation de pollutions en provenance de la Vilaine.

Il subsiste cependant un certain nombre de risques dont il faudra tenir compte lors de la réalisation de l'aménagement. Il conviendra de supprimer les venues d'eau du fleuve dans la carrière Huchet et dans l'étang d'Apigné (ce dernier devant être équipé d'une vanne à sens unique pour en permettre la vidange quand il sera en charge par rapport à la Vilaine). Les plans d'eau les plus proches du fleuve devront peut-être être exclus de l'aménagement, au moins dans la partie Nord où les communications hydrau-

liques sont possibles. Enfin il peut être bon de prévoir un exhaussement du remblai du chemin de halage, pour prévenir l'inondation de la zone aménagée lors des fortes crues du fleuve. Dans ce dernier cas, il est vrai, les dégâts des eaux sont plus à craindre que la pollution, l'eau de la Vilaine étant alors assez propre.

Le fond des plans d'eau étant généralement sale (décharges, sédimentation des fines de lavage des graviers), un curage en sera nécessaire. Il faudra toutefois prendre garde à ne pas exposer le substratum argileux tertiaire, ce terrain fortement chargé en matières organiques risquant de produire des vases noires putrides.

- R E S U M E -

La première campagne d'étude du secteur des ballastières (rapport BRGE 72 SGE 043 BPL) a permis de définir les conditions générales de gisement et l'écoulement de la nappe alluviale de la Vilaine. Les points demeurés imprécis ont motivé une seconde campagne, dont le présent rapport rend compte.

Les conclusions auxquelles nous avons précédemment abouti se sont trouvées intégralement confirmées. Des précisions sur la nature et la perméabilité des alluvions ont été obtenues par la mise en place de piézomètres et les pompages qui y ont été effectués, ainsi que par une opération de traçage. Les terrains sont très hétérogènes et la perméabilité peut varier de 3 puissances de 10 entre la zone de la carrière du Houx et celle de Bougrières.

La mise en charge de la nappe alluviale par l'écoulement en provenance de St-Jacques, lors de l'arrêt des exploitations, aura pour effet d'empêcher la propagation de pollutions massives à partir de la Vilaine. Toutefois il faudra peut-être prévenir les inondations des secteurs bas par les crues du fleuve qui apporteraient de l'eau de mauvaise qualité.

Les facteurs hydrogéologiques, tels qu'ils ressortent de notre étude, sont favorables au projet. Le maintien, et même l'amélioration, des conditions sanitaires doivent découler du rétablissement des modalités naturelles d'écoulement de l'eau.

- S O M M A I R E -

	Pages
RESUME	I
SOMMAIRE	II
INTRODUCTION	1
1 - RAPPEL DES RESULTATS ANTERIEURS.	3
2 - TRAVAUX DE LA SECONDE CAMPAGNE	5
3 - OBSERVATIONS GEOLGOCIQUES.	7
4 - OBSERVATIONS PIEZOMETRIQUES	9
41 - Fluctuations naturelles.	9
42 - Profils piézométriques	11
43 - Cartes piézométriques	13
44 - Conclusions.	13
5 - RELATIONS NAPPE-VILAINE	14
51 - Méthode d'observation et résultats	14
52 - Conclusions	15
6 - CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES DES ALLUVIONS.	16
61 - Traçage - technique mise en oeuvre	16
62 - Résultats	16
7 - SIMULATION DES ECOULEMENTS	20
8 - CONCLUSIONS GENERALES	22

- Liste des Figures dans le texte -

	Pages
Figure 1 - Fluctuation des niveaux et pluviométrie	8
Figure 2 - Profils piézométriques	10
Figure 3 - Cartes piézométriques	12
Figure 4 - Traçage - graphique des résultats	17

- Documents en annexe -

- I - Carte de la situation des points observés
- II - Tableau des mesures piézométriques
- III - Carte des zones remblayées
- IV - Enregistrements sur limnigraphes

- INTRODUCTION -

Peu après avoir traversé Rennes, le cours de la Vilaine, auparavant orienté Est-Ouest, s'infléchit et prend une direction Nord-Sud, jusqu'à la rencontre des formations primaires de Pont-Réan. Dans ce secteur d'importants épandages de graviers alluviaux ont permis un développement intense de carrières d'agréats.

La SDAU de Rennes prévoit l'aménagement de cette zone après la fin des exploitations, en un espace réservé aux loisirs, comportant en particulier des plans d'eau pour les sports nautiques.

La vilaine, après la traversée de l'agglomération rennaise, est assez fortement polluée, surtout pendant les mois d'été. Il convenait donc de s'assurer que cette pollution ne risquait pas de contaminer les plans d'eau projetés, ce qui aurait pu remettre en question le schéma d'aménagement.

Outre une étude sanitaire, confiée à l'Ecole Nationale de la Santé Publique, la Direction Départementale de l'Equipement d'Ille-et-Vilaine (Groupement d'Etude et de Programmation) a donc demandé au B.R.G. . d'étudier les facteurs hydrogéologiques de circulation de la nappe des graviers et ses rapports avec le fleuve.

Un premier rapport, publié en Février 1972⁽¹⁾, a apporté les principaux éléments d'appréciation de ces problèmes. Les conclusions étant nettement positives, la poursuite de l'étude a été décidée pour parfaire les observations et lever les ambiguïtés subsistant à la fin de la première campagne.

Le réseau d'observations a été complété par l'exécution de 6 piézomètres et la pose de limnigraphes. Ce travail a apporté des renseignements intéressants, permettant de conclure à la sécurité des installations projetées. Un traçage au chlorure de sodium a été réalisé afin d'évaluer la perméabilité des graviers. Enfin nous nous sommes efforcés de

(1) Etude de plans d'eau au Sud de Rennes, rapport BRGM n° 72 SCN 043 BPL, 15 Février 1972.

réaliser un modèle mathématique permettant d'étudier les modalités de propagation d'une pollution affectant la Vilaine.

Les résultats de ces diverses opérations, et les conclusions qu'ils autorisent constituent l'objet du présent rapport.

1 - PALETTE DES RESULTATS ANTERIEURS.

Nous résumerons ici les conclusions du rapport BRG 72 SGT 043 BPL, auquel nous nous permettrons de renvoyer le lecteur pour plus de détail.

Le secteur dont l'aménagement est projeté présente un épandage de graviers d'épaisseur croissante d'Est (1,50m au Pâtis des Couasmes) en Ouest (plus de 4m à la hauteur de la Vilaine, dans la mesure du moins où l'exploitation ne les a pas déjà enlevés. Ils sont recouverts de limons peu épais, parfois absents, et recouvrent eux-mêmes les terrains du bassin sédimentaire tertiaire.

Ces formations tertiaires comprennent des sables, qui remplissent une cuvette allongée Nord-Sud et dont la partie la plus profonde, au Sud de Billion, atteint 40m sous le sol, et des argiles noires qui se relèvent pour affleurer le long de la Vilaine, à la hauteur de la Piblais.

Le fleuve coule donc tantôt sur les graviers, tantôt sur les argiles. Dans le second cas il ne peut y avoir de communications hydrauliques faciles entre la nappe des graviers et la Vilaine. Dans le premier au contraire la transmission de pollutions est possible, d'autant plus d'ailleurs que certaines excavations sont directement reliées à la Vilaine pour les besoins de l'exploitation.

Les mesures piézométriques montrent que, hors des périodes de crues, l'écoulement d'ensemble de la nappe des graviers se fait du coteau vers le fleuve. Ceci tend à s'opposer à la propagation de pollutions et constitue donc un élément très favorable à l'aménagement projeté.

La qualité convenable de l'eau, reconnue par l'étude de l'Ecole Nationale de la Santé Publique, est une conséquence de ce mode d'écoulement. L'aménagement projeté peut donc être réalisé dans de bonnes conditions sous réserve que soient supprimées les communications directes entre le fleuve et certaines carrières. Un curage et un nettoyage des excavations sera nécessaire, mais ne devra pas être poussé jusqu'aux argiles tertiaires qui donneraient des vases noires putrescibles.

A la fin de cette étude certains problèmes subsistaient :
évaluation de la perméabilité des alluvions, développement des anciennes
exploitations remblayées, comportement hydraulique de la nappe lors des
crues de la Vilaine, effet possible de colmatage des dépôts limoneux
actuels du fleuve.

2 - TRAVAUX DE LA SECONDE CAMPAGNE.

Au cours de la seconde campagne d'étude les opérations suivantes ont été effectuées :

1 - Extension du réseau d'observation et relevé des niveaux.

Le réseau initial, constitué de 17 échelles limnimétriques et de 11 puits, a été complété par l'intégration de 3 puits supplémentaires et la mise en place de six piézomètres. Cette dernière opération a fait l'objet d'une note en date de Septembre 1972. La situation des points observés est précisée sur la carte au 1/25.000 jointe - annexe I.

25 tournées de mesures ont été effectuées entre le 16 Février 1972 et le 16 Février 1973. Les résultats en sont consignés dans le tableau en annexe II.

2 - Etude des relations entre la nappe et la Vilaine.

Des enregistrements limnigraphiques comparatifs ont été réalisés en Vilaine et dans un piézomètre afin de déterminer l'influence des crues du fleuve dans la zone où les communications hydrauliques sont possibles. Afin de mieux caractériser cette influence nous avons opéré selon plusieurs rythmes d'enregistrement, mensuel au départ, puis hebdomadaire et enfin mensuel après un essai à rotation de 24 heures. Il est apparu que le rythme hebdomadaire était celui qui permettait la meilleure caractérisation. Parallèlement des analyses chimiques comparatives ont été faites sur l'eau de la Vilaine et celle du piézomètre.

3 - Traçage.

Les données recueillies sur la perméabilité des graviers manquant de précision, il était prévu, outre les essais de pompage lors de la réalisation des piézomètres, d'effectuer un essai de traçage dans une zone appropriée. La teneur en argile des graviers nous a incité à utiliser pour ce faire le chlorure de sodium, plutôt que la fluorescéine, trop facilement absorbable par les argiles. Ce traçage a été fait entre la carrière Huchet et la carrière du Roux afin de profiter du gradient important causé par les pompages de cette dernière.

4 - Recherche des zones remblayées.

Le compartimentage de la nappe par le remblaiement d'anciennes exploitations pouvant jouer un rôle dans les modalités d'écoulement, et donc de transmission d'éventuelles pollutions, nous nous sommes attachés à rechercher dans toute la mesure du possible les traces de tels remblaiements. Outre les observations directes de comblements relativement récents, nous avons réuni les indications fournies par les exploitants et les habitants. Nous n'avons malheureusement pu trouver de documentation écrite sur ce sujet. Les résultats de cette opération sont transcrits sur une carte qu'on trouvera en annexe III.

5 - Simulation mathématique.

Nous avons tenté de représenter le secteur étudié par simulation sur modèle mathématique. Nous pensions ainsi pouvoir faire des prévisions sur la propagation d'éventuelles pollutions. Il est apparu que la complexité du développement des excavations et celle de l'écoulement ne permettaient pas d'obtenir une représentation d'une précision suffisante.

3 - OBSERVATIONS GEOLOGIQUES.

La note de Septembre 1972 donne le détail des observations effectuées lors de la mise en place des piézomètres. Cette opération a montré essentiellement que :

- Les graviers alluviaux sont fortement argileux. Nous avons souvent été amenés à qualifier cette formation d'"argile graveleuse" plutôt que de graviers. Au piézomètre n° 1 ils sont pratiquement absents et nous pensons que cet ouvrage a été implanté sur un ancien cours du ruisseau du Blosne qui les aura déblayés.

- Corrélativement à cette forte teneur en argile, les perméabilités sont extrêmement faibles, au point qu'il n'a pas été possible de les mesurer par les méthodes classiques. Elles ont été évaluées à : $1 \text{ à } 5.10^{-6} \text{ m/s}$. Il est à remarquer que ces déterminations ne concordent pas avec celles données dans notre précédent rapport ($2 \text{ à } 3.10^{-3} \text{ m/s}$). Il est donc vraisemblable que les graviers présentent une hétérogénéité assez importante, ce qui risque de laisser subsister une certaine incertitude quant aux conclusions et aux pronostics que l'on pourra faire. Nous reviendrons sur ce point lorsque nous traiterons du traçage.

- Ces points mis à part, aucune observation ne nous conduit à remettre en question les conclusions antérieures. Le schéma géologique d'ensemble que nous avons présenté peut être considéré comme exact dans l'état actuel des connaissances. Les différences qui pourraient être constatées à l'occasion de nouveaux travaux ont très peu de chance de se révéler importantes.

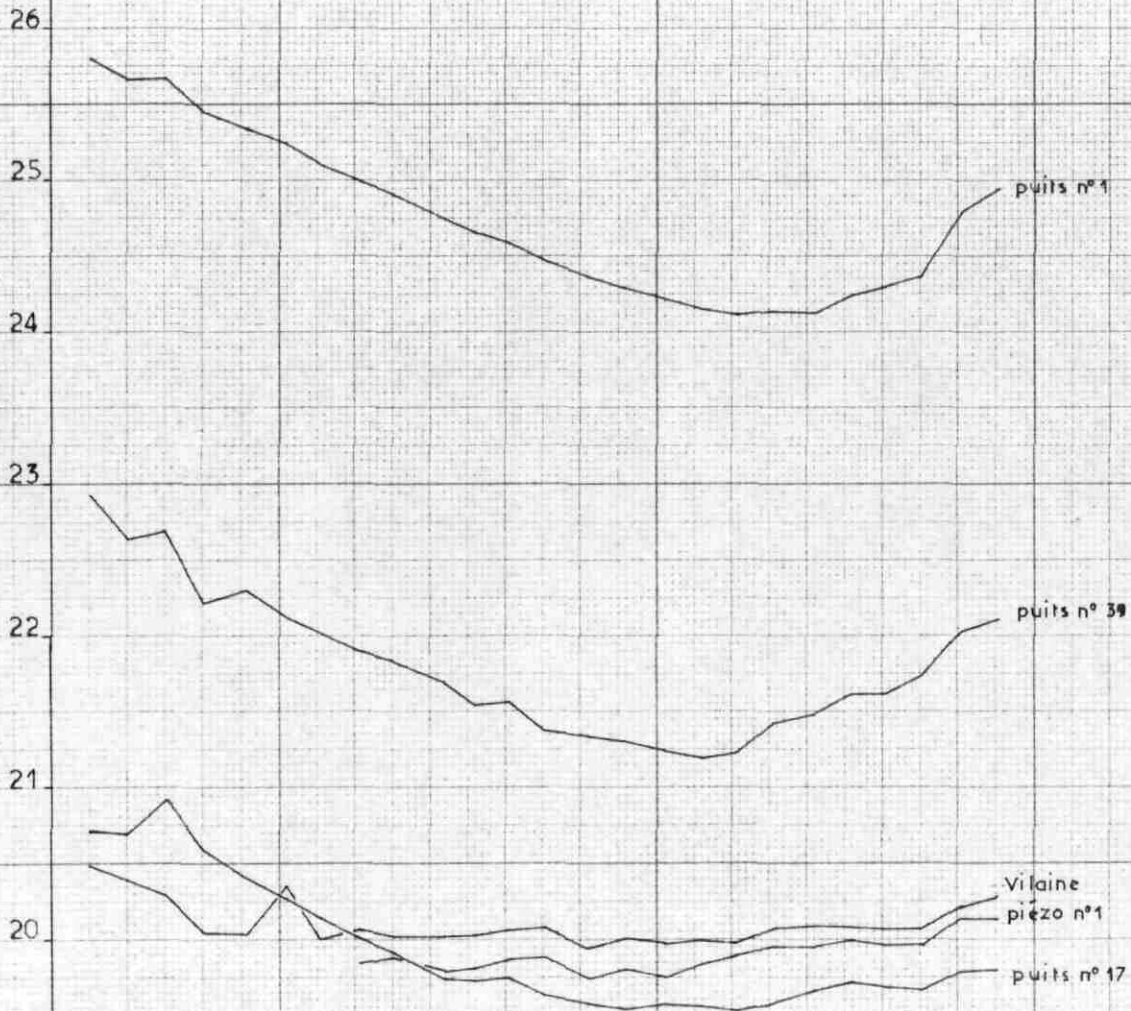
Fluctuation des niveaux et pluviométrie

(Météo de Rennes S^t Jacques)

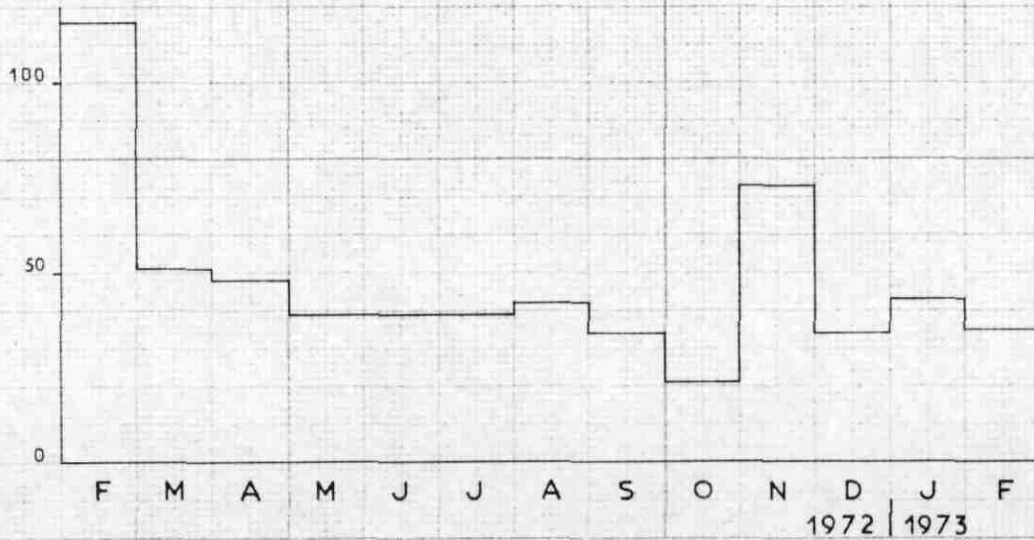
Figure 1

Période : Février 72 à Février 73

cote NGF de l'eau
(m)



Pluviométrie (mm)



4 - OBSERVATIONS PIÉZOMÉTRIQUES.

Le tableau en annexe II donne les résultats des 25 tournées de mesures effectuées depuis le 16 Février 1970. Le caractère artificiel de l'écoulement induit par les pompages (carrière du Houx, carrière Huchet 3) et par l'ouverture à la Vilaine de la carrière Huchet 1 rend ininterprétables certaines des fluctuations de niveau. Par contre les points de mesure proches du coteau, ou situés en rive droite de la Vilaine peuvent être considérés comme représentatifs de l'évolution naturelle de la nappe.

4.1 Fluctuations naturelles.

Le graphique ci-contre (figure 1) montre l'évolution au cours de la période d'étude d'un certain nombre de points de mesures. Les puits n° 1 (rive gauche) et 32 (rive droite) permettent de caractériser l'évolution naturelle de la nappe, en dehors des zones d'influence de la Vilaine ou des pompages. Ils montrent une décrue régulière de Février à Octobre - Novembre 1970, suivie d'une remontée jusqu'à l'arrêt des mesures. La régularité de la décrue est d'ailleurs d'autant meilleure que le point considéré est plus éloigné de la Vilaine ou des autres sources de perturbations. Cette évolution se corrèle admirablement avec celle de la pluviométrie, indiquée en bas du graphique. Par contre il est plus difficile de la rapprocher de celle de la Vilaine (échelle n° 12).

Autre est le comportement du piézomètre n° 1 que nous avons représenté à titre de comparaison. Celui-ci, situé comme nous l'avons dit sur l'ancien lit du Bloune, et dans une zone soumise à l'influence de pompages, montre une évolution très parallèle à celle du fleuve. La dépression induite par ces pompages est en outre cause de ce que son niveau est constamment inférieur, de 1 à 20 cm, à celui de la Vilaine.

Ces observations montrent que la nappe a un double comportement: alimentée par les versants, en fonction des pluies, elle apparaît soutenue

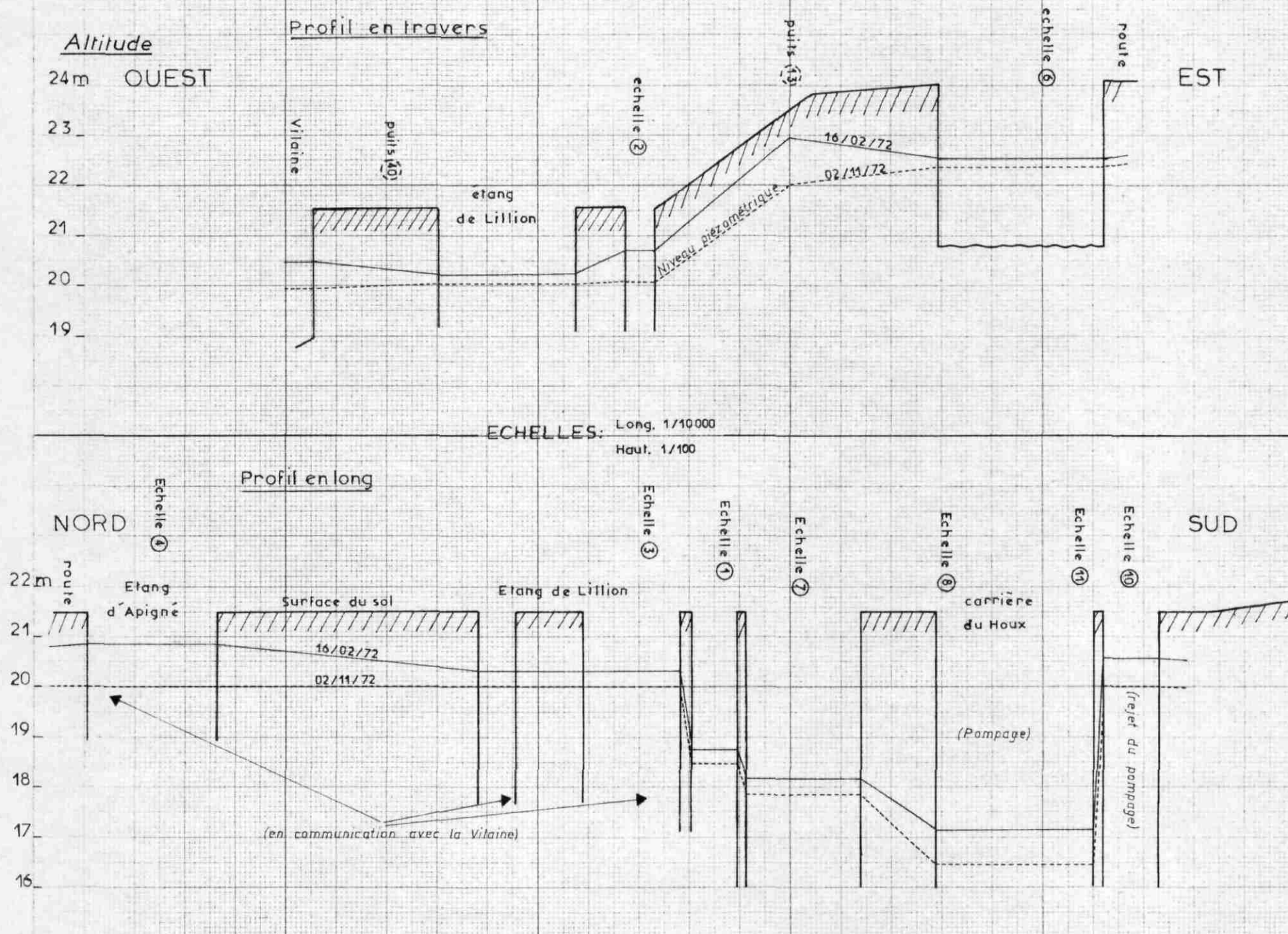


Figure 2

par la Vilaine, directement ou indirectement (par l'intermédiaire des carrières reliées au fleuve) dans les zones proches de celle-ci et où les niveaux sont déprimés par pompages. Aucune observation ne nous permet, bien évidemment, de conclure quant au régime naturel de la nappe en l'absence de pompages, mais nous sommes portés à penser que, dans son ensemble, elle serait alors en charge par rapport au fleuve.

L'évolution du puits n° 17, également représentée sur le graphique, paraît à première vue en contradiction avec cette conclusion. A partir de Juin 1970, son niveau en effet reste constamment en-dessous de celui de la Vilaine. Mais en fait cet ouvrage est soumis tout particulièrement à l'influence de divers pompages : carrière du Houx, carrière de l'échelle n° 5, puits de la Société Rennaise de Préfabrication (à la Haie des Cognets).

42 Profils piézométriques (voir figure 2).

Les profils relatifs aux plus hautes eaux (16 Février 1972) et aux plus basses (2 Novembre 1972) ne montrent pas de différence sensible avec ceux présentés précédemment⁽¹⁾. Sur le profil E-W apparaît nettement le fait que la nappe, à partir du versant, est en charge par rapport à la Vilaine. Le profil E-S met particulièrement en évidence l'effet perturbateur des pompages de la carrière du Houx. On remarquera qu'en Février 72, l'étang d'Apigné est en charge par rapport à la Vilaine. Ceci tient à ce qu'il est également alimenté par le second étang qui reçoit le Blossne au Nord de la route et éventuellement les infiltrations à partir du bief supérieur de la Vilaine, alors que son exutoire sur le fleuve (buse d'un mètre de diamètre) ne lui permet pas une vidange rapide.

Il n'est pas possible de prévoir avec quelque précision la forme que prendra ce profil E-S lorsque cesseront les pompages. Il est toutefois vraisemblable que l'écoulement à partir du versant remette alors l'ensemble de cette zone en charge par rapport au fleuve, hormis peut-être aux époques de crue. Nous aurons plus loin l'occasion de voir l'importance pratique de cette remarque.

(1) in rapport 72 SGR 043 BPL.

43 Cartes piézométriques.

Les cartes piézométriques relatives aux hautes eaux (16 Février 1972) et à l'étiage (2 Novembre 1972) sont très comparables entre elles et avec la carte du 23 Octobre 1971 précédemment présentée⁽¹⁾. En conséquences, et pour permettre la comparaison, nous les avons représentées sur la même figure (figure 3). Comme nous l'avions dit alors, les perturbations causées par les pompages et les rejets en rendent le dessin malaisé.

L'opposition entre la partie orientale du secteur, siège d'un écoulement à partir du versant et la partie occidentale où le cône de rabattement de la carrière du Houx est prolongé au Nord par une zone sensiblement au niveau de la Vilaine, se retrouve encore ici.

Il semble donc bien que la Vilaine montre, dans la région des étangs d'Apigné et de Bougrières, une tendance à soutenir (directement ou indirectement) la nappe sollicitée par les pompages.

Les observations piézométriques laissent donc à penser que, dans cette région d'Apigné du moins, les communications hydrauliques sont possibles entre le fleuve et la nappe. Si la teneur en argile des alluvions tend à en réduire l'influence, il n'y a pas moins là un risque de propagation des pollutions. Mais il faut bien voir que l'arrêt des pompages modifiera considérablement cette situation. Pas plus que précédemment nous ne pouvons nous permettre de pronostiquer ce qui se passera alors dans le détail. Il nous paraît évident que de nouvelles observations seront alors nécessaires afin de caractériser le régime de la nappe en dehors des influences perturbatrices.

44 Conclusion.

Les mesures périodiques des niveaux se révèlent donc dans une certaine mesure insuffisantes. Les conditions d'écoulement de l'eau n'ayant pratiquement pas varié, elles n'ont pas permis d'affiner les conclusions antérieures. Pour tenter de mieux caractériser les relations de la nappe et de la Vilaine, il nous a fallu faire appel à des techniques plus fines. Ce fut le but de l'opération dont nous allons parler ci-après.

(1) in rapport 72 SGH 043 BPL.

5 - RELATIONS NAPPE-VILAINE.

Les mesures piézométriques semblant montrer que la Vilaine soutient la nappe dans la zone d'Apigné, il était nécessaire de chercher à mieux caractériser les relations pouvant exister entre elles.

En effet d'une part, la coupe des ouvrages d'exploration (piézomètres 1 et 5), ainsi que les essais de pompage qui y ont été effectués paraissent exclure la possibilité de relations faciles (forte teneur en argile des alluvions). D'autre part le fait de la quasi horizontalité de la nappe amène à la conclusion inverse. On pouvait penser à une alimentation indirecte, par l'intermédiaire de l'étang d'Apigné. La pose de limnigraphes en Vilaine et dans le piézomètre 5 devait, semble-t-il, permettre de lever l'indétermination.

5.1 Méthode d'observation et résultats.

Les limnigraphes utilisés sont des R 16 OTT. Ils ont été posés le 3 Octobre 1972 et réglés pour une rotation d'une durée d'un mois. Nous sommes passés à une rotation d'une semaine du 8 au 24 Novembre, un essai à rotation de 24 heures a été fait du 29 au 30 Novembre, après quoi nous sommes revenus à la période mensuelle. L'expérience nous a montré en effet que le choix de la période de rotation n'a pas d'influence sur la valeur des résultats, nous avons donc repris la plus longue durée pour des raisons pratiques.

Les observations ont été dans une certaine mesure perturbées par le passage des péniches. Les vagues amènent en effet des oscillations du flotteur qui se traduisent par un enregistrement empâté et difficile à lire pour le limnigraphe du fleuve. Mais en fait même cet inconvénient s'est révélé un avantage.

En effet on constate un parallélisme frappant entre les variations de niveau de la Vilaine et du piézomètre. Les deux courbes, corrigées des fluctuations accidentelles, sont parfaitement homothétiques. Tous les

incidents : variations naturelles, éclusages, lâchers d'eau au moulin de Chancors, se marquent de la même façon sur les deux enregistrements. Même le passage des péniches influe sur l'enregistrement du piézomètre. Nous donnons en annexe IV, à titre d'exemple, les enregistrements réalisés du 8 au 17 Novembre (rotation de 8 jours).

52 Conclusions.

Il apparaît que, malgré la faible perméabilité des terrains traversés par le piézomètre 5, l'influence des variations de la Vilaine se transmet immédiatement à la nappe à cet endroit. L'amortissement est faible : la crue du 14 Novembre a été de 35 cm, la variation de niveau du piézomètre de 27 cm, soit un amortissement de 23 %. Certes l'ouvrage est assez proche du fleuve (6 m environ), mais on aurait pu penser a priori que le caractère argileux des alluvions aurait suffi à réduire beaucoup plus considérablement l'influence des variations de la Vilaine.

Nous avons toutefois envisagé la possibilité d'avoir affaire plus à un phénomène de transmission de pression qu'à un véritable transfert d'eau. En conséquence nous avons effectué, le 8 Février 1970, des prélèvements d'eau simultanés dans le fleuve et dans le piézomètre. Ces échantillons ont été analysés à l'Ecole Nationale de la Santé Publique. La teneur en chlorures est identique dans les deux eaux (57,5 mg/l). La teneur en matières organiques, dosée par l'oxygène cédé par le permanganate de potassium, est de 8,05 mg/l pour la Vilaine et de 4,2 mg/l pour le piézomètre.

Nous pensons devoir en conclure qu'il y a effectivement transfert d'eau, les argiles des alluvions opérant simplement une légère épuration, sans doute par adsorption de la matière organique.

La possibilité de transmission de pollutions ne peut donc être ici écartée a priori. Toutefois ce que nous avons dit précédemment concernant le rétablissement futur de conditions naturelles d'écoulement laisse à penser que les transferts d'eau du fleuve vers la nappe pourraient se limiter aux pointes de crues, c'est-à-dire aux époques où la Vilaine est la moins polluée.

6 - CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES DES ALLUVIONS.

Nous avons vu que nous disposons de deux séries de mesures, ou pour mieux dire d'évaluations de la perméabilité des graviers. Les résultats consignés dans notre précédent rapport lui donnaient un ordre de grandeur de $2 \text{ à } 3.10^{-3} \text{ m/s}$. Les pompages effectués lors de la mise en place des piézomètres nous ont fourni des valeurs nettement plus faibles, de l'ordre de $2 \text{ à } 5.10^{-6} \text{ m/s}$. Une opération de traçage a été réalisée afin d'obtenir une nouvelle valeur.

61 Technique mise en oeuvre.

Quatre piézomètres ont été forés et équipés, sur une ligne N-S entre l'étang Huchet et la carrière du Houx. Cette localisation a été choisie afin de profiter du gradient induit par les pompages de la seconde de ces exploitations. La ligne est plus rapprochée de l'étang Huchet que du Houx, car la dépression est telle que plus au Sud le niveau de l'eau n'est plus dans les graviers, mais déjà dans les sables pliocènes. Les distances respectives de B, C et D par rapport à A sont de 4,90, 10,20 et 19,85 m.

Une injection de 60 kg de chlorure de sodium dissous dans 200 l d'eau a été faite dans le piézomètre situé le plus au Nord (piézomètre A). Des échantillons ont été recueillis à intervalles réguliers dans les trois autres ouvrages (B, C et D) et la teneur en chlorures y a été déterminée par dosage au nitrate d'argent.

62 Résultats.

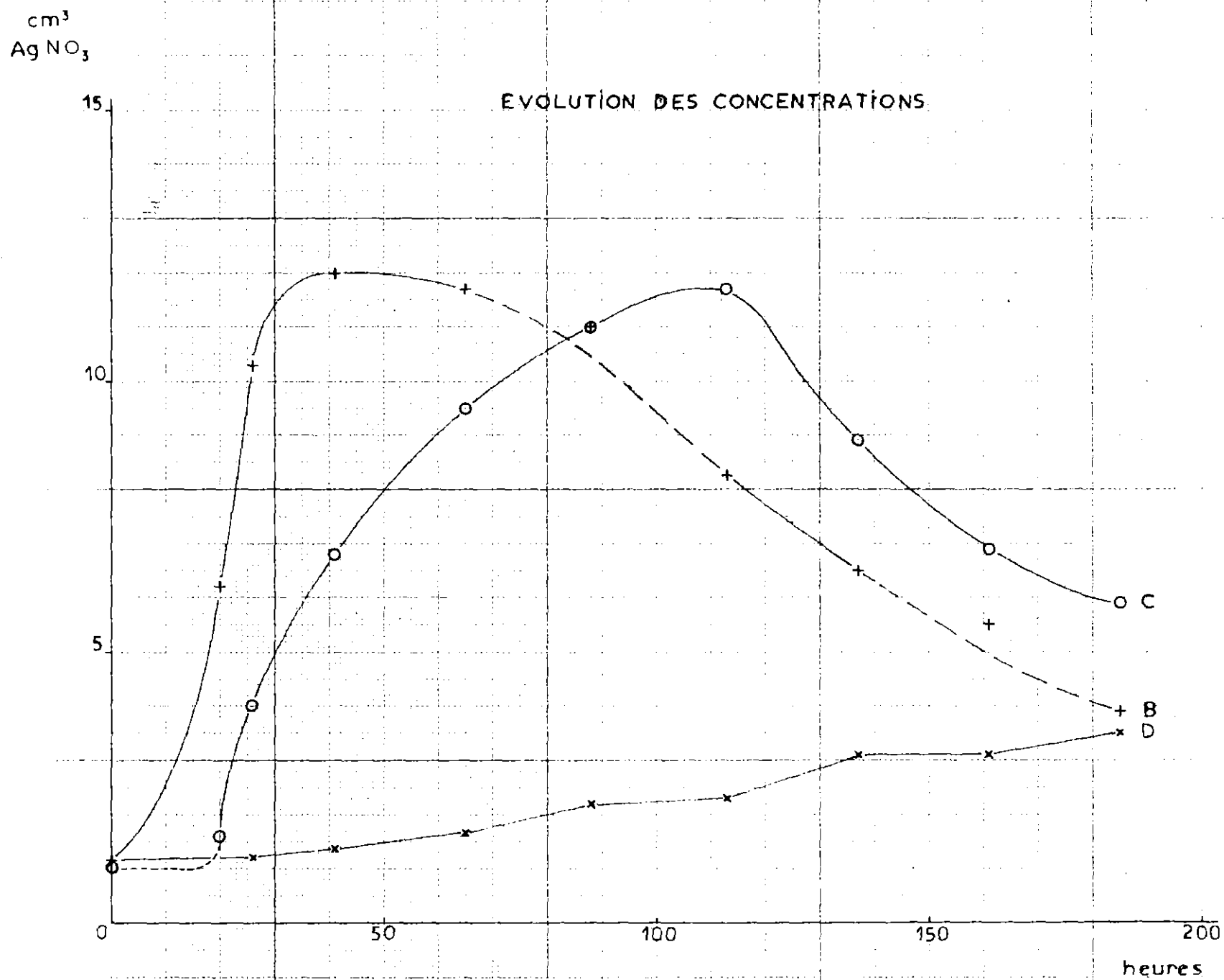
Le tableau ci-après résume les résultats des dosages, exprimés en cm^3 de solution $\text{Ag NO}_3 \text{ N}/25^{(1)}$.

(1) Nous préférons donner les résultats sous cette forme que de les transcrire en mg/l de chlorures, car nous ne sommes pas absolument certains du titre de la solution d' Ag NO_3 utilisée.

Intrage

- Graphique des résultats -

Figure 4



Temps en h. ouvrage	0	20	26	41	65	88	113	137	161	185
B	1,15	6,2	10,3	12,0	11,7	11,0	8,25	6,5	5,5	3,2
C	1,0	1,6	4,0	6,8	9,5	11,0	11,7	8,9	6,9	5,9
D	1,15	-	1,2	1,35	1,65	2,2	2,3	3,1	3,1	3,5

Le report graphique de ces résultats donne la figure 4 ci-contre. On voit nettement, pour les piézomètres B et C, l'arrivée, le passage par un maximum, puis la décroissance en teneur du chlorure. La dispersion avec la distance est cause de ce que la croissance en teneur est plus lente pour C que pour B. Elle est également la cause de ce que la courbe de D est très peu inclinée. Pour ce dernier ouvrage l'arrêt des mesures est intervenu avant que la décroissance se soit fait sentir, mais il est probable que là le maximum aurait été délicat à déterminer.

Les maxima de B et C se situent le premier vers 40 heures, le second vers 110 heures. Le rythme des mesures a été trop lâche pour mieux les définir. Nous baserons nos calculs sur la "fourchette" 65-75 heures. On sait que ces maxima, correspondant à l'arrivée de la plus forte concentration en traceur, donnent une mesure de la perméabilité moyenne du terrain.

La vitesse de propagation de ce maximum de concentration entre B et C a donc été:

$$v = \frac{10,20 - 4,20}{65/75} = 0,0766 \text{ à } 0,0815 \text{ m/h}$$

Cette vitesse étant égale au produit de la perméabilité par le gradient, et la différence de potentiel entre les deux ouvrages étant de 5 cm, il vient

$$k = \frac{v}{i} = \frac{0,0766 \text{ à } 0,0815}{\frac{0,05}{10,20-4,20}} = 8,1 \text{ à } 8,6 \text{ m/h, soit } 2,1 \text{ à } 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

Ces valeurs, calculées à partir d'une mesure des temps absolument indépendante de toute autre considération hydrogéologique, est donc en parfait accord avec les valeurs que nous avons précédemment données.

Nous pensons devoir en conclure à une hétérogénéité de l'ensemble des alluvions. Assez propres dans la région de l'étang Huchet et de la carrière du Houx, et possédant de ce fait une perméabilité appréciable, elles sont nettement plus argileuses et moins perméables dans la zone située plus au Nord entre Lillion et Apigné. Le rapport des perméabilités peut être de l'ordre de 1 à 500 ou 1000.

Ce facteur est favorable à l'aménagement projeté, dans la mesure où c'est précisément dans la zone où des relations hydrauliques existent entre la Vilaine et la nappe que la perméabilité est la plus basse.

7 - SIMULATION DES ECOULEMENTS.

Les techniques des simulations, électrique ou mathématique, permettent de représenter les écoulements souterrains avec une approximation souvent bonne. Le B.R.G.M. a défini un certain nombre de programmes dont le traitement à l'ordinateur permet de prévoir l'évolution d'une situation donnée en fonction de modifications d'un ou plusieurs des facteurs envisagés. En particulier l'un de ces programmes permet d'étudier la propagation d'une pollution éventuelle.

Nous avons cherché à appliquer cette technique à l'étude du secteur des ballastières. Cette opération a été un échec, les difficultés auxquelles nous nous sommes heurtés étant insurmontables dans l'état actuel de la technique.

1 - Simulation électrique.

Nous avons tout d'abord pensé dégrossir le problème à l'aide d'une technique de simulation analogique où la circulation de l'eau est représentée par la propagation de l'électricité dans un milieu conducteur.

Cette technique utilise comme conducteur un papier graphité (papier Teledeltos). Les caractéristiques en sont uniformes. En particulier la conductivité électrique, homologue de la transmissivité (ou de la perméabilité) en est constante. Or nous avons vu que ces paramètres hydrauliques peuvent varier considérablement dans la région concernée. Les distorsions ainsi introduites enlevaient toute signification aux résultats obtenus.

2 - Simulation mathématique.

Cette technique permettait a priori de pallier l'insuffisance de la méthode électrique. Elle est en effet basée sur le découpage de l'aire étudiée en éléments finis sur lesquels il est possible d'afficher des caractéristiques différentes d'un élément à l'autre. Mais là un

problème d'échelle est venu compliquer la question. Le mode de découpage de l'aire à étudier oblige en effet à carrer les formes réelles, si bien que les détails du contour des excavations se perdaient. En particulier les stots laissés entre les carrières, dont le rôle hydraulique est si important disparaissaient totalement avec ce mode de représentation. Pour pallier ce défaut il faudrait leur attribuer une largeur disproportionnée avec leurs dimensions réelles, ce qui fausserait complètement les résultats.

Par ailleurs les problèmes d'alimentation ont également soulevé d'assez grosses difficultés. Par exemple l'alimentation indirecte, à partir de la Vilaine par l'intermédiaire de l'étang d'Apigné ne se fait pas d'une manière simple : cet étang est relié au fleuve par une buse de diamètre réduit (1 m). Il reçoit en outre le ruissellement canalisé par le ruisseau du Blois. En conséquence, selon les fluctuations, il peut être en charge, ou au contraire en dépression, par rapport à la Vilaine. Qui plus est les pertes de charge induites par le passage de l'eau dans la buse ne sont pas représentables sur un modèle, tant analogique que mathématique.

Nous avons cherché le moyen de tourner ces difficultés par des artifices d'écriture, mais l'expérience nous a montré qu'ils étaient insuffisants pour éliminer les distorsions. La seule méthode qui aurait pu permettre une approximation convenable aurait été de pouvoir représenter le secteur d'étude à très grande échelle. Mais alors la masse de calculs à effectuer aurait excédé les possibilités du programme mis au point au B.R.G.'. Force nous a donc été de renoncer.

8 - CONCLUSIONS GENERALES.

La seconde campagne d'étude a permis de préciser certaines des conditions hydrogéologiques du projet d'aménagement du secteur des ballastières.

La teneur en argile des graviers alluviaux, et partant leur perméabilité, est très variable. La perméabilité la plus faible a été trouvée dans la zone de Bougrières, là même où existent certaines communications hydrauliques entre la nappe et la Vilaine. Cet élément est donc favorable à l'aménagement. La mise en évidence des communications (enregistrements limnigraphiques, analyses chimiques) indique toutefois la possibilité de transmission de pollutions si la nappe se trouvait en dépression par rapport au fleuve. Ce risque cependant est limité du fait de l'alimentation par le versant de la vallée qui, au rétablissement des conditions naturelles d'écoulement (arrêt des pompages de la carrière du Houx), tendra à mettre la nappe en charge par rapport à la Vilaine.

Il faut cependant tenir compte du fait que la zone de Bougrières est inondable lors des crues du fleuve (du 17 au 21 Février 1972, elle était recouverte de 30 à 50 cm d'eau). Certes la charge polluante de la Vilaine est alors minimale, mais il n'en subsiste pas moins des risques de contamination. Peut-être l'aménagement devrait-il comprendre un dispositif spécial de protection (endiguement de la rive gauche entre Apigné et Lillion ?).

L'apport direct d'eau de la Vilaine dans les étangs (étang d'Apigné, étang Huchet) devra être empêché. Dans le cas de l'étang d'Apigné toutefois il conviendra de permettre le départ au fleuve de l'eau amenée par le Bloune. Plutôt que de supprimer totalement les communications, il sera préférable d'équiper l'exutoire (buse de 1 m) d'une vanne à sens unique. Il nous semble en outre que les bassins les plus proches de la Vilaine devront être exclus de l'aménagement proprement dit. Ils feront alors "tampon" entre le fleuve et les bassins réservés aux sports nautiques et pourront être consacrés à d'autres activités de loisirs, à la pêche par exemple.

La complexité du développement des exploitations et des conditions actuelles d'écoulement nous a empêchés de réaliser une simulation analogique ou mathématique. Il ne nous est donc pas possible de faire des prévisions sur le détail des modalités d'écoulement après l'arrêt des exploitations. Une rapide étude préalable à l'aménagement nous semble devoir être effectuée alors.

Les autres conclusions émises dans notre précédent rapport, en particulier celles ayant trait au curage et au nettoyage des étangs, gardent toute leur valeur.

Les conditions sont donc dans l'ensemble favorables à l'aménagement projeté. Le maintien de bonnes conditions sanitaires ne devrait pas poser de problèmes insurmontables, d'autant que l'évolution de la nappe après l'arrêt des exploitations de gravier tendra à les améliorer.



ANNEXE II

N° ouvrage	D								A				T				E				S							
	16/2 1972	1/3 1972	16/3 1972	1/4 1972	17/4 1972	3/5 1972	17/5 1972	2/6 1972	16/6 1972	5/7 1972	16/7 1972	2/8 1972	16/8 1972	4/9 1972	18/9 1972	3/10 1972	18/10 1972	2/11 1972	17/11 1972	4/12 1972	18/12 1972	2/1 1973	16/1 1973	2/2 1973	16/2 1973			
échelle																												
1	18,74	18,88	18,95	18,89	18,86	18,89	18,85	18,86	18,87	18,70	18,63	18,59	18,53	18,51	18,51	18,49	18,49	18,48	18,54	18,55	18,57	18,57	18,59	18,65	18,66			
2	20,72	20,99	21,10	21,22	21,12	20,98	20,85	20,72	20,65	20,50	20,39	20,33	20,26	20,16	20,14	20,09	20,06	20,05	20,09	20,13	20,17	20,17	20,18	20,24	20,27			
3	20,29	20,38	20,34	20,10	20,05	19,96	19,86	20,05	20,03	20,02	20,05	20,01	19,83	19,93	20,03	20,02	20,03	20,02	20,08	20,02	20,06	20,02	20,02	20,22	20,12			
4	20,85	20,35	20,31	20,03	20,24	20,31	20,15	20,01	20,02	20,00	20,03	20,02	20,01	19,90	20,00	19,98	20,00	20,01	20,03	20,01	20,00	20,01	20,03	20,19	20,29			
5	21,15	21,61	21,70	21,85	21,70	21,57	21,44	21,27	21,16	20,98	20,88	20,78	20,70	20,58	20,51	20,43	20,37	20,32	20,32	20,31	20,30	20,29	20,27	20,28	20,28			
6	22,63	22,74	22,85	22,86	22,88	22,86	22,84	22,82	22,79	22,71	22,65	22,61	22,55	22,49	22,45	22,40	22,36	22,33	22,37	22,39	22,41	22,41	22,41	22,45	22,47			
7	18,16	18,29	18,37	18,34	18,32	18,26	18,20	18,14	18,11	17,98	17,89	17,91	17,89	17,88	17,88	17,86	17,86	17,86	17,88	17,86	17,87	17,87	17,87	17,88	17,88			
8	17,13	17,15	17,15	17,15	17,14	17,12	17,11	17,11	17,39	17,04	16,74	16,67	16,55	16,57	16,59	16,49	-	-	16,62	16,59	16,59	16,54	16,54	16,59	16,59			
9	17,78	18,16	19,13	18,74	18,48	18,25	18,05	17,90	17,81	17,65	17,56	17,49	17,41	17,31	17,28	17,23	17,18	17,14	17,35	17,95	17,27	17,27	17,26	17,30	17,33			
10	21,01	20,76	20,81	20,76	20,79	20,86	20,80	20,80	20,77	20,76	20,65	20,67	20,50	-	-	-	20,54	20,73	20,74	20,74	20,71	20,71	20,71	20,65	20,76			
11	16,77	16,77	16,77	16,80	16,78	16,78	16,79	16,78	16,77	16,85	16,77	16,71	16,77	16,80	16,78	16,76	16,76	16,77	16,77	16,76	16,77	16,67	16,61	16,67	16,68			
12	20,49	20,39	20,29	20,04	20,03	20,35	20,00	20,06	20,02	20,02	20,03	20,06	20,07	19,94	20,00	19,97	19,99	19,97	20,06	20,08	20,08	20,07	20,07	20,21	20,28			
13	16,39	16,20	16,19	16,18	16,20	16,21	16,22	16,21	16,21	16,20	16,20	16,19	16,18	16,18	16,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
14	20,87	20,80	20,75	20,70	20,73	20,79	20,73	20,74	20,71	20,70	20,59	20,69	20,56	20,44	20,50	20,70	20,56	20,75	20,71	20,75	20,72	20,72	20,72	20,66	20,77			
15	20,48	20,33	20,25	20,04	20,06	20,29	20,11	20,02	19,98	20,02	20,03	20,03	19,99	19,93	19,98	19,97	20,00	20,01	20,04	20,00	-	20,03	20,04	20,16	20,23			
16	21,57	21,58	21,57	21,49	21,44	21,31	21,19	21,09	20,98	20,77	20,65	20,57	20,45	20,31	20,25	20,15	20,09	20,00	20,11	20,19	20,33	20,29	20,27	20,50	20,56			
17	22,75	22,80	22,88	22,83	22,85	22,82	22,79	22,76	22,74	22,65	22,58	22,55	22,49	22,43	22,39	22,34	22,30	22,26	22,31	22,34	22,38	22,38	22,37	22,46	22,47			
Puits																												
1	25,80	25,66	25,67	25,45	25,34	25,24	25,10	25,00	24,91	24,74	24,65	24,58	24,47	24,36	24,29	24,22	24,15	24,11	24,14	24,13	24,24	24,30	24,36	24,84	24,94			
24	21,06	20,62	20,59	20,33	20,44	20,32	-	20,20	20,08	19,62	19,39	19,70	19,63	19,63	19,72	19,51	19,37	19,41	19,78	20,08	20,13	19,99	20,16	20,43	20,40			
27	20,59	20,51	20,55	20,41	20,47	20,41	-	20,33	20,36	20,29	20,29	20,29	20,26	20,24	20,27	20,26	20,22	20,25	20,24	20,26	20,24	20,25	20,22	20,33	20,37			
39	22,92	22,63	22,68	22,21	22,30	22,12	-	21,90	21,83	21,69	21,53	21,56	21,37	21,33	21,30	21,23	21,19	21,23	21,42	21,48	21,61	21,61	21,73	22,02	22,11			
22	24,21	24,14	24,16	24,12	24,04	24,09	24,09	23,91	23,76	23,13	22,68	23,08	22,79	22,59	22,51	22,26	22,25	22,44	23,25	23,25	23,33	23,08	23,13	24,32	24,29			
13bis	22,97	22,67	22,69	22,49	22,32	22,46	22,44	22,44	23,35	22,30	22,19	22,27	22,20	22,02	22,01	22,04	21,97	22,03	22,13	22,04	22,10	22,13	22,13	22,37	22,31			
14	21,17	21,13	21,44	21,34	21,34	21,27	21,19	21,14	21,01	20,75	20,64	20,71	20,51	19,50	20,37	20,13	20,34	20,30	20,27	20,49	20,57	20,51	20,40	20,62	20,69			
15	21,20	21,22	21,31	21,31	21,30	21,27	21,26	21,23	21,21	21,13	21,06	21,04	20,97	20,91	20,89	20,84	20,81	20,80	20,82	20,90	20,91	20,89	20,90	20,98	20,97			
17	20,71	20,69	20,92	20,58	20,41	20,27	20,13	20,01	19,91	19,74	19,73	19,75	19,63	19,58	19,53	19,57	19,55	19,52	19,57	19,66	19,72	19,69	19,67	19,78	19,80			
2	22,22	22,06	22,35	22,20	22,10	21,97	21,84	21,78	21,61	21,41	21,27	21,20	21,07	21,06	21,04	20,80	20,86	20,83	20,98	20,88	21,11	20,96	21,10	21,21	21,30			
Huchet																												
29	20,17	19,89	19,89	19,50	19,61	19,45	19,25	19,40	19,51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	20,48	20,55	20,60	20,62	20,66	20,63	-	20,63	20,62	20,61	20,60	20,57	20,55	20,55	20,51	20,51	20,50	20,48	20,49	20,47	20,45	20,45	20,45	20,44	20,42			
P.I	20,66	20,57	20,50	20,34	20,34	20,35	-	20,25	20,18	20,11	20,04	20,07	19,95	19,88	19,88	19,99	19,90	20,03	20,06	20,09	20,07	20,05	20,04	20,16	20,16			
P.II	20,70	20,57	20,52	20,42	20,47	20,51	-	20,44	20,41	20,39	20,32	20,38	20,29	20,21	20,24	20,36	20,27	20,41	20,41	20,42	20,38	20,34	20,39	20,39	20,43			
Piézo																												
1									19,84	19,88	19,79	19,81	19,87	19,88	19,74	19,80	19,75	19,84	19,89	19,95	19,95	19,99	19,95	19,95	20,13	20,12		
2									18,91	18,98	18,87	18,88	18,90	18,83	18,73	18,79	18,76	18,78	18,74	18,94	18,88	19,09	18,83	18,93	19,89	20,03		
3									19,88	19,89	19,72	19,66	19,66	19,55	19,53	19,56	19,47	19,48	19,49	19,56	19,59	19,62	19,57	19,57	19,74	19,67		
4									19,68	19,62	19,51	19,48	19,54	19,57	19,51	19,38	19,31	19,56	19,81	19,91	20,00	20,02	20,01	20,00	20,09	19,75		
5									20,02	20,05	19,99	20,02	20,00	20,04	19,88	19,99	19,95	20,02	19,99	20,05	20,07	20,04	20,08	20,09	20,22	20,24		
6									19,92	19,97	19,82	19,78	19,78	19,73	19,70	19,68	19,65	19,66	19,65	19,74	19,82	19,88	19,85	19,85	20,13	20,21		
limni.) Vilaine)																	19,98	20,05	20,00	20,06	20,06	20,01	20,09	20,08	20,20	20,20		



Situation des zones remblayées

(remblais et décharges, contrôlées ou non)

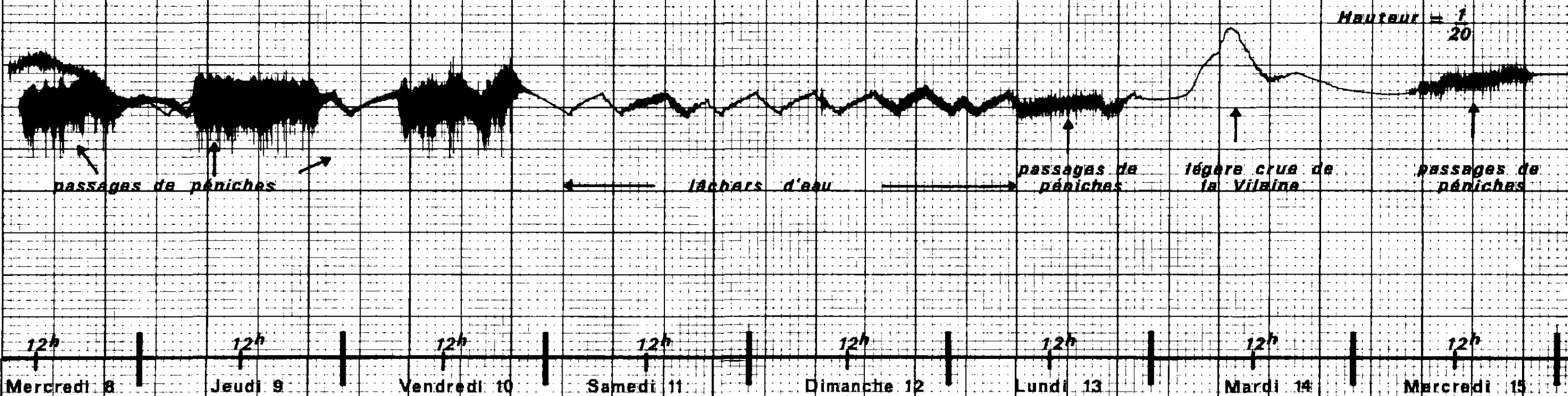
Echelle : 1/25.000

— Enregistrements limnigraphiques —
en Novembre 1972

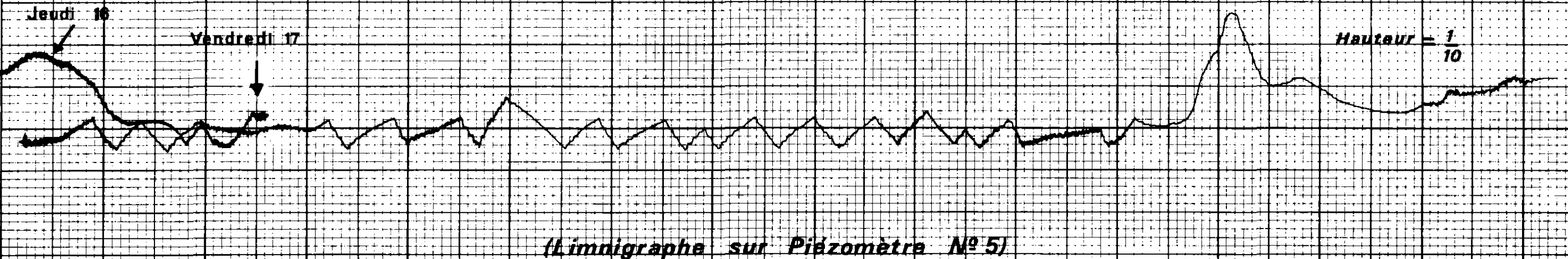
Annexe IV

(Limnigraphe sur la Vilaine)

A METRE SOUS L'AUTRE EXTRÉMITÉ



A METRE SOUS L'AUTRE EXTRÉMITÉ



(Limnigraphe sur Piézomètre N° 5)