

M. GUILLAUME, J. de MAUTORT et G. FOURNIER

Ingénieur Géologue
au B. R. G. M.

Ingénieur Géologue
au B. R. G. M.

Ingénieur E. T. P.
Directeur Technique
à la Compagnie de
Prospection Géophysique Française

APPLICATION DES MÉTHODES DE LA GÉOPHYSIQUE DANS LE CADRE
D'UNE ÉTUDE SYSTÉMATIQUE DU BASSIN HYDROGÉOLOGIQUE
DE LA MEUSE ENTRE LÉROUVILLE ET DUN - SUR - MEUSE

INTRODUCTION

L'expansion économique de la Lorraine entraîne une consommation croissante en eau que les ressources locales des nappes alluviales et de l'exhaure des mines de fer ne pourront suffire à approvisionner.

Nous exposerons brièvement les raisons qui ont orienté les recherches d'eau dans la région de Verdun, à 60 km des centres d'utilisation.

La carte (Fig. 1) ci-jointe indique la répartition des besoins et des principales ressources en eaux souterraines. Les besoins de Metz - Thionville et Longwy sont les plus urgents.

Un bilan détaillé des ressources I (alluvions) d'après l'analyse d'une documentation étalée sur cinquante années d'exploitation a fait ressortir pour cette nappe les paramètres suivants :

Superficie utile : 150 km²
Pluviométrie moyenne : 750 mm/an
Épaisseur moyenne : 4 m
Réalimentation moyenne : 100.000 m³/jour
(réserve annuelle) (infiltration 33 %)
Débit exploité : 60.000 m³/jour
(= 20 % de la pluviométrie
= 60 % de l'infiltration)
Réserve disponible : 40.000 m³/jour
(= 13 % de la pluviométrie
= 40 % de l'infiltration)
Réserve géologique : 2 fois la réserve annuelle.

Un bilan détaillé des ressources II (exhaure des mines de fer) portant sur l'analyse des débits d'exhaure observés depuis près d'un siècle, a fait ressortir les paramètres suivants pour la partie de la nappe située au-dessus des travaux miniers au Nord-Ouest de Metz :

Superficie d'alimentation : De l'ordre de 700 km²
(maximum)

Pluviométrie moyenne : 750 mm/an

Débit d'exhaure actuel (1) : 600.000 m³/jour
(moyenne annuelle)

300.000 m³/jour étiage

Réserve géologique : Non chiffrable, mais subordonnée à la progression des travaux miniers ; ne présente qu'un intérêt actuellement très limité.

Réserve disponible : Difficile à chiffrer : libérée par la progression des travaux miniers il semble qu'elle pourrait atteindre 150.000 à 200.000 m³/jour.

Utilisation : L'exhaure utilisée à 100 % (étiage) ne suffit pas à approvisionner les secteurs industriels.

Si l'on tient compte que les eaux de la Moselle sont difficilement utilisables

1. Les mines récupèrent 40 % de la pluviométrie. Si l'on tient compte du drainage naturel de la nappe (sources - rivières) on est conduit à des pourcentages d'infiltration de l'ordre de 60 %. Ce chiffre élevé tient à ce qu'une part importante du ruissellement s'infiltré par le fond des vallées suspendues au-dessus des mines.

car insuffisantes et fortement contaminées par l'industrie (étiage à Metz 20 m³/seconde et plus de 1 gramme/litre de Cl), on constate que la recherche systématique de ressources plus éloignées devenait un problème vital pour la Lorraine.

Des moyens relativement importants ont été mis en oeuvre dans ce but. L'objet de cette note est de résumer le déroulement des recherches dans le secteur IV (Fig. 1) du bassin hydrogéologique de la Meuse.

PROBLÈME POSÉ

La carte ci-jointe dessous (Fig. 2) indique la répartition du vaste système aquifère de l'Argovien - Rauracien - Séquanien.

Dans le Bassin parisien, les assises géologiques alternativement tendres et résistantes apparaissent en auréoles concentriques, ce qui résulte de la tectonique en cuvette de ce bassin. Les terrains résistants donnent naissance à des côtes, caractéristiques dans l'Est du Bassin parisien, dont le front abrupt est dirigé vers l'Est et le revers en pente douce vers l'Ouest. Contrairement à la plupart des autres rivières, la Meuse entre Lérouville et Dun-sur-Meuse coule :

- parallèlement à une de ces côtes: la côte des Hauts de Meuse, constituée par les Calcaires argoviens - rauraciens, surplombant les assises marnenses imperméables callovo - oxfordiennes de la Woëvre;
- sur le revers de cette côte, et non au pied de son front; ceci à d'ailleurs amené une sorte de dédoublement du relief.

La coupe transversale (Fig. 3) schématise le fonctionnement du système aquifère qui résulte de cette disposition.

Le bassin orographique de la Meuse, entre Lérouville et Dun, coïncide sensiblement avec les affleurements des calcaires

perméables. Sa superficie est de l'ordre de 1.200 km² et reçoit une pluviométrie de 900 mm par an.

Les études entreprises dans le bassin ferrifère sur un bassin versant calcaire analogue permettent d'estimer le pourcentage d'infiltration annuel moyen à 30/35%. Dans ces conditions, le bassin hydrogéologique de la Meuse absorberait en moyenne une infiltration de 1.000.000 m³/jour, dont les 3/4, soit 750.000 m³/jour pour l'Argovien - Rauracien, et le 1/4, soit 250.000 m³/jour pour le Séquanien.

L'analyse des Figures 2 et 3 montre que le seul drainage possible de ces eaux souterraines est situé sur le bassin d'alimentation lui-même.

En effet, l'eau d'infiltration circulant dans les calcaires sub alluvionnaires ne peut s'écouler ni vers le bas (écran imperméable constitué par les épaisses argiles callovo-oxfordiennes), ni vers le haut (argiles et marnes kimméridgiennes), ni vers l'Ouest en s'enfonçant par circulation souterraine vers le contre du Bassin parisien, car le calcaire devient massif et compact en profondeur (ce que confirment les forages pétroliers profonds qui ont rencontré des eaux à caractéristiques d'eaux fossiles).

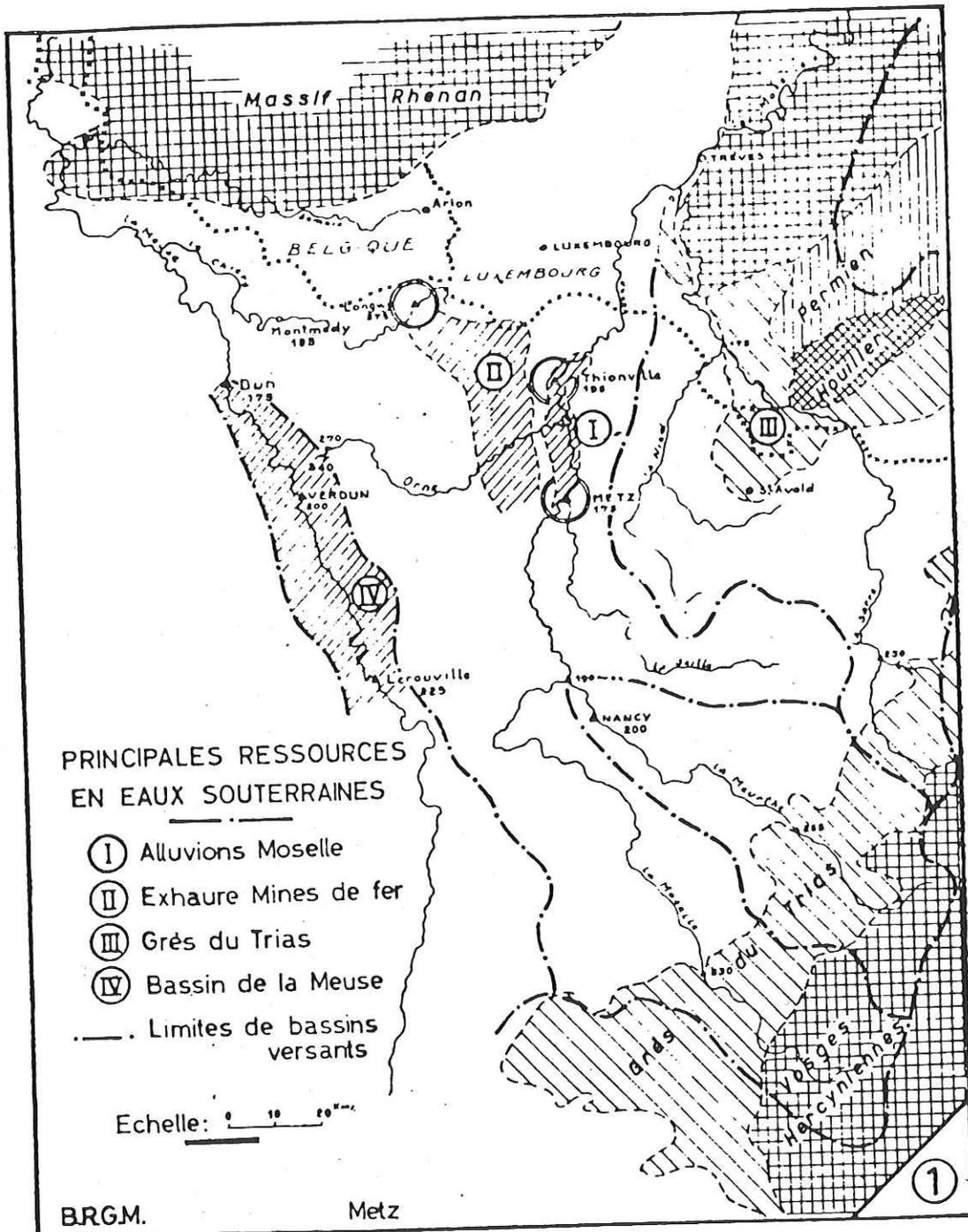
La Meuse représentant le lieu des points bas du bassin versant, draine la totalité des eaux souterraines. La différence des volumes écoulés par la Meuse entre Dun et Lérouville représente donc la somme du ruissellement superficiel et de l'infiltration dans le bassin hydrogéologique considéré.

Une campagne de recherche, financée par le B. R. G. M. et le Ministère de la Construction, a été entreprise dans la vallée de la Meuse, afin de montrer :

- quel était le volume du réservoir naturel (calcaires poreux ou fissurés situés en-dessous du niveau de la vallée) associé au bassin d'alimentation :

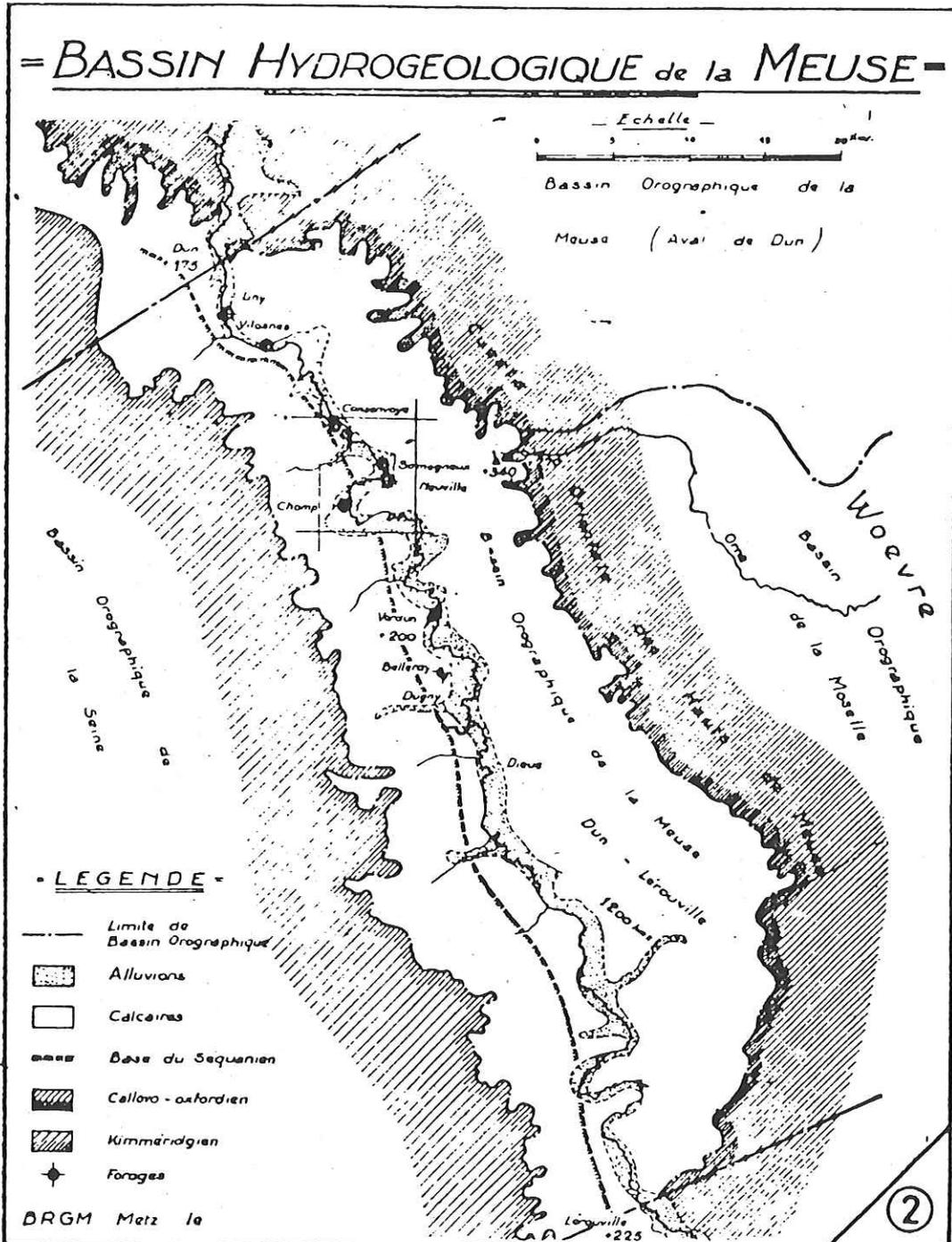
- s'il existait des secteurs à perméabilité élevée susceptibles de fournir des débits instantanés importants ;
- si les secteurs à forte perméabilité

- étaient convenablement reliés à l'ensemble du réservoir poreux ;
- si un abaissement du plan d'eau consécutif à des prélèvements impor-



tants durant l'étiage (période de non réalimentation pendant laquelle l'exploitation prendrait sur les réserves propres de la nappe) n'entraînerait

pas un assèchement systématique de la nappe alluviale superposée et des pertes importantes en provenance de la Meuse; cette dernière éventua-



lité réduisant à néant l'intérêt que l'on pourrait avoir à exploiter la réserve aquifère des calcaires.

MOYENS MIS EN ŒUVRE -
RÉSULTATS OBTENUS

La campagne de reconnaissance a été conduite sur une durée de dix-huit mois, de la façon suivante :

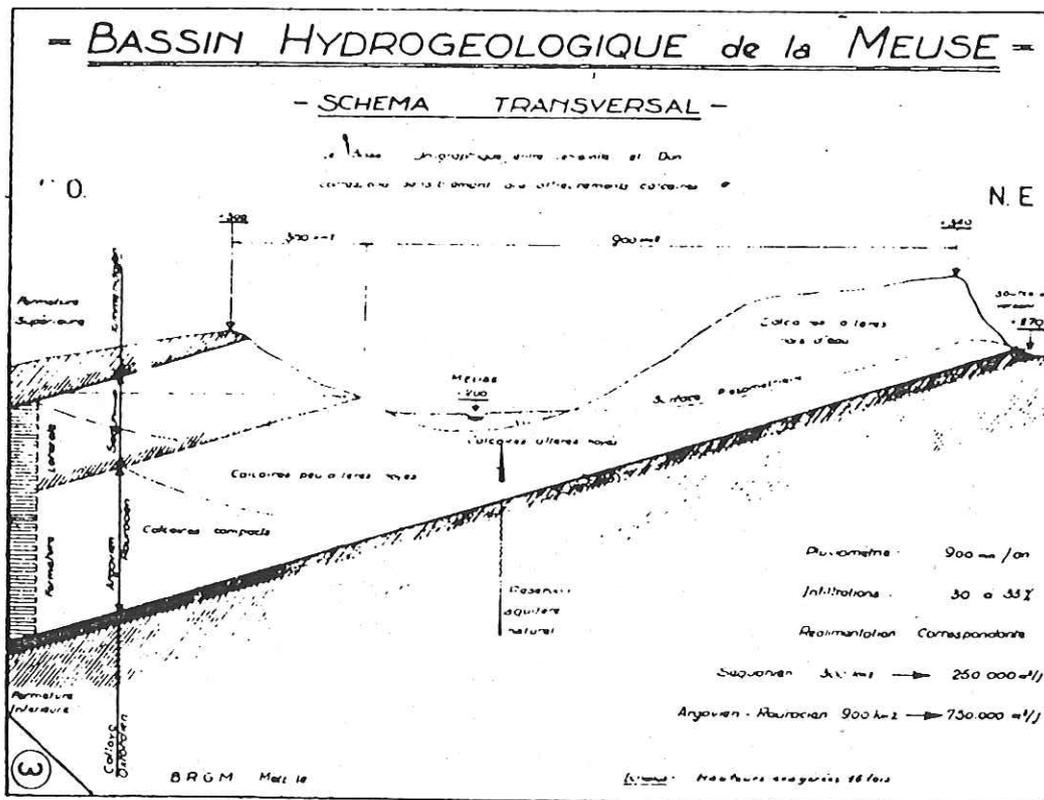
1°) *Inventaire systématique des points d'eau existants (durée: 6 mois):*

La documentation recueillie était très incomplète et les indications fournies a priori contradictoires. La plupart des fo-

tantes de Dugny, exploitant à sec les calcaires en-dessous du niveau de la Meuse, montraient un débit d'étiage de 1.500 m³/heure dans les puisards d'assèchement. Nous avons admis, compte tenu de l'alimentation élevée du bassin versant, que cette eau ne provenait pas nécessairement de la Meuse par l'infiltration directe, mais bien de la nappe aquifère des calcaires relativement indépendante de celle des alluvions superposées et de la Meuse.

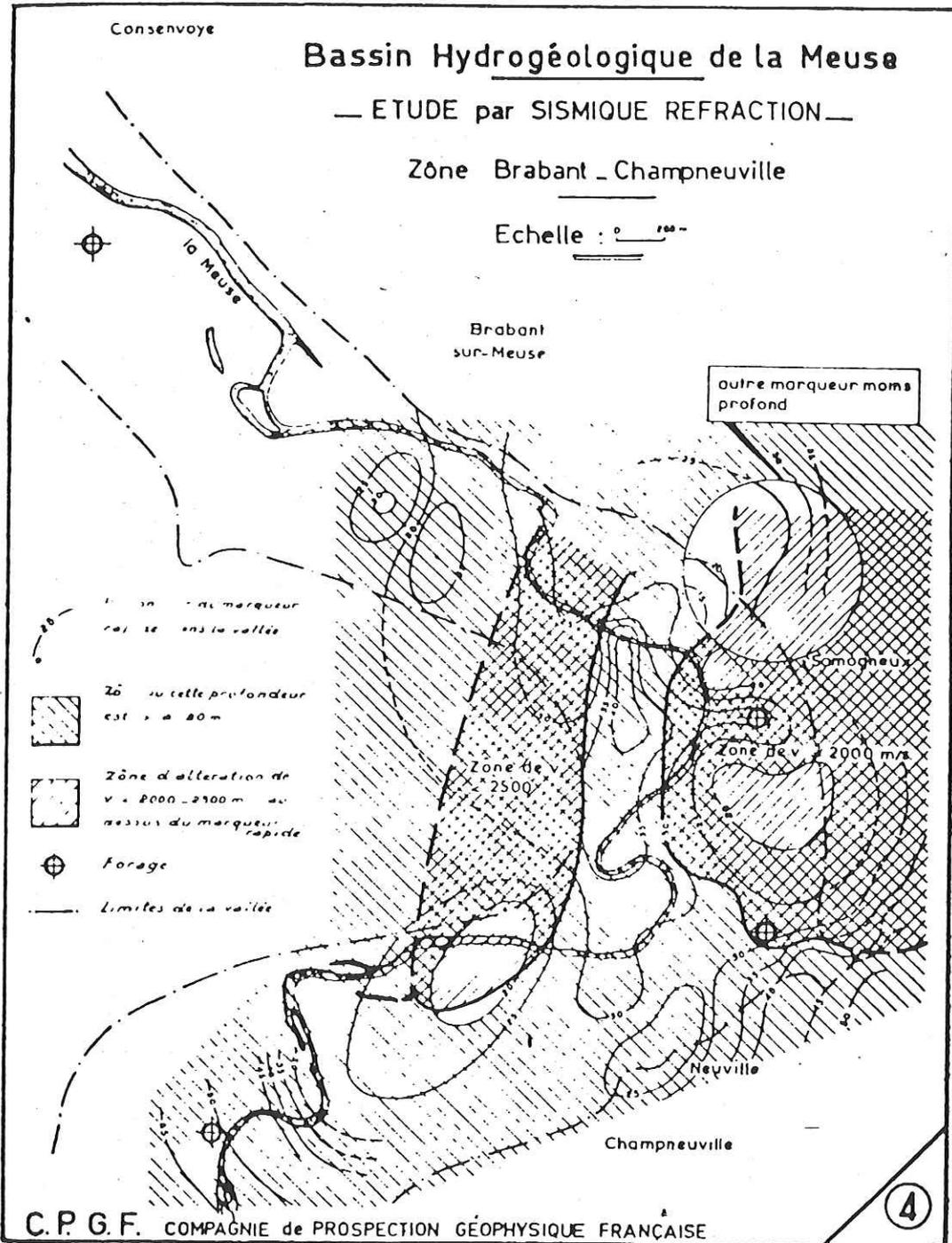
2°) *Une mission de géologie de surface :*

A permis de préciser l'extension des calcaires argoviens - rauraciens et séquan-



rages était arrêtée dans les alluvions. D'autres forages montraient de très faibles débits dans les calcaires. Les nappes alluviale et calcaire n'étaient pas étudiées sélectivement. Cependant, les carrières impor-

tes. Elle a mis en évidence les repères stratigraphiques. Elle a montré la multiplicité des faciès et souligné les changements latéraux très rapides de ces faciès. Elle a permis d'entrevoir la grande hété-



rogénéité de la perméabilité associée à l'hétérogénéité même des calcaires.

3°) *Première reconnaissance géophysique (durée: 15 jours avec 2 équipes):*

Un profil longitudinal sous les alluvions de la vallée, par sondages électriques, a permis de situer la base des calcaires au contact de l'Oxfordien imperméable. Il a fourni des indications générales précieuses sur les changements de faciès (150 sondages au total espacés de 250 à 300 m sur une longueur de 50 km).

4°) *Deux forages de reconnaissance:*

Destinés à étalonner le profil électrique, ont été exécutés en carottage continu à Champneuville et Consenvoye, dans les secteurs à épaisseur maxima de calcaires noyés. Le profil électrique s'est trouvé remarquablement confirmé par ces forages, mais le débit s'est montré très faible, les calcaires étant largement fissurés, mais les fissures étant très peu ouvertes.

L'idée de rechercher de forts débits associés à une épaisseur maxima de calcaires noyés, en exploitant par exemple le drain inférieur supposé de l'Argovien récifal a dû être abandonnée.

5°) *Une deuxième campagne géophysique (durée: 3 semaines avec 1 équipe):*

Par sismique réfraction, a été entreprise pour fixer l'épaisseur de calcaires altérés sous les alluvions et le degré de cette altération. Elle a fourni des résultats excellents là où la géologie de surface n'aurait pas permis de conclure. La Fig. 4 traduit les résultats obtenus dans le secteur de Neuville. Il est apparu que les zones drainantes fortement fissurées étaient très localisées et correspondaient aux faciès de bordure des massifs récifaux, dont la répartition au sein des calcaires est par ailleurs très capricieuse et échappe le plus souvent aux investigations de surface.

6°) *Forages de reconnaissance (Fig. 5):*

Quatre forages entièrement carottés, étanches par cimentation au regard des alluvions, ont été exécutés au diam. 146 mm. Les deux premiers à Liny-devant-Dun et Vilosnes avaient pour but de contrôler et d'étalonner les résultats de la sismique. Les deux autres à Samogneux et Neuville, étaient des forages d'essai productifs. Ils ont fourni, après alésage au diam. 250 mm, des résultats comparables et excellents, à savoir environ 100 m³/heure pour des rabattements de l'ordre de 4 m. Une observation sommaire du comportement de la nappe alluviale laissait entrevoir son indépendance vis-à-vis de la nappe calcaire.

7°) *Un forage d'essai à Neuville (Fig. 6):*

En section 520 mm, également étanche au niveau des alluvions, a été poussé à la profondeur de 45 m dans les calcaires. Dix piézomètres ont été exécutés dans la nappe calcaire et onze autres dans les alluvions. Après acidification de 5 tonnes de ClH à N° 10, le rendement du forage a été multiplié par 5. On obtenait alors 216 m³/heure pour un rabattement de 1,80 m.

Deux essais de débit ont été effectués; le premier du 17 au 19 Avril 1962 (durée 2 jours), l'autre d'une durée de 3 semaines, en Septembre/Octobre 1962.

Ces deux essais ont été conduits sans interruption au débit constant de 630 m³/heure. Le premier essai avait pour but de renseigner rapidement sur le rendement de la nappe. Le deuxième essai a été exécuté en fin d'étiage afin de préciser le préjudice éventuel que l'exploitation prolongée de la nappe aquifère des calcaires pourrait porter à la nappe alluviale supérieure et surtout au débit d'étiagé de la Meuse.

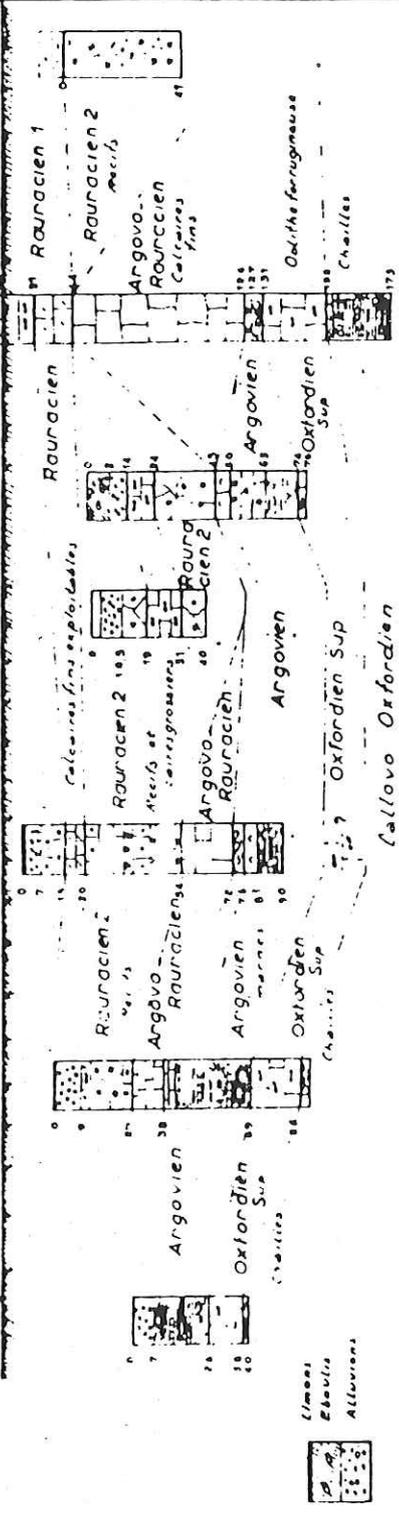
Sans entrer dans le détail de ces essais ou de leur interprétation, qui feront l'objet d'un rapport détaillé ultérieur, on peut

Corrélations schématiques entre les sondages effectués dans la vallée de la Meuse

Principaux résultats hydrologiques séquanien

Echelle des hauteurs : 0 50 100 m.

Toit du Rauracien Dedic terminalis
Lamencé (horizontale)

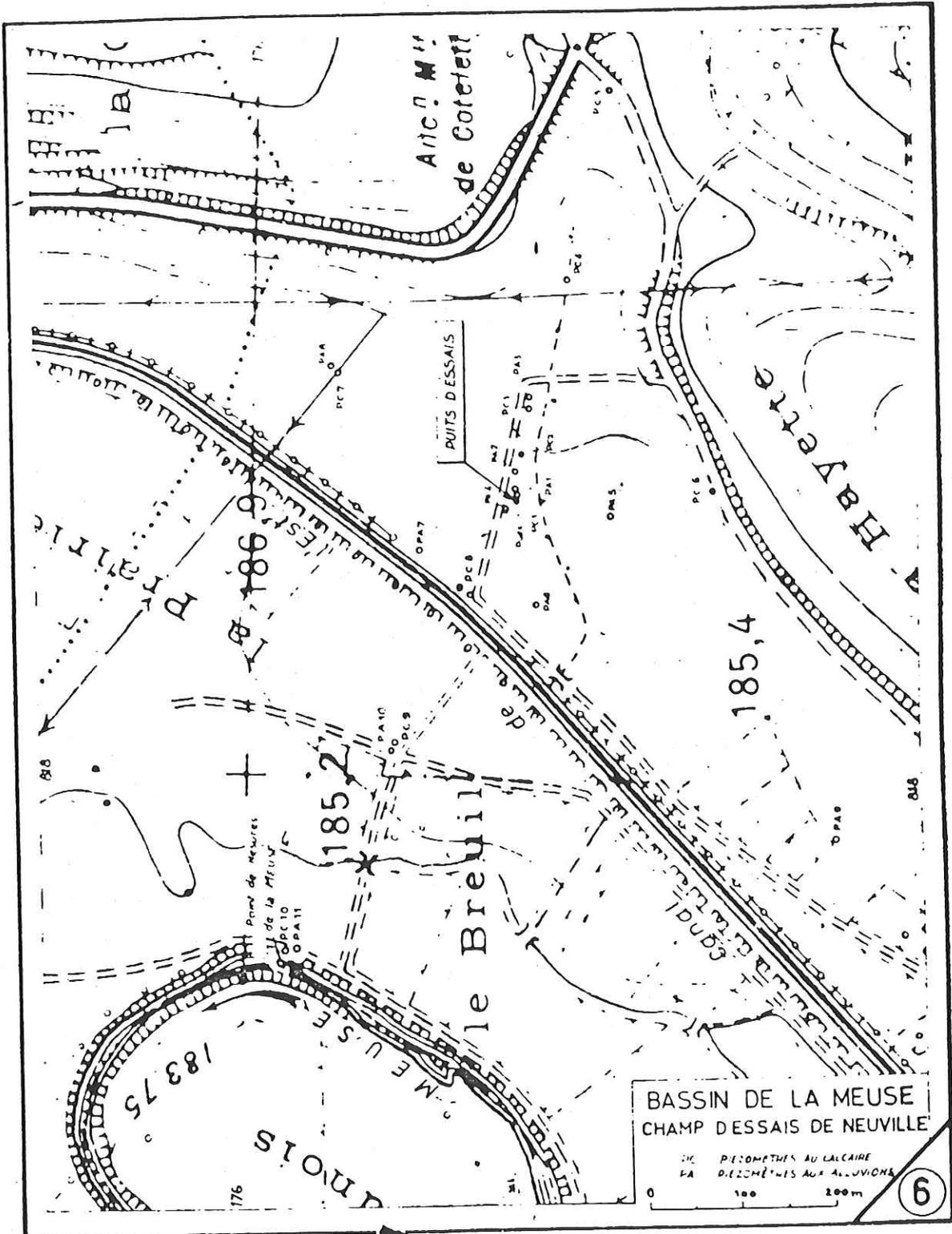


Forages	Liny dev Dun	Vilosnes	Carsenvoye	Samogneux	Neuville Lut. Paris	Champneuville (forage le plus récent)	Berleray
Profondeur	40,40	90,00	69,70	40,60	76,00	175	41
Cote du sol	174,592	177	181,66	164,950	189,009	186,131	216
fermeture +	10,75	12,55 m	11,60 m	15 m	17,50	28,10	10
Forages en mm sous fermeture	146	146	146	146	146	146	400
Débit spécifique m ³ /h par m	2,00	Inondé	0,33	27,2	24	2,00	300
Relièvements du toit du Rauracien au charbonnage	+ 220	+ 195	+ 189	+ 217	+ 219	+ 147	+ 238 (?)



B.R.G.M.

Metz



conclure à un résultat positif, en ce sens que le préjudice porté à la nappe alluviale demeurera très limité et apparaît pratiquement inexistant en ce qui concerne le débit d'étiage de la Meuse. Signalons cependant parmi les observations faites, que l'on a injecté dans la nappe aquifère alluviale des doses massives de traceurs dans le périmètre immédiat du puits (après 10 jours d'injection environ 1/3 de la nappe alluviale superposée était contaminé par ces traceurs). Malgré la sensibilité des analyses, il n'a pas été trouvé de traces de ces contaminations dans l'eau du forage durant les essais; ce qui tend à prouver que les relations entre les deux nappes sont très faibles et très lentes à l'établir. Par ailleurs des doses massives de fluorescéine injectées dans la nappe calcaire profonde, entre le puits d'essai et la Meuse, ne sont pas apparues non plus dans le puits.

Enfin, l'analyse des courbes de rendement du forage montre que le débit de 640 m³/heure à l'emplacement du puits d'essai pourrait facilement être doublé (par l'exécution d'un autre forage à proximité immédiate).

CONCLUSIONS

Les résultats du forage d'essai de Neuville et des conditions favorables analogues détectées à Belleray et à Samogneux permettent déjà d'entrevoir des possibilités d'extraction de l'ordre de 100.000 m³/jour alors qu'une faible fraction seulement du périmètre de recherche a été prospectée.

Disons encore que le montant total des travaux à l'entreprise (géophysique et forage) a été de 350.000 Nouveaux Francs et que les frais d'étude du B.R.G.M., compte tenu des moyens en personnel mis en oeuvre, s'élèvent à environ 150.000 Nouveaux Francs; soit au total une recherche dont le prix de revient est de 500.000 Nouveaux Francs.

Le rendement de cette première campagne de recherche apparaît donc comme exceptionnellement bon, compte tenu des résultats obtenus. Le résultat du forage de Neuville permettant de prélever sans inconvénient 30 000 m³/jour, en assure à lui seul la rentabilité et devrait permettre d'engager des crédits plus importants encore pour étendre ces résultats à l'ensemble du bassin.

Il y a à cela une raison que nous voudrions souligner en conclusion. Nous avons comme objectif essentiel de dégager rapidement, avec des crédits limités, une méthode de recherche appropriée aux conditions incertaines du bassin de la Meuse.

Nous avons dû à plusieurs reprises faire intervenir géologues, foreurs et géophysiciens dont les équipes se sont trouvées en contact permanent sur le terrain. Une ligne générale de recherche avait été certes élaborée au départ; mais le programme des réalisations a été établi en commun au jour le jour sur le terrain. Signalons par exemple que l'ingénieur géophysicien a établi ses programmes de tir du lendemain en fonction des résultats de la veille, discutés en commun.

L'entreprise a dû modifier à plusieurs reprises en cours d'avancement le programme de forage établi; ce qui du reste a été possible parce qu'il avait été exigé à l'origine une machine légèrement surpuissante par rapport aux prévisions.

Un souci permanent d'étalonnage des diverses techniques mises en oeuvre nous a conduit également à exécuter tous les forages sur des points même de tir.

La sismique réfraction s'est en définitive avérée d'une très bonne précision pour la recherche des zones perméables dans les secteurs dégrossis par la géologie de surface, assistée par la prospection électrique.

Enfin, des résultats positifs ont été

également acquis malgré les incertitudes initiales.

DISCUSSION

F. Bolelli :

Il n'est pas inutile en effet, d'apporter quelques précisions à l'exposé de Monsieur GUIL LAUME, afin de préciser les limites d'application des deux méthodes, électrique et sismique-réfraction, qui ont été mises en œuvre dans cette étude de la Vallée de la Meuse.

Les méthodes électriques ne pouvaient pas permettre en l'occurrence de localiser les zones de plus grande fissuration des calcaires sous les alluvions. Elles permettaient seulement de donner les variations d'épaisseur de ces alluvions, les variations de faciès marneux - argileux dans le substratum calcaire, et surtout avec une assez grande précision la cote d'un niveau repère pyriteux de l'Oxfordien assez bien conducteur électriquement.

Par contre, une fois ce cadre géologique et lithologique ainsi bien défini, la sismique-réfraction pouvait permettre de déterminer l'épaisseur de l'altération du calcaire et de distinguer les zones de plus ou moins grande fissuration.

Le calcaire sain, en effet, admet des vitesses de propagation d'ondes sismiques élevées dans le cas présent, de l'ordre de 4.000 m/s; s'il est fissuré les vitesses sont nettement inférieures, de l'ordre de 1.500 à 3.000 m/s. (Le faciès marneux risque d'avoir le même effet dans le ralentissement des ondes réfractées, d'où la nécessité de bien connaître la géologie et les variations lithologiques du milieu par une reconnaissance électrique préliminaire).

Il a même été possible dans le cas présent de distinguer les zones les plus fissurées (à vitesse inférieure à 2.000-2.500 m/s) des zones légèrement moins fissurées (vitesse entre 2.500 à 3.500 m/s).

Les deux forages d'essais ont été implantés ainsi aux points bas des zones de maximum de fissuration, Monsieur GUILLAUME vous a précisé les débits assez spectaculaires de ces deux forages qui ont confirmé l'intérêt de la conjugaison de ces deux méthodes de reconnaissance, électrique et sismique, pour résoudre ces problèmes de karst, toujours assez délicats et qui exigent, comme ce fut le cas, une collaboration entre le géologue et le géophysicien.

G. Aronis

What is the way of replenishment and infiltration of the quaternary and underlying limestone?

Are these water horizons in relation?

If you pump much more water to what is replenished in the above formation do you think that the river's Meuse water will not infiltrate to the underlying formations? We have some experience on this case from Greece.

M. Guillaume :

Les calcaires sont réalimentés par l'infiltration directe des eaux de pluie sur un bassin versant important.

Les alluvions sont également réalimentées par infiltration directe des eaux de pluie, mais aussi par percolation de la nappe calcaire en pression sous les alluvions. Nous avons en effet toujours observé un niveau piézométrique plus élevé dans les calcaires que dans les alluvions.

L'écart est relativement faible et varie selon les endroits et la saison de 0,10 à 0,50 m d'après nos premières observations sur les forages exécutés.

Cette faible surpression agit cependant sur une très grande surface de contact (de l'ordre de 150 km²) entre les calcaires et les alluvions, et traduit en partie le drainage des eaux des calcaires vers la Meuse au travers des alluvions.

A la saison des pluies d'hiver et de printemps, l'apport brutal et important d'eaux infiltrées sur le bassin calcaire assure un relèvement rapide de cette nappe qui «déborde» au-dessus des alluvions au pied des versants et dans les vallées secondaires, où des sources et ruisseaux épisodiques apparaissent. Ceci explique peut-être que la nappe calcaire sub-alluviale ne puisse se mettre en forte surpression en-dessous des alluvions et de la vallée.

Le fait que cette surpression se maintienne durant tout l'été alors que les calcaires ne sont plus alimentés, montre peut-être aussi que la vidange des calcaires vers les alluvions est lente et difficile puisque les deux nappes en relation ne s'équilibrent jamais complètement.

En l'absence de pompage, nous observons actuellement des inondations importantes chaque hiver dans la vallée de la Meuse. Le bassin versant étudié contribue à ces inondations entre Lérouvillle et Dun-sur-Meuse. C'est cette eau perdue en hiver que nous voulons récupérer, en utilisant en été la réserve naturelle existant comme réservoir d'appoint. Le débit moyen non

utilisé est estimé à 1.000.000 m³/jour. Le bilan en cours doit préciser ce chiffre.

Les études engagées ont comme premier objectif un débit de 35.000 m³/jour seulement, sur cette base on peut répondre affirmativement que la Meuse ne sera pas influencée. Pour des débits très supérieurs, il ne peut être envisagé de toute façon un débit dépassant 1.000.000 de m³/jour. On devra même rester bien en dessous. Les essais en cours ont précisément pour but de montrer quelle fraction de ce débit on peut espérer récupérer sans porter préjudice en été au débit de la Meuse. Dans ces conditions la nappe serait réalimentée en hiver par de l'eau qui est actuellement perdue par refus à l'infiltration et par inondation.

Les essais faits à Neuville ont montré que si l'on renverse les pressions en abaissant la nappe des calcaires, les alluvions constituent un écran efficace entre la nappe inférieure et la Meuse, qui retarde considérablement l'influence à la Meuse. Le colmatage du lit de cette rivière peut également jouer un rôle de retard à l'infiltration non négligeable, permettant d'assurer la sécheresse en été (cf. interprétation des essais).

Ces essais ont mis également en évidence, semble-t-il, un aspect très particulier du colmatage des rivières également observé sur la Moselle. Il semblerait qu'un écran colmaté oppose une résistance orientée aux circulations d'eau analogue au comportement d'une nappe.

Nous n'avons donc pas d'opinion définitive sur la dernière question posée, mais des raisons très encourageantes d'espérer que le processus d'exploitation que nous envisageons est possible, sans infiltrations prohibitives en provenance de la Meuse.

De toute façon, avant une exploitation de ces réserves, d'autres études seront faites et en particulier une station de 35.000 m³/jour sera exécutée à Neuville. L'exploitation continue de cette station représentera un essai en vraie grandeur sur une tranche réduite de la vallée. Elle servira de station pilote pour l'utilisation ultérieure des réserves qui ont été mises en lumière dans ce bassin hydrologique.

N. Papakis :

Je voudrais connaître quelques détails sur l'utilisation des traceurs, c'est-à-dire quels traceurs avez-vous utilisés; dans quelle quantité et quel pourcentage avez-vous récupéré?

M. Guillaume :

Traceurs utilisés :

1) Nappe alluviale.

Nitrites de soude : 20 kg injectés en solution 5 % soit avec 400 l d'eau (dilution) injectés en continu en 5 h 20; puis 150 l d'eau (chasse) injectés en continu en 1 h 30.

Cote d'injection : 3,40 m/sol dans le PA 6 à 125 m du puits d'essai (Q : 630 m³/h).

Intérêt de ce traceur : Remarquable sensibilité; dosable à 0,02 mg/l.

Se fixe et s'altère difficilement.

Détection : Réaction colorimétrique très sensible (réaction de GRIBBS), dans 100 cm³ d'eau :

a) 2 cm³ d'acide sulfanilique puis b) 2 cm³ d' α -naphtylamine. Donne en cas de réaction positive une coloration carmin mesurable au spectro-photomètre.

Résultats : Teneurs négligeables dans l'eau d'exhaure du puits d'essai (0 ou 0,01 mg/l).

Teneurs non négligeables dans les piézomètres alluviaux même à une certaine distance du point d'injection (PA 11 0,44 mg/l — PA 8 0,38 mg/l).

Circulation naturelle relativement rapide et à peine perturbée au niveau de la nappe alluviale.

Echanges lents entre nappe alluviale et nappe calcaire sous-jacents (confirmant l'interprétation dynamique des essais).

2) Nappe calcaire.

Fluorescéine : 2,250 kg dissouts dans 175 l d'eau légèrement alcoolique et ammoniacale.

Solution injectée en continu avec 450 l d'eau en 6 h 15.

Cote d'injection à — 12,50 m/sol, dans le PC 9 à 290 m du puits d'essai (Q : 630 m³/h).

Détection : Avec une lampe à rayons ultraviolets.

Résultats : Absence de fluorescéine dans

L'eau d'exhaure du puits d'essai.
Absence de fuites entre deux les
piézomètres calcaires intermédiaires
PC 10 (vers la Meuse), PC
8 (vers le puits).

A partir du point d'injection, l'~~écou-~~
coulement de la nappe n'a pas
été notablement perturbé (~~écou-~~
ment naturel probable du flux
coloré vers le NW).