

AGENCE FINANCIERE DE BASSIN RHIN-MEUSE

POSSIBILITE DE RENFORCER LE DEBIT D'ETIAGE DE
DE LA MOSELLE PAR PRELEVEMENTS SAISONNIERS DANS
LES GRAVIERES ALLUVIALES DE LA REGION DE
FLAVIGNY

Conclusions préliminaires

Il serait nécessaire de soutenir, lors de certaines années sèches, le débit d'étiage de la Moselle qui descend à des valeurs trop basses pour que puissent être assurés les besoins de prélèvement situés à l'aval de Nancy. Le débit requis pour une telle entreprise a été évalué par l'Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse à une valeur de 1 à 3 m³/s.

Différentes solutions pour le soutien d'étiage de cette rivière peuvent être envisagées, l'une d'entre elle consistant à effectuer, dans les bassins qui constituent les gravières dont l'exploitation est terminée, des pompages épisodiques qui seraient déversés dans la rivière.

L'objet de la présente étude préliminaire est précisément de porter un jugement sur les possibilités offertes par le tronçon de vallée situé entre Flavigny et Bainville aux Miroirs. Dans le cadre de cette analyse on a été amené à entreprendre les différentes opérations suivantes :

- évaluation des possibilités effectives de stockage à différentes échéances, compte tenu du programme d'extraction des sociétés exploitantes, des caractéristiques géométriques des bassins créés etc.

- évaluation du bénéfice effectif que l'on peut attendre de la mise en oeuvre d'un tel dispositif de pompage, compte tenu des risques de recyclage des eaux en raison des interconnexions hydrauliques entre gravières et rivière.

I - CARACTERISTIQUES GENERALES DU SITE

I.1. Description générale

Entre Flavigny et Bainville existe un tronçon de vallée qui s'étend sur 22 km de longueur, et dont la largeur moyenne est de l'ordre de 1 km, avec des valeurs extrêmes de 0,7 à 2 km.

La rivière serpente assez largement dans cette vallée étroite et son lit, fréquemment modifié ou repoussé par les exploitations, a sensiblement varié depuis l'origine.

Le canal de l'Est, qui double le cours de la Moselle, se situe tantôt en rive droite, tantôt en rive gauche de la rivière ; il semble qu'il soit en général très imparfaitement étanche et susceptible de participer activement aux écoulements souterrains.

La pente longitudinale moyenne de la vallée est assez forte (de l'ordre de $1,25^{\circ}/\text{‰}$).

I.2. Contexte géologique

La vallée, dans toute la partie amont située entre Bainville et Tonnoy est creusée en général dans les marnes du Keuper inférieur et moyen qui constituent, pour les alluvions, un substratum très peu perméable. Plus à l'aval, par contre, dans le secteur de Flavigny, l'existence probable, en fond de vallée, de niveaux calcaires ou dolomitiques est indiquée par la carte géologique présentée sur la planche A.

Il est probable également qu'un accident tectonique affectant le secteur situé entre Velle et St. Mard soit susceptible de mettre localement en contact avec la base des alluvions ces mêmes niveaux dolomitiques. Dans ces

deux cas, ces niveaux calcaires ou dolomitiques, qui par fracturation peuvent présenter une perméabilité non négligeable sont susceptibles de participer activement aux écoulements souterrains (qui ailleurs ne se produisent que dans les alluvions) et être le siège de court-circuits difficiles à identifier, plus ou moins directement abouchés à la rivières.

Dans cette gouttière de direction sensiblement Nord-Sud se déposées les alluvions de la Moselle, dont l'épaisseur moyenne est de 5 m. Il s'agit de sables et graviers propres, en général surmontés par des dépôts fins limoneux d'une épaisseur variant de 0,5 à 2,5 m.

Dans ce magasin aquifère longiligne existe une nappe alluviale qui constitue un drain régional et dont la puissance moyenne est de l'ordre de 3 m, la partie supérieure des dépôts alluviaux étant en général dénuyée. Cette nappe, en relation étroite avec la rivière, est vraisemblablement très faiblement alimentée par les apports souterrains en provenance de coteaux et les débits d'écoulement naturel y sont certainement assez limités.

I.3. Caractéristiques hydrogéologiques des alluvions

On dispose de différents essais de pompage permettant d'avoir une connaissance assez bonne des paramètres hydrauliques de ce niveau aquifère alluvial.

Les valeurs de transmissivité correspondantes sont assez homogènes avec, pour les zones testées qui coïncident en général avec les zones de plus forte épaisseur, une valeur moyenne $T = 1 \text{ à } 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ et des valeurs extrêmes de $0,3 \text{ à } 4,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Compte tenu des variations observées de l'épaisseur des alluvions mouillées (qui dans la plupart des cas rendent compte, au moins en partie, de la relative dispersion des valeurs de transmissivité indiquées ci-dessous) on peut évaluer la perméabilité moyenne des alluvions dans le tronçon de vallée étudié à la valeur $K = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ qui est certainement bien représentative de la réalité.

Le coefficient d'emmagasinement indiqué par quelques-un des essais réalisés est de l'ordre de 5% avec toutefois deux valeurs très basses qui indiquent localement la mise en charge de la nappe des graviers alluviaux sous une couche de limons de surface peu perméables.

I.4. Etat actuel des exploitations - Extensions prévisibles

L'enquête réalisée sur le terrain, puis auprès du service des Mines et auprès des exploitants a permis :

- . de préciser l'extension actuelle des gravières et leur caractéristiques géométriques,
- . de connaître les surfaces qui seront exploitées à terme et leur localisation,
- . de connaître les modes d'exploitation utilisés par les différentes sociétés exploitantes.

Quatre sociétés se partagent l'exploitation des sables et graviers dans le secteur étudié :

- . Sablières de Richardmenil,
- . Exploitation Derrey,
- . Société Socal,
- . Société Bigoni

Actuellement la totalité des surfaces en exploitation (voir annexe I) s'élève à 92,5 ha répartis sur l'ensemble de la vallée mais plus particulièrement concentrés dans la partie aval.

Pour l'avenir, l'analyse des autorisations d'exploiter accordées par le Service des Mines d'une part, l'enquête auprès des exploitants d'autre part permettent d'évaluer à 490 ha la superficie globale qui sera exploitée ; ce terme qui varie avec les secteurs est indiqué dans le tableau ci-dessous.

(1)	Données Service des Mines		Données exploitants	
	Superficie ha	Echéance d'autorisation	Superficie ha	Terme d'exploitation prévu
Secteur de Flavigny	25	1989	26	5 ans
Secteur Flavigny-le-Jard	12	- 1987	12	5 ans
Bayon N-O	52	1988	56,5	?
Bayon R-D	6,7	1982	22,5	terminée
Bayon R-G	5	1988	16	1 an
Velle	112	1982 à 1988	109	12 ans
St. Mard	77	1988	76,5	15 ans ?
Bayon	103,5	1984 à 1987	117,5	25 ans ?
Bayon (Bigoni)	8	1985	10	3 ans
Vainville	40	1985	44	25 ans
Superficie totale	441		490	
Superficie totale compte tenu du réaménagement du site de Velle-Bayon (200 ha) (2)	467		516	

(1) On note de légères divergences entre les chiffres suivant leur origine. Il semble, d'après les recoupements qui ont pu être faits sur le terrain, que les renseignements obtenus auprès des exploitants en ce qui concerne les gravières réalisées correspondent bien à la réalité observée et puissent être pris comme base de référence.

(2) Ce réaménagement prévoit entre Velle et Bayon un vaste plan d'eau de loisir couvrant 200 ha environ, dont l'analyse de la faisabilité est actuellement en cours. Ces 200 ha englobent des gravières des zones de Velle et de St. Mard Nord déjà prises en compte dans les chiffres du tableau ci-dessus.

En ce qui concerne le mode d'exploitation, deux pratiques sont actuellement mises en oeuvre :

. soit l'exploitation simple par dragage sous nappe sans aménagement particulier,

. soit l'exploitation avec réalisation, en première phase, d'une tranchée d'une vingtaine de mètres de largeur, parallèle à la berge de la rivière et ultérieurement comblée par utilisation des terrains de découverte. Cette méthode a pour objet de faire écran aux écoulements en provenance de la rivière lorsque l'on est amené à rabattre le niveau d'eau de la gravière, pour les besoins de l'exploitation. Nous verrons que ce mode d'exploitation est de nature à constituer un atout très favorable pour l'utilisation ultérieure des gravières dans le cadre du projet envisagé. C'est la raison pour laquelle, dans le tableau présenté ci-dessous, on a individualisé :

. les exploitations prévues ou réalisées avec berge : il s'agit des gravières déjà ainsi aménagées, et celles qui seront exploitées par les sociétés faisant déjà appel à ce procédé.

. les exploitations futures envisageables avec berge : les sociétés exploitant les zones concernées n'utilisent pas ce mode d'exploitation, mais pourraient éventuellement être amenées à le faire.

. les exploitations réalisées sans possibilité de berges : il s'agit des gravières déjà exploitées sans que ce mode d'exploitation ait été mis en oeuvre.

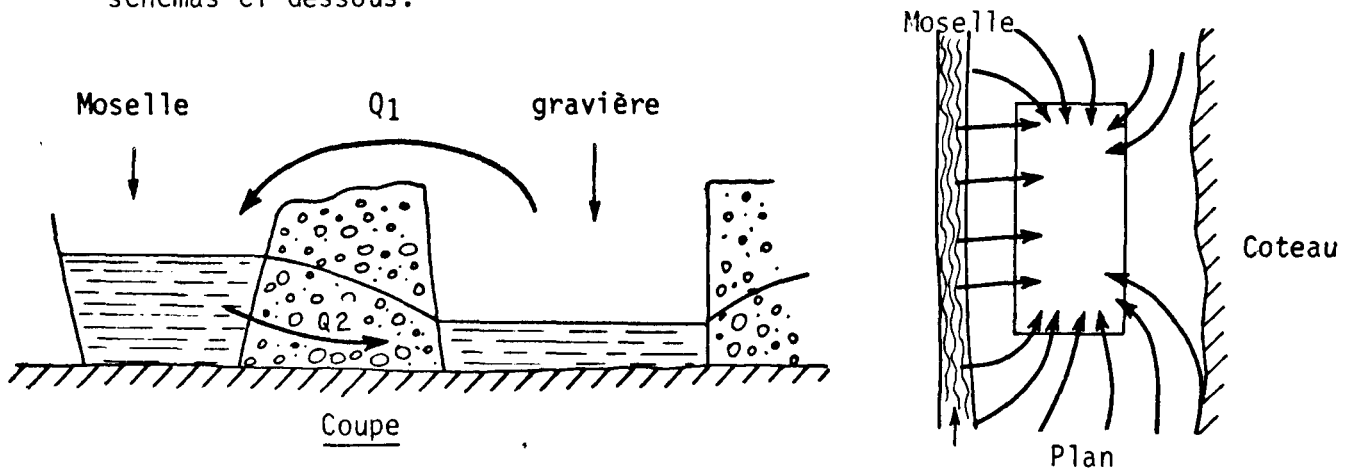
	Exploitation prévue ou réalisée avec berge	Exploitation future envisageable avec berge	Exploitation réalisée sans possibilité de berge
Flavigny			26 ha
F. Le Jard	12 ha		
Tonnoy N.O.	56,5 ha		
Tonnoy R.D.			22,5 ha
Tonnoy R.G.	7 ha		9 ha
Velle	109 ha		
St. Mard N.		64 ha	
St. Mard S.		12,5 ha	
Bayon	117,5 ha		
Bayon (Bigoni)		10 ha	
Bainville	44 ha		
Total	346 ha	86,5 ha	57,5 ha

Du point de vue des volumes totaux d'eau stockée dans ces plans d'eau le tableau de l'annexe I indique qu'ils représentent actuellement 2.800.000 m³ et peuvent être évalués à 16.000.000 m³ en fin d'exploitation des permis accordés. Ce volume final serait porté à une valeur de l'ordre de 17.000.000 m³ dans le cas où l'aménagement de Velle serait effectivement réalisé.

II - PROBLEMES POSES PAR LES POMPAGES EN GRAVIERES

Outre les problèmes d'impact sur le milieu naturel, sur l'exploitation des captages d'eau potable et sur l'environnement en général, problèmes qui ne font pas partie des préoccupations de cette première phase d'étude, le projet de pompage dans les gravières d'un débit important pose un problème fondamental qui est celui du bénéfice effectif que l'on tirera de cette opération.

En effet, en raison des possibilités de circulation souterraine de l'eau entre la Moselle et les gravières pompées, toujours proches de la berge de la rivière, le rabattement imposé aux gravières soumises au pompage se traduira par un appel d'eau en provenance de la rivière, comme l'indiquent les schémas ci-dessous.



L'importance relative du débit Q_2 par rapport au débit Q_1 dépend de différents facteurs qui sont :

1. La perméabilité du complexe perméable que constitue l'ensemble - alluvions + berges de la rivière - situé entre la rivière et la gravière (ce facteur dépend essentiellement du colmatage des berges de la rivière).
2. Le rabattement imposé à la gravière.
3. L'extension latérale de la vallée qui conditionne en partie la configuration des écoulements souterrains.

II.1. Les conditions de l'écoulement souterrain de l'eau entre rivière et gravière

Si l'on connaît de façon correcte les caractéristiques hydrauliques des alluvions ($K \sim 3.10^{-3}$ m/s) on évalue très imparfaitement les paramètres caractérisant le colmatage des berges de la rivière, qui, dans ce système, constituerait le facteur limitant les écoulements souterrains.

Pour tenter d'évaluer ce paramètre l'Agence Financière de Bassin Rhin Meuse a placé dans la nappe alluviale à Tonnoy et Velle-amont deux limnigraphes relevés durant les mois de juillet-août-septembre et octobre 1980. Ces mesures étaient assorties de lectures correspondantes du niveau de la Moselle sur l'échelle limnigraphique située entre Tonnoy et Velle.

On disposait par ailleurs d'enregistrements effectués sur différents piézomètres au cours des années 1976-1977 et de mesures relevées sur la Moselle durant cette même période à l'échelle de St. Mard.

L'ensemble de ces données, qui a été dépouillé et analysé en détail, ne permet pas de quantifier avec précision le degré de colmatage des berges de la rivière ; en effet :

- . en ce qui concerne les mesures piézométriques de 1976-77 celles-ci sont trop espacées (1 lecture tous les 15 jours) pour que le déphasage entre la réponse du piézomètre étudié et la crue de la rivière puisse être analysé et permette de calculer véritablement le degré de colmatage de la berge située au droit du piézomètre (1).

- . pour ce qui concerne les mesures effectuées par l'Agence durant l'été - automne 1980 la courbe d'évolution du niveau de la Moselle ne présente pas de pics de crue assez marqués et individualisés pour qu'on puisse leur faire correspondre avec assez de précision la réponse des 2 piézomètres suivis.

Toutefois l'analyse, en ordre de grandeur, de l'ensemble de ces données permet d'avancer l'hypothèse que le colmatage est faible et que la connection rivière - nappe alluviale est bonne. Cette hypothèse est confirmée par le fait observé que le lit de la rivière subit et a subi, lors de l'exploitation des granulats, des modifications fréquentes de son tracé qui n'ont pas permis l'accumulation d'une couche colmatante propre à limiter les échanges.

En tout état de cause il nous apparaît donc raisonnable de prendre en compte, dans les calculs qui vont suivre, la valeur de perméabilité indiquée ci-dessus de $K = 3.10^{-3}$ m/s.

II.2. Possibilités de rabattement dans les gravières

L'analyse des valeurs indiquées dans le tableau de l'annexe I concernant l'épaisseur de la lame d'eau existant en étiage dans les différentes gravières du secteur étudié montre que celle-ci varie largement entre 2 m et 6 m. On peut donc envisager d'imposer, suivant les secteurs, des rabattements différenciés dans les gravières susceptibles d'être utilisées.

(1) Les résultats d'essais de pompage effectués à proximité de la Moselle ont aussi été examinés, sans succès ; soit les essais n'ont pas duré assez longtemps pour qu'une stabilisation des rabattements puisse être observée, soit des fluctuations parasites (probablement du niveau de la rivière) rendent les mesures ininterprétables.

Dans un souci de simplification on a admis, dans les évaluations préliminaires qui seront faites plus loin, que le rabattement que l'on imposerait serait de 2,5 m, valeur moyenne qui pourrait éventuellement être augmentée dans certains cas mais qui, en première analyse, paraît raisonnable tant du point de vue de l'esthétique que de celui de la tenue des berges des plans d'eau intéressés.

II.3. Influence des dimensions de la vallée

La largeur de la vallée pouvant avoir une influence notable sur les possibilités d'écoulement souterrain de la rivière vers la gravière lorsque celle-ci sera rabattue, on a retenu dans les calculs effectués différentes largeurs de la vallée dans une gamme très étendue de 600 à 4.400 m qui couvre très largement les cas d'exploitation qui peuvent se présenter dans le secteur étudié.

III - ECHANGES RIVIERE-GRAVIERE

III.1. Pompage dans une gravière sans aménagement des berges

Un calcul simple destiné à évaluer, en ordre de grandeur, l'écoulement souterrain en provenance de la rivière pour un rabattement de 2,5 m a été fait, pour une gravière de 1.000 m de longueur et 400 m de largeur (soit 40 ha)(1) à l'aide de la formule du drain :

$$Q_2 = K \frac{H^2 - h^2}{2d}$$

où Q_2 = débit d'écoulement par m de front de berge,

K , = perméabilité des alluvions = 3.10^{-3} m/s

H , = épaisseur de la nappe = 3 m

h , = épaisseur de la lame d'eau rabattue = 0,5 m

d , = distance rivière - gravière = 30 m

(1) Ces dimensions correspondent aux caractéristiques moyennes des plans d'eau susceptibles d'être utilisés dans l'aménagement prévu.

$Q_2 = 0,44 \text{ l/s/m}$, soit pour 1000 m de longueur de front d'alimentation $Q_2 = 440 \text{ l/s}$ qui correspondent aux seules venues souterraines perpendiculaires à la rivière, en négligeant les écoulements s'effectuant par l'amont et l'aval de la gravière.

Ce chiffre est à comparer au débit moyen qui serait prélevé dans ce même plan d'eau pour un rabattement final de 2,5 m et une restitution à la rivière durant 90 jours consécutifs d'étiage :

$$Q = \frac{L \times l \times \Delta}{90 \times 86.400} = \frac{1000 \times 400 \times 2,5}{90 \times 86400} = 0,128 \text{ m}^3/\text{s}$$

soit 130 l/s environ

Ce calcul, en ordre de grandeur, indique qu'il faudrait pomper en fin de période d'étiage un débit $Q_1 = 570 \text{ l/s}$ environ pour un bénéfice effectif de l'ordre 130 l/s, le reste du débit pompé et rejeté à la rivière provenant d'un recyclage pur et simple des eaux. Il va de soi que dans ces conditions l'opération apparaît impossible.

III.2. Pompage avec aménagement des berges de la gravière sur une partie de son périmètre

L'enquête menée auprès des exploitants de graviers a montré que la majeure partie des surfaces alluviales susceptibles d'être excavées, le seraient avec réalisation, entre la rivière et la gravière, d'un voile peu perméable constitué par les limons de découverte. Pour certaines exploitations, non encore commencées, cette méthode apparaît envisageable aux exploitants, sans qu'elle constitue une sujétion intolérable pour eux.

On a donc été amené à évaluer quel pouvait être dans ce cas l'ampleur des échanges rivière - gravière rabattue. Cette évaluation qui met en jeu des écoulements complexes au sein de la nappe alluviale, nous a conduit à réaliser une série de modèles analogiques électriques simples prenant en compte différentes hypothèses. On a ici encore, retenu le cas type d'une gravière de dimensions 1000 x 400 m située à 30 m de la rivière, dans une vallée dont on a fait varier la largeur de 600 à 4.400 m.

On a simulé la mise en place d'une barrière étanche (1) suivant les différentes configurations indiquées dans l'annexe II.

(1) Pour des limons d'une perméabilité faible, de l'ordre de 10^{-5} m/s cette hypothèse se justifie pour l'établissement des modèles. L'écoulement très faible à travers cette barrière peut ultérieurement être évalué par un calcul simple : il est inférieur à 5 l/s.

Les résultats obtenus sur modèles, qui testent un large éventail de possibilités (1), indiquent que l'opération n'apparaît possible que si l'on interpose une barrière peu perméable sur au moins trois des cotés de la gravière considérée ; la valeur du débit d'appel à la rivière est alors de l'ordre de 30 l/s.

Ce cas peut être considéré comme représentatif de la situation que l'on pourra rencontrer pour des gravières pour lesquelles le front de réalimentation est unique, c'est-à-dire pour la plupart des gravières situées en rive droite de la Moselle.

Pour les gravières encadrées d'un côté par la Moselle, de l'autre par le canal de l'Est, l'endiguement total apparaît nécessaire en première analyse, le canal risquant de jouer vis-à-vis de la gravière déprimée par pompage, un rôle analogue à celui de la rivière. Toutefois les berges du canal étant probablement assez colmatées, le débit de fuite du canal vers la gravière devrait s'avérer sensiblement plus faible.

III.3. Pompage dans une gravière totalement entourée d'un voile peu perméable

En reprenant, cette fois encore, une gravière possédant les mêmes caractéristiques, un calcul simple du type de celui effectué en III.1, permet d'évaluer à 1,5 l/s/km les arrivées en provenance de l'aquifère encaissant. Pour une gravière de 1000 x 400 m (périmètre 2800 m) la part d'eau recyclée correspondrait donc à un débit de 4 l/s en fin de période de rabattement, débit négligeable devant le débit de soutien d'étiage produit qui s'élève nous l'avons vu à 130 l/s.

IV - VOLUMES ET DEBITS UTILISABLES A TERME POUR LE SOUTIEN DES ETIAGES

En adoptant comme très vraisemblablement possible l'hypothèse d'imposer en fin d'étiage un rabattement moyen de 2,5 m sur l'ensemble des gravières utilisables et compte tenu de l'échéancier prévisible des exploitations de granulat du secteur étudié (2) on peut évaluer les volumes et les débits disponibles pour le soutien des étiages de la manière suivante :

-
- (1) Les résultats obtenus pour le cas n° 2 ($\Delta = 2,5$ m, 1 seul côté étanche) semblent correctement confirmés par l'expérience effectuée en vraie grandeur dans le cadre de l'exploitation d'une gravière de Richardmesnil, où pour exploiter à sec (avec un rabattement de 3 m) on a été amené à effectuer un pompage de 300 m³/h en moyenne (85 l/s).
 - (2) Voir § 1.4 - Ces chiffres ne tiennent pas compte du réaménagement des plans d'eau de Velle - Bayon qui les augmenteraient de 26 ha.

Echéance 10-15 ans	Superficie ha	Volume en Hm3	Débit de soutier sur 90 jours en l/s
Sans réaménagement des berges des plans d'eau déjà créés	271	6,7	870
Avec réaménagement des berges des plans d'eau déjà créés	328,5	8,2	1060

Echéance 25 ans			
Sans réaménagement	432,5	10,8	1390
Avec réaménagement	490	12,25	1575

C'est donc de débits importants, de l'ordre de $1\text{ m}^3/\text{s}$ au terme de 10-15 ans et $1,5\text{ m}^3/\text{s}$ à l'échéance de 25 ans dont on pourrait disposer à l'issue de l'exploitation des gravières autorisées entre Bainville et Falvigny.

L'opération ne pourra atteindre un rendement satisfaisant qu'en prévoyant avec les exploitants " l'étancheification ", au moins partielle, des berges des plans d'eau, suivant la méthode d'exploitation actuellement pratiquée par la plupart des entreprises extractrices.

Compte tenu de la perméabilité des limons de couverture à laquelle on a affecté une valeur de $K = 10^{-5}\text{ m/s}$ (1), du périmètre total de l'ensemble des plans d'eau à l'échéance de 25 ans (35.000 m environ), le débit recyclé dans le dispositif final peut être évalué, dans le cas d'une " étancheification " complète (voir § III.3) à 50 l/s environ soit 3% du débit de soutien apporté à la rivière à partir du pompage en gravières.

(1) Cette valeur devra être vérifiée ultérieurement, sur les différents sites retenus, par réalisation d'essais de perméabilité à l'anneau.