



BRGM

TAXE PARAFISCALE SUR LES GRANULATS
MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE, DES P.T.T. ET DU TOURISME
MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT
CONSEIL RÉGIONAL D'ALSACE
CONSEIL GÉNÉRAL DE L'EURE
CONSEIL GÉNÉRAL DE SEINE-MARITIME

impact qualitatif des carrières en eau
sur les nappes souterraines
rapport de synthèse

P. Eberentz
G. Rinck

87 SGN 567 HNO - ALS

TAXE PARAFISCALE SUR LES GRANULATS
MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE, DES P.T.T. ET DU TOURISME
MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT
CONSEIL RÉGIONAL D'ALSACE
CONSEIL GÉNÉRAL DE L'EURE
CONSEIL GÉNÉRAL DE SEINE-MARITIME

**impact qualitatif des carrières en eau
sur les nappes souterraines**
rapport de synthèse

P. Eberentz
G. Rinck

octobre 1987
87 SGN 567 HNO - ALS

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
Service géologique régional Haute-Normandie
18, rue Mazurier - 76130 MONT-SAINT-AIGNAN - Tél. 35.70.38.64
Service géologique régional Alsace
204, route de Schirmeck - 67200 STRASBOURG - Tél. 88.30.12.62

RESUME

En France, l'eau souterraine et les terrains alluvionnaires sont intimement mêlés dans le sous-sol. Les alluvions, lorsqu'elles sont constituées de sables, graviers et galets, représentent généralement une excellente roche réservoir dans laquelle circulent des eaux facilement exploitables et très souvent de bonne qualité.

Ces deux richesses naturelles sont nécessaires à l'économie.

La première est très souvent exploitée pour l'alimentation en eau potable de la population, l'agriculture et l'industrie.

La seconde est utilisée pour la construction : confection de bétons hydrauliques et équipements de viabilité (ex : autoroutes, ballast, voirie...).

Ainsi, les aménageurs, les administrations, les industriels et les techniciens (ex : hydrogéologue agréé), responsables de l'aménagement et de la protection de l'environnement, sont amenés à définir la compatibilité de ces deux types d'exploitation sur un même site.

En 1985, l'étude de la bibliographie relative aux interactions qualitatives gravières en eau-nappe avait mis en évidence l'existence d'une lacune de connaissance particulièrement importante sur un sujet pourtant très souvent évoqué. Il convient de noter que l'impact hydraulique et les phénomènes liés à la chimie et à l'hydrobiologie des eaux de gravières avaient au contraire fait l'objet d'études plus nombreuses.

Pour la raison citée ci-dessus, le B.R.G.M. s'est vu confié, sous l'égide de la Taxe Parafiscale sur les Granulats, trois études complémentaires destinées à effectuer un premier essai de généralisation des connaissances acquises sur l'impact qualitatif des gravières en eau (non remblayées) sur les nappes d'eau souterraines.

Les principaux résultats de ce travail sont les suivants :

- l'eau des gravières se différencie de la nappe qui lui a donné naissance par la combinaison de

trois phénomènes :

1°/ - sa minéralisation globale régresse,

2°/ - sa charge en Matières En Suspension va augmenter (carrières peu profondes essentiellement),

3°/ - ses mélanges avec la matière organique (Animale et Végétale) va se développer.

- l'impact des eaux de gravières sur celles de la nappe résulte également de la mise en action de trois processus :

1°/ la pénétration en nappe des eaux de gravières (cf. résultats ci-dessus),

2°/ la modification des caractéristiques de la roche réservoir localisée en aval hydraulique immédiat du plan d'eau (envahissement par éléments fins dans le cas des carrières peu profondes),

3°/ la dilution des eaux en provenance des gravières avec celles de la nappe.

Le bilan des phénomènes définis ci-dessus est le suivant :

- L'impact qualitatif des gravières en eau (non remblayées) sur les nappes est peu développé.

Le paramètre marqueur le plus performant, pour définir en nappe la zone d'influence est la température.

L'extension de celle-ci n'a jamais dépassé 250 mètres en aval des plans d'eau étudiés. Verticalement, elle apparaît négligeable sous les alluvions (Haute-Normandie, carrières peu profondes < 10 m) et nulle à 15 mètres de profondeur (Alsace, carrières profondes, 20 à 40 m).

La remise en état des carrières en eau doit tenir compte des conditions locales d'exploitation (ex : profondeur du plan d'eau), mais également des conditions de circulation de la nappe en aval hydraulique des carrières (ex : présence d'une "barrière hydraulique").

Ainsi, les études menées sur les différentes carrières ont conduit à proposer, selon les cas, deux protocoles de remise en état symétrique. Ils consistent :

- soit à laisser l'eau de la gravière se renouveler par échange avec la nappe,

- soit à colmater la berge de l'aval hydraulique pour limiter encore l'extension de l'impact, pour filtrer et ralentir d'éventuelles contaminations accidentelles.

SOMMAIRE

	<u>Pages</u>
- <u>INTRODUCTION</u>	5
1° - <u>PRESENTATION DES TROIS ETUDES SYNTHETISEES DANS CE DOCUMENT</u>	6
2°/ <u>QUESTIONS POSEES</u>	8
21 - L'eau des gravières est-elle significativement distincte de celle des nappes d'accompagnement ? Quels sont les paramètres qui les différencient ?.....	8
211 - Après la mise à nu de la nappe, l'eau drainée dans les gravières subit trois phénomènes essentiels :.....	9
a - Sa minéralisation globale va régresser.....	9
b - Sa charge de Matières En Suspension et en plusieurs éléments chimiques dissous va augmenter.....	9
c - Ses mélanges avec la Matière Organique - Animale et Végétale vont se développer.....	10
d - L'action sur l'eau des trois phénomènes énoncés ci-dessus va évoluer au rythme des saisons et des années.....	10
212 - Principaux paramètres qui différencient les eaux de gravières de celles des nappes d'accompagnement.....	11
22 - Quels sont les paramètres qui témoignent de l'impact des eaux de gravières sur celles de la nappe ?.....	12
221 - L'impact qualitatif des eaux de gravières sur celles de la nappe résulte de trois phénomènes :.....	12

a - La différenciation des eaux de gravières vis-à-vis de celles de la nappe dont elle est issue (cf. § 21)...	12
b - La modification des caractéristiques de l'aquifère localisé en aval hydraulique immédiat du plan d'eau....	12
c - La dilution des eaux en provenance des gravières avec celles de la nappe.....	14
222 - Principaux paramètres témoins de l'impact qualitatif des gravières en eau :.....	14
a - gravières peu profondes (< 10 m).....	14
b - gravières profondes (> 10 m).....	15
23 - Quelle est l'extension de l'impact qualitatif des gravières en eau ?.....	16
231 - Gravières peu profondes.....	16
232 - Gravières profondes.....	17
233 - Conclusion : répartition des impacts.....	18
24 - Quels sont les aménagements à prévoir pour réduire les impacts qualitatifs ?.....	19
241 - Recommandations générales.....	19
242 - Gravières profondes.....	20
243 - Gravières peu profondes.....	20
3° - <u>CONCLUSION</u>	22

Figures

- 1 - Histogrammes de distribution des teneurs en HCO_3^- dans les eaux - de nappe en amont des ballastières - des ballastières - de nappe en aval des ballastières - HAUTE-NORMANDIE
- 2 - Evolution de l'alcalinité (HCO_3^-) au sein du système - nappe amont - ballastière - nappe aval - ALSACE
- 3 - Histogrammes de distribution des teneurs en Ca^{++} dans les eaux - de nappe en amont des ballastières - des ballastières - de nappe en aval des ballastières - HAUTE-NORMANDIE
- 4 - Evolution de la dureté calcique (Ca^{++}) au sein du système - nappe amont - ballastière - nappe aval - ALSACE
- 5 - Histogrammes de distribution des teneurs en NO_3^- dans les eaux - de nappe en amont des ballastières - des ballastières - de nappe en aval des ballastières - HAUTE-NORMANDIE
- 6 - Evolution de la teneur en azote nitrique (NO_3^-) au sein du système - nappe amont - ballastière - nappe aval - ALSACE
- 7 - Comparaison des éléments majeurs des eaux de nappe amont - ballastières - nappe aval - Diagrammes de PIPER

ANNEXES

- 1 - Références des études menées sur l'impact qualitatif des gravières sur les nappes d'eau souterraines, et bibliographie.
- 2 - Fiche n° 1 : Protocole d'étude mis en oeuvre en HAUTE-NORMANDIE.

- Fiche n° 2 : Protocole d'étude mis en oeuvre en ALSACE.

- INTRODUCTION

Le présent travail a été conjointement financé par la Taxe Parafiscale sur les Granulats, les Ministères de l'Environnement et de l'Industrie, des PTT et du Tourisme, le Conseil Régional d'Alsace, les Conseils Généraux de Seine-Maritime et de l'Eure, et le Bureau de Recherches Géologiques et Minières.

Le développement industriel de l'après-guerre s'est accompagné d'un besoin important de matériaux destinés à la construction et à l'infrastructure.

En France, l'approvisionnement en granulats pour la confection des bétons a été assuré par les carrières exploitées le plus souvent au sein même des nappes phréatiques. L'extraction des matériaux a souvent pour effet la mise à nu de la nappe.

L'examen de la situation région par région montre dans la plupart des cas le recouvrement des zones favorables pour l'extraction des matériaux et des plus productives pour l'exploitation des eaux souterraines. Ces dernières sont généralement destinées à l'alimentation en eau potable de la population.

Si l'impact hydraulique des carrières en eau sur la nappe est un sujet relativement bien connu à l'heure actuelle, il n'en était pas de même de l'impact qualitatif.

Les recherches documentaires effectuées sur ce thème, tant en France qu'en Europe, ont mis en évidence une lacune de connaissance particulièrement importante.

Pourtant la conciliation des contraintes de l'environnement et de celles liées à l'exploitation du sous-sol nécessaire à l'économie passe obligatoirement par une bonne connaissance des mécanismes naturels mis en jeu, pendant et après l'exploitation des carrières.

Compte tenu de la situation évoquée ci-dessus, le B.R.G.M. s'est vu confié l'exécution de trois études destinées à approfondir les connaissances sur l'incidence qualitative des gravières en eau sur les nappes (1).

(1) Il s'agit de gravières non remblayées partiellement ou totalement.

L'objectif du présent travail consiste à rassembler et à synthétiser les résultats obtenus par ces trois études qui se sont déroulées de 1985 à 1987. Pour plus de détail, le lecteur pourra se reporter directement aux rapports d'étude.

Les deux premières études consistaient à réaliser pendant 18 mois des mesures de terrain sur des nappes et sur des carrières de dimensions extrêmes :

- en Alsace où elles sont généralement très profondes : de 20 à 40 m
- en Haute-Normandie où leur profondeur excède rarement 8 à 10 m.

Dans ces deux régions, l'impact qualitatif des carrières en eau a été établi à partir de l'observation de 17 gravières et de 40 points de surveillance de la nappe. Ceux-ci étaient situés pour moitié en amont et en aval hydraulique des plans d'eau.

Parallèlement, une autre étude avait pour but de définir l'état général des connaissances relatives aux différentes interactions entre les eaux souterraines et superficielles. Il s'agissait d'un travail de recherche à caractère documentaire. Au total, 400 publications relatives à l'eau et aux carrières ont été examinées. Les principales ont été résumées dans ce document.

Au cours des deux études de terrain, 9 500 mesures de paramètres représentant 340 échantillons ont été réalisées. Les paramètres pris en compte étaient les suivants :

- . Température - Conductivité - pH - Titre Hydrométrique - Titre Alcalimétrique Complet - Oxygène dissous - Gaz carbonique - Carbone Organique Total - Calcium - Magnésium - Ammoniac - Sodium - Potassium - Fer total - Manganèse - Bicarbonates - Chlorures - Sulfates - Nitrites - Phosphates - Alumine - Fluor - Demande Chimique en Oxygène - Bore - Azote totale - Demande Biochimique en Oxygène (5 heures) - Résidus Secs à 110°, 180° et 520° - Silice - Gaz carbonique libre - Germes tests bactériologiques - Chlorophylles A, B, C et phéopigments.

1° - PRESENTATION DES TROIS ETUDES SYNTHETISEES DANS CE DOCUMENT

- La première : "Connaissance de l'impact qualitatif des gravières en eau sur les nappes souterraines - Travaux réalisés en Alsace en 1985-86 - Rapport B.R.G.M. 87 SGN 199 ALS - G. RINCK - Financements identiques au présent rapport.

Le protocole d'étude est présenté en Annexe 2.

Ce travail définit l'impact qualitatif de 2 gravières situées au nord de Strasbourg. Les carrières sont localisées dans le domaine alluvial rhénan qui s'étend sur une longueur de 170 km et une largeur maximum de 25 km. Son épaisseur atteint un maximum de 250 m. La perméabilité des alluvions est très élevée puisqu'elle se situe de 10^{-3} à 10^{-2} m/s. Les alluvions du Rhin sont le siège d'une puissante nappe phréatique. Son gradient hydraulique est faible : 1 à 6 ‰ au centre de la plaine (écoulement parallèle au Rhin) et plus élevé sur les bords : 5 à 10 ‰ (écoulement ouest-est). L'exploitation de la première carrière est ancienne (1887 à 1961), celle de la seconde est actuelle (début 1961). Les eaux ne sont pas eutrophisées. Les carrières utilisées pour l'étude sont implantées sur 80 mètres d'alluvions.

Leur profondeur maximum est de 18 m et 45 m pour des superficies respectives de 18 ha et 12 ha.

- La deuxième : "Impact qualitatif des carrières en eau sur les nappes souterraines - Haute-Normandie" - Rapport B.R.G.M. 87 SGN 499 HNO - P. EBERENTZ - Financements identiques au présent rapport.

Le protocole d'étude est présenté en Annexe 2.

Ce travail définit également l'impact qualitatif de 15 gravières.

Celles-ci sont localisées dans les départements de l'Eure et de la Seine-Maritime. Elles sont implantées sur les alluvions des vallées de l'Eure, Risle et du bassin de l'Arques. La largeur de ces vallées atteint au mieux 1 à 2 km, la puissance maximum des alluvions est de 8 à 10 m. Leur perméabilité évolue de 10^{-4} à 10^{-2} m/s. Le gradient de la nappe phréatique est généralement voisin de 1 ‰ dans le sens de la vallée et de 1 % dans les directions perpendiculaires à celle-ci.

Les carrières surveillées pendant l'étude sont implantées sur des allu-

vions d'une puissance de 3 à 5 mètres, ce qui constitue leur profondeur. Leur superficie évolue de 1 ha à 50 ha. Leur ancienneté est variable : de 50 ans environ à actuel. Les eaux des gravières ne sont pas eutrophisées.

- La troisième intitulée "Interactions entre les carrières et les eaux souterraines et superficielles", rapport B.R.G.M. 87 SGN 391 PAC - M. GRAVOST (Financement Taxe Parafiscale sur les Granulats, et B.R.G.M.) est une synthèse bibliographique qui prend en compte toutes les catégories de carrières et les types d'impacts qui peuvent se répercuter sur les eaux continentales (nappe - rivière). Elle présente les références des études, les résumés des principaux travaux et fait la synthèse des connaissances acquises sur tous les aspects du sujet.
- Les références des études menées sur la connaissance de l'impact qualitatif des gravières sont présentées en Annexe 1.

2° - QUESTIONS POSEES

21 - L'EAU DES GRAVIERES EST-ELLE SIGNIFICATIVEMENT DISTINCTE DE CELLE DES NAP-PES D'ACCOMPAGNEMENT ? QUELS SONT LES PARAMETRES QUI LES DIFFERENCIENT ?

L'exploitation des sables et graviers en nappe conduit à la mise à nu de l'eau souterraine et, en conséquence, à la constitution d'un "réservoir" d'eau superficiel.

La modification des conditions de gisement de l'eau, du domaine souterrain vers le domaine superficiel, et les opérations effectuées pour l'extraction des matériaux, ont pour effet de faire évoluer sa composition (1).

(1) Nota : l'évolution physico-chimique et hydrobiologique des eaux des plans d'eaux (ex : lac, carrière en eau) a fait l'objet de nombreux travaux. Nous nous attacherons à définir les principaux phénomènes induits dans les plans d'eau qui peuvent avoir des incidences sur la qualité des eaux de nappe localisées en aval hydraulique.

211 - Après la mise à nu de la nappe, l'eau drainée dans les gravières subit trois phénomènes essentiels :

a/ Sa minéralisation globale va régresser

Ce phénomène est lié à la mise en contact de l'eau et de l'air. Celui-ci provoque une modification de la pression partielle en CO_2 dans l'eau qui entraîne principalement la décroissance des bicarbonates de calcium dans celle-ci.

Lorsque les eaux sont de type bicarbonaté-calcique, les principaux paramètres en diminution sont :

. la conductivité - HCO_3^- - Ca^{++} - Résidu sec à 110°C - CO_2 libre - NO_3^-
(ex. pour HCO_3^- , Ca^{++} et NO_3^- , cf. fig. 1 à 6).

Corrélativement, ce phénomène se traduit par une progression du pH et de l'oxygène dissous.

b/ Sa charge de Matières En Suspension et en plusieurs éléments chimiques dissous va augmenter

Pour les carrières d'Alsace, le rapport découverte/volume d'eau est au maximum de 2 %. En Haute-Normandie, il atteint 20 %.

L'incidence de la Matière En Suspension sur les eaux des gravières va être d'autant plus marquée que le rapport est important.

C'est donc le cas en Haute-Normandie où le déversement de la "découverte" dans l'eau de la gravière a une incidence sur sa composition chimique.

Dans cette région, la découverte est constituée de limons et d'argiles (d'ailleurs également présents dans le gisement). Ce matériau est surtout constitué de Silice, Alumine, Calcium, Fer et Manganèse. Son introduction dans l'eau de la gravière a pour effet essentiel d'augmenter les teneurs de Fe et Mn.

Par ailleurs, il faut signaler que ce phénomène de déversement des terrains non exploitable dans l'eau des gravières peut avoir des incidences plus importantes sur l'eau de la gravière lorsque la composition géochimique des terrains les plus superficiels est nettement distincte de celle de la roche réservoir dans laquelle circule la nappe.

En ce qui concerne l'évolution de la chimie des éléments majeurs, les mesures effectuées en Alsace et en Haute-Normandie ont montré une nette concordance. Par comparaison à l'eau de nappe initiale, on observe, dans les eaux de gravières :

- une faible croissance de O_2 dissous, pH, Mg^{++} (et de $SO_4^{=}$, en Haute-Normandie),
- une stabilité de $Na^+ - K^+ - Cl^- - PO_4^{=}$ et SiO_2

c/ Ses mélanges avec la matière organique - Animale et Végétale - vont se développer :

Dans les gravières des deux régions, les apports de matières organiques dans l'eau se traduisent par :

- l'augmentation des paramètres - "Oxygène cédé par $KMNO_4$ " qui est en rapport avec le taux de matières organiques dans l'eau
 - Carbone organique total
 - Ecart (RS 110 - RS 500)
- le développement des germes bactériologiques et des valeurs des paramètres liés au phytoplancton (ex : chlorophylles - phéopigments).
- la production d'azote, une légère croissance de NO_2^- et de NH_4^+ .

d/ L'action sur l'eau des trois phénomènes énoncés ci-dessus va évoluer au rythme des saisons et des années

- En période estivale, on constate l'augmentation dans les eaux de gravières de la température, de la matière organique des formes

azotées : N, NH_4^+ , NO_2^- , Fe^{++} , Fe tot et $\text{SO}_4^{=}$.

A cette même époque, les teneurs en Ca^{++} , HCO_3^- et NO_3^- fléchissent nettement.

- Par ailleurs, il a été montré en Haute-Normandie que les eaux de ballastières acquièrent la majorité de leurs caractéristiques dans un temps très court après la mise à nu de la nappe (inférieur à un an).
- Enfin, il convient de rappeler qu'au cours des années, le processus naturel d'évolution d'un plan d'eau conduit celui-ci vers l'eutrophisation. La vitesse d'évolution vers cet état est très mal connue à l'heure actuelle.

212 - Principaux paramètres qui différencient les eaux de gravières de celles des nappes d'accompagnement

Les eaux des gravières et des nappes d'accompagnement sont peu distinctes si on les compare dans le cadre de la nomenclature de classification des eaux (cf. Annexe 4). Dans le détail, plusieurs paramètres permettent de les distinguer.

En effet, par rapport à la nappe, on a enregistré dans les gravières :

- la diminution nette des bicarbonates de calcium, CO_2 libre, NO_3^-
- la légère croissance de NO_2^- , NH_4^+ , pH
- l'augmentation nette du taux de Matières organiques, de Matières En Suspension (faune et flore) et d'Oxygène dissous (et $\text{SO}_4^{=}$ en Haute-Normandie)
- la variation annuelle de la température, CO_2 et O_2 qui suivent approximativement celle du climat

pour les carrières peu profondes dont le rapport découverte/volume d'eau est élevé (ex : de la Haute-Normandie : 20 %), une croissance nette du taux de Matières En Suspension (ex : argile - limon) induit une élévation des concentrations de Fe tot et Mn^{++} .

Enfin, il convient de souligner que le déversement de la "découverte" dans

l'eau des gravières peut influencer de façon très importante la composition chimique et bactériologique des eaux de celles-ci lorsque la composition géochimique des terrains déversés est nettement distincte de celle de la roche qui contient la nappe d'accompagnement. Dans ce cas, les paramètres modifiés dans les eaux des gravières sont en relation avec la composition de la "découverte".

22 - QUELS SONT LES PARAMETRES QUI TEMOIGNENT DE L'IMPACT DES EAUX DE GRAVIERES SUR LES EAUX DE NAPPES ? LEURS VALEURS SONT-ELLES ELEVEES ?

221 - L'impact qualitatif des eaux de gravières sur celles de la nappe résulte de trois phénomènes :

- a/ La différenciation des eaux de gravières vis-à-vis de celles de la nappe dont elle est issue (cf. § 21).
- b/ La modification des caractéristiques de l'aquifère localisé en aval hydraulique immédiat du plan d'eau.

Il a été évoqué ci-dessus l'augmentation de Matières En Suspension dans les eaux de ballastières. Ce point est fondamental pour les gravières dont le rapport découverte/volume d'eau est élevé. L'exemple de la Haute-Normandie, où ce rapport atteint 20 %, illustre l'importance de ce phénomène.

Les plongées pratiquées dans tous les plans d'eau ont mis en évidence que dans tous les cas où les pentes des berges étaient supérieures à 20 % environ, il n'existait aucun dépôt de boue visible. Les sables et graviers étaient observés. La boue a glissé vers la base des berges et au fond du plan d'eau.

Ainsi, le manteau de colmatage apparaît peu ou pas sur les berges de la partie aval des plans d'eau dès lors que la pente dépasse 20 %.

En revanche, il a été constaté dans la plupart des cas l'existence d'un fort

gradient hydraulique entre le plan d'eau et la nappe au niveau des piézomètres localisés en aval. Ce fort gradient traduit l'existence de pertes de charges importantes.

Ces faits conduisent à l'interprétation suivante :

Les Matières En Suspension, préexistantes dans les sables et graviers du gisement (1) et celles déversées dans l'eau de la ballastière (terrains superficiels) s'introduisent dans l'aquifère situé immédiatement en aval hydraulique du plan d'eau. Cet envahissement est essentiellement réalisé au début de l'exploitation. Il augmente dans le temps mais avec une intensité nettement plus faible.

Ce phénomène a plusieurs conséquences :

- il limite en quantité les échanges eaux de ballastière - eau de nappe. La perméabilité a été réduite d'un facteur 100 (estimation). La vitesse de l'eau est également très diminuée.
- il modifie la nature et la granulométrie de l'aquifère par augmentation des éléments fins constitués d'un complexe terre végétale - limon - argile (Si - Ca⁺⁺ - Al - Fe - Mn⁺⁺). L'eau traverse alors un nouveau milieu qui va réagir sur sa composition.
- il introduit dans le milieu envahi des conditions plus réductrices.

Dans ce cas également, la nature de la découverte (granulométrie et composition géochimique) aura une influence sur la modification de cette zone.

(1) Le matériau récupéré lors de l'exploitation des sables et graviers en nappe subit un lavage partiel lors de sa remontée en surface. Une partie des particules fines préexistantes n'est donc pas extraite, elles descendent dans le plan d'eau.

c/ La dilution des eaux en provenance des gravières avec celles de la nappe (réceptacle)

La dilution est essentiellement fonction de la perméabilité et du coefficient d'emmagasinement de l'aquifère.

222 - Paramètres témoins de l'impact qualitatif des gravières en eau

Les mesures pratiquées en Alsace et en Haute-Normandie ont montré que les modifications de la composition des eaux de nappe localisées en aval hydraulique des gravières sont peu importantes. La figure 7 permet de visualiser ce phénomène.

Le résultat de l'examen dans le détail des phénomènes proches des gravières est présenté ci-dessous :

a/ Pour les gravières peu profondes :

Les effets qualitatifs du fonctionnement concomitant de ces mécanismes sur les eaux de l'aval hydraulique peuvent être classés en 6 catégories :

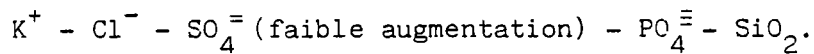
* Les teneurs en bicarbonate de calcium ne correspondent pas à un processus unique.

Dans 40 % des cas, la déminéralisation de l'eau de la ballastière est confirmée en aval hydraulique.

Dans 34 % des cas, c'est le contraire ; on assiste à une croissance des concentrations de bicarbonate de calcium dont l'origine peut être rapportée à la présence des Matières En Suspension.

Dans 26 % des cas, l'eau ne subit pas de modification notable de ses teneurs en bicarbonates de calcium.

* Les concentrations de Matières En Suspension et des éléments en provenance d'une partie de leur dissolution : Fer et Manganèse, sont généralement en nette augmentation. Les autres paramètres sont peu modifiés : pH - Matières organiques (faible augmentation) - Mg^{++} (faible augmentation) - Na^+ -



- * L'impact thermique sur les eaux souterraines apparaît comme le paramètre le plus sensible. Les modifications de la température des eaux souterraines entraînent peu de nuisances excepté lorsqu'il existe une source alimentée par la nappe (exemple : source à l'origine d'un ruisseau pépinière).
- * L'augmentation en aval des ballastières de N tot (12 % des cas), NO_2 (12 % des cas), NH_4 (19 % des cas), et la diminution de NO_3 (94 % des cas).
- * Une faible augmentation du nombre de germes-tests. La comparaison du nombre de germes-tests dans les ballastières et aval de celles-ci montre un très fort abattement de ceux-ci dès qu'ils transitent dans le sous-sol.
- * Dans trois cas, des pigments chlorophylliens ont été retrouvés dans les eaux souterraines. Cette observation est difficilement interprétable à l'heure actuelle.

b/ Pour les gravières profondes :

En ce qui concerne les échanges eau de gravière - eau de nappe, il existe une remarquable similitude entre les phénomènes mesurés sur les carrières peu profondes de Haute-Normandie et celles plus profondes d'Alsace. Nous prendrons comme exemple le calcium et les nitrates (fig. 1, 4, 5 et 6).

La similitude se rapporte tant aux aspects physico-chimiques qu'aux aspects liés à la matière organique (faune et flore).

La seule différence notable entre ces deux cas de figure concerne l'introduction en nappe des teneurs excessives de Fe et Mn liées à la présence de Matières En Suspension. Ce phénomène n'est pas négligeable pour les carrières de faible puissance.

23 - QUELLE EST L'EXTENSION DE L'IMPACT QUALITATIF DES GRAVIERES EN EAU ?

231 - Gravières peu profondes :

L'extension du phénomène est appréhendé à partir de trois types d'observations effectuées en Haute-Normandie :

- En Haute-Normandie, les analyses d'eau de 18 forages d'eau potable localisés à une distance inférieure ou égale à 250 m en aval hydraulique des ballastières en eau ont été étudiées.

Les analyses chimiques des eaux de ces forages ont été comparées à celles des autres ouvrages de la région situés en vallées dans des positions indépendantes des ballastières.

Tous ces forages captent simultanément la nappe phréatique incluse dans sa partie haute dans les alluvions (4 à 5 m) et dans sa partie basse dans la craie (20 à 25 m en moyenne).

Les résultats montrent que les eaux de tous ces forages ne sont pas influencées par celles des ballastières malgré leur proximité pour certains d'entre eux (Arques : 10 m - Fontaine l'Abbé et Broglie : 100 m). En conséquence, ces résultats confirment l'absence d'impact décelable des eaux de ballastières sur celles de la craie, même dans des conditions de pompage des eaux en provenance de ces deux aquifères : alluvion + craie.

- Les observations menées sur les piézomètres dont la profondeur n'excède pas 15 mètres montrent que l'impact thermique des gravières sur la nappe des alluvions atteint un maximum de 250 m en aval. En fait, à cette distance, l'impact physico-chimique et bactériologique n'est plus perceptible en raison essentiellement des effets de dilution.
- L'impact des gravières sur les nappes est souvent limité en aval par la présence de barrières hydrauliques naturelles constituées par les cours d'eau qui les drainent. Là encore, les faibles débits des eaux souterraines (quelques litres/heure/ha) n'apportent pas de modifications notables à celles des rivières.

Par ailleurs, il convient de noter que l'intensité de l'impact des ballastières sur les eaux de nappe n'a pu, en Haute-Normandie, être reliée ni à un des paramètres suivants ni à la prise en compte simultanée de plusieurs d'entre eux. Il s'agit de :

- L'ancienneté de l'exploitation - sa superficie - sa profondeur - le pourcentage des berges recouvertes de vase (berges dont la pente est $< 20^\circ$) - l'épaisseur moyenne des boues (ou vases) sur les fonds - le gradient hydraulique plan d'eau - nappe et la présence ou non d'un exutoire en rivière.

En fait, ces résultats semblent confirmer que les transferts des plans d'eau vers la nappe sont surtout effectifs au début de l'exploitation. Les modifications saisonnières mises en évidence dans les eaux de la nappe en aval sont de faible importance.

Néanmoins, rappelons que l'impact hydraulique d'une gravière sur une nappe est un phénomène bien connu. Les calculs hydrauliques montrent que l'étendue de l'alimentation de la nappe par les eaux des gravières est fonction de leur superficie, de leur profondeur, de la présence ou non d'un exutoire en rivière et surtout de la position hydraulique du plan d'eau :

- ex. - amont d'une rivière drainante
 - forme allongée dans le sens d'écoulement de la nappe
 - forme allongée perpendiculairement au sens d'écoulement de la nappe

232 - Gravières profondes :

Ces échanges nappe-gravières restent importants en raison de l'absence de colmatage ou du développement très lent de celui-ci dans la partie supérieure des berges.

L'impact hydrochimique des eaux de gravières sur la nappe s'estompe sur quelques dizaines de mètres à l'aval de celles-ci.

Seul l'impact thermique, le plus important, se manifeste jusqu'à 250 m en

aval des plans d'eau. Cependant, les mesures effectuées à quelques mètres des gravières montrent qu'il est négligeable à 15 mètres de profondeur.

Aucune incidence n'a été mise en évidence sur des forages AEP situés à 300 m en aval hydraulique des ouvrages.

233 - Conclusion : répartition des impacts :

L'impact des gravières en eau se manifeste dans la portion de nappe localisée en aval hydraulique de celles-ci :

- verticalement : * pour les carrières peu profondes, il est limité à la portion de nappe contenue dans les alluvions. La nappe de la craie sous-jacente n'est pas affectée.

- * pour les carrières profondes, il est net jusqu'à une quinzaine de mètres en profondeur, puis il s'estompe graduellement avec la diminution des échanges hydrodynamiques avec l'aquifère. Ce phénomène est dû au colmatage en profondeur et à l'anisotropie du réservoir alluvial.

- horizontalement : la distance de 250 m apparaît être un maximum au-delà duquel l'impact thermique, le plus sensible, ne se manifeste plus. Dans de nombreux cas, des barrières hydrauliques naturelles (ex. rivière en position drainante) peuvent le réduire.

Enfin, il convient de rappeler que les gravières induisent un effet macrodispersif. Celui-ci a pour effet de modifier le trajet des écoulements souterrains des eaux. Il peut ainsi modifier et accélérer la migration des eaux de l'amont vers l'aval des plans d'eau.

24 - QUELS SONT LES AMENAGEMENTS A PREVOIR POUR REDUIRE LES IMPACTS QUALITATIFS ?

Les enseignements tirés des trois études nous conduisent à proposer d'une part des recommandations générales pour les réaménagements des gravières en eau et d'autre part des recommandations adaptées aux types de gravières considérées. A ce titre, les gravières d'Alsace et de Haute-Normandie constituent des cas de figures extrêmes pour lesquelles les recommandations peuvent être symétriques.

241 - Recommandations générales :

Quel que soit le type de gravière en eau, il convient de limiter les modifications des caractéristiques de l'eau.

Pour cela, il conviendra d'interdire tout apport d'eau ou de matériaux susceptibles de dégrader la qualité de l'eau. Le remblayage sans contrôle avec des matériaux dits "inertes", extérieurs au site, est souvent l'objet d'abus.

Le remblayage peut être envisagé dans deux cas :

- matériaux inertes contrôlés (ex : Ville Nouvelle du Vandreuil),
- matériaux peu polluants introduisant une très faible perméabilité du milieu.

D'une façon générale, l'aménagement "naturel" des gravières sans apport de remblais ne pose pas de problèmes réels quant à la qualité de la nappe localisée en aval hydraulique. Le colmatage des berges est soit très lent (Alsace) soit très rapide (Haute-Normandie). Dans les deux cas, l'évolution de la qualité de l'eau des gravières vers une eutrophisation est faible (compte tenu du recul actuel de 50 à 80 ans). Le "vieillissement" des gravières n'induit pas d'impact décelable sur les eaux à l'aval. Il est à remarquer que la pêche et la baignade pratiquées modérément sur les plans d'eau n'engendrent pas de dégradation de la qualité générale de l'eau.

Enfin, la vulnérabilité des gravières vis-à-vis des pollutions accidentelles est telle qu'il est nécessaire de maintenir une zone de sécurité à l'aval des

gravières ; celle-ci atteint plusieurs centaines de mètres en fonction des caractéristiques hydrodynamiques locales et des conditions d'exploitation de la nappe. Compte tenu de l'anisotropie du réservoir aquifère, les possibilités d'exploitation de la nappe en profondeur permettent de réduire la vulnérabilité des captages d'eau.

242 - Gravières profondes :

En raison des très faibles impacts détectés à l'aval des gravières profondes, il n'apparaît pas souhaitable de procéder au colmatage des berges situées en aval hydraulique. Cette absence d'aménagement a pour effet de favoriser la circulation et donc l'oxygénation des eaux des gravières vers les nappes.

Dans les conditions citées précédemment, l'impact thermique est le plus important.

Deux attitudes peuvent être prises :

- pour se soustraire dans une certaine mesure à l'impact thermique des gravières, il convient de solliciter la nappe par pompage en profondeur au-delà de 30 m de profondeur, en particulier pour la zone située à moins de 200 m environ des plans d'eau.
- pour bénéficier éventuellement de l'impact thermique des gravières, il sera nécessaire de déterminer les temps de transfert des différents flux saisonniers, ceci en fonction de la distance à la gravière, et préciser les conditions d'exploitation thermique de la nappe (périodes débits-températures). Ces calculs peuvent être effectués à partir de modèles thermiques couramment utilisés dans le cadre de la gestion thermique des nappes.

243 - Gravières peu profondes :

Bien que dans ce cas également les impacts qualitatifs des gravières sur les nappes soient peu développés, il paraît au contraire souhaitable de procéder au

colmatage des berges le plus tôt possible après l'ouverture de la carrière.

Les raisons sont les suivantes :

- 1°/ Dans le cas d'une "découverte" très différente de la roche réservoir, son déversement dans le plan d'eau peut modifier de façon importante la composition chimique des eaux. Dans ce cas, il convient de limiter les échanges gravière-nappe pour limiter l'impact qualitatif.
- 2°/ Dans le cas d'un déversement accidentel d'une contamination dans une eau de gravière, le manteau de colmatage aura deux fonctions essentielles :
 - il limitera encore les flux polluants de la gravière vers la nappe,
 - il remplira la fonction de filtre capable de stopper tout ou partie de la contamination (1).
- 3°/ Il atténuera les impacts thermiques qui peuvent être préjudiciables à des sources proches lorsqu'elles représentent, par exemple, l'émergence d'un ruisseau pépinière pour les frayères (la température doit être maintenue voisine de 11 à 12°C en toute saison).

La mise en oeuvre de ce colmatage des berges localisées en aval peut se faire par :

- 1°/ le remblai des berges exploitées,
- 2°/ la création de berges en pente douce dont le modelé topographique permet le développement de ceintures de végétation (Démonstration Régionale d'Aménagement Phytobiologique des berges de ballastières en eau - Haute-Normandie).

(1) A ce sujet, plusieurs études sont menées au E.R.G.M. sur les effets filtres des berges de rivières. L'étude menée en Haute-Normandie avait nettement mis en évidence les similitudes des effets de berges : rivières et gravières.

3° - CONCLUSION

En France, l'eau souterraine et les terrains alluvionnaires sont intimement mêlés dans le sous-sol. Les alluvions, lorsqu'elles sont constituées de sables, graviers et galets, représentent généralement une excellente roche réservoir dans laquelle circulent des eaux facilement exploitables et très souvent de bonne qualité.

Ces deux richesses naturelles sont nécessaires à l'économie.

La première est très souvent exploitée pour l'alimentation en eau potable de la population et pour l'agriculture.

La seconde est utilisée pour la construction : confection de bétons hydrauliques et équipements de viabilité (ex : autoroutes, ballast, voirie...).

Ainsi, les aménageurs, les administrations, les industriels et les techniciens (ex : hydrogéologue agréé), responsables de l'aménagement et de la protection de l'environnement, sont amenés à définir la compatibilité de ces deux types d'exploitation sur un site donné.

En 1985, l'étude des documents existants relatifs aux interactions qualitatives gravières en eau-nappe avait mis en évidence l'existence d'une lacune de connaissance particulièrement importante sur un sujet pourtant très souvent évoqué. Il convient de noter que l'impact hydraulique et les phénomènes liés à la chimie et à l'hydrobiologie des eaux de gravières avaient au contraire fait l'objet de nombreuses études.

Pour la raison citée ci-dessus, le B.R.G.M. a été chargé, sous l'égide de la Taxe Parafiscale sur les Granulats, d'entreprendre trois études complémentaires destinées à effectuer un premier essai de généralisation des connaissances acquises sur l'impact qualitatif des gravières en eau (non remblayées) sur les nappes d'eau souterraines d'accompagnement.

Ces études se sont déroulées de 1985 à 1987.

Le présent rapport synthétise les résultats obtenus au cours de ces trois opérations.

Les principaux résultats sont les suivants :

- L'eau des gravières se différencie de celle de la nappe d'origine par la mise en jeu de trois phénomènes :

1°/ Sa minéralisation globale va régresser. ex : HCO_3^- - Ca^{++} - CO_2 libre et NO_3^-

2°/ Sa charge en Matières En Suspension va augmenter. Ce phénomène est le plus développé pour les carrières peu profondes. La nature des éléments chimiques en progression dans les eaux est fonction de l'épaisseur et de la composition chimique des terrains superficiels décapés et déversés dans le plan d'eau.

3°/ Ses mélanges avec la matière organique - Animale et Végétale - vont se développer. Exemples : les valeurs de O_2 cédé par KMNO_4 , Carbone Organique total, numération des germes bactériologiques, du phytoplancton, NO_2 et NH_4 , sont en nette progression.

L'action sur l'eau de ces trois phénomènes évolue au rythme des saisons et des années.

- L'eau de nappes localisée en aval hydraulique ne subit pas de modifications importantes. Celles-ci disparaissent totalement à une distance maximum de 250 m en aval hydraulique. En profondeur, il n'a pas été détecté en Haute-Normandie sous les alluvions et devient négligeable, voire nul en Alsace ; après 15 mètres de profondeur, les paramètres concernés et l'écart de leur valeur amont-aval des plans d'eau ont été définis (le paramètre le plus performant, généralement peu nuisible, est la température).

Dans la zone superficielle des 250 mètres, l'impact résulte de 3 phénomènes :

1°/ La pénétration en nappe des eaux de gravières qui se sont différenciées de celle de la nappe dont elle est issue (cf. ci-dessus).

2°/ La modification des caractéristiques de la roche réservoir en aval hydraulique immédiat du plan d'eau. Ce phénomène est fondamental pour les carrières peu profondes : les Matières En Suspension envahissent la roche réservoir, ce qui induit trois phénomènes :

- diminution de sa perméabilité, en conséquence du flux d'eau gravière-nappe,
- modification partielle de la nature géochimique de la roche réservoir, ce qui provoque de nouvelles réactions eau-roche,
- introduction de conditions du milieu plus réductrices.

3°/ La dilution des eaux en provenance des gravières avec celles de la nappe.

Les effets qualitatifs sur la nappe qui résultent de ces processus sont principalement fonction :

- de la profondeur des gravières,
- de l'épaisseur et de la nature des terrains décapés et déversés dans les plans d'eau,
- de la superficie et de la forme du plan d'eau vis-à-vis du sens d'écoulement de la nappe,
- du type de réaménagement mis en place pendant et à la suite de l'extraction des matériaux.

Enfin, sur ce dernier sujet, il ne peut être envisagé la préconisation de directives uniques.

Deux attitudes peuvent être envisagées :

- carrières profondes : le colmatage des berges aval n'est pas souhaitable. La qualité des eaux de nappe en aval hydraulique est directement liée à celle du plan d'eau. Le renouvellement de celle-ci, par libre circulation dans le milieu souterrain favorisera la conservation de sa qualité.

Les éventuels forages d'eau potable implantés dans leur zone d'influence doivent prélever l'eau à une profondeur d'au moins 15 mètres.

- carrières peu profondes : dans le cas d'absence de sources et de forages d'eau potable existants ou en projet, on pourra adopter une attitude comparable à celle définie pour les carrières profondes.

Dans le cas contraire, il est souhaitable de procéder dès l'ouverture de la carrière au colmatage de la berge aval. Cette opération aura plusieurs intérêts :

- limitation du flux de la gravière vers la nappe,
- filtration et ralentissement des éléments chimiques de la gravière en direction de la nappe dans le cas d'éventuelles contaminations accidentelles.

Enfin, il convient de rappeler que l'étendue de la zone d'influence d'une gravière en eau sur la nappe est souvent conditionnée par la présence en aval de celle-ci de rûs, ruisseaux et rivières, qui jouent généralement le rôle de "barrière hydraulique".

Figures

Les figures présentées ci-après correspondent aux mesures pratiquées :

- d'une part en Haute-Normandie sur 40 points de mesures en nappe et 15 gravières (1 seul niveau d'eau échantillonné),
- d'autre part en Alsace sur 4 points de mesures en nappe et 2 gravières (4 niveaux d'eau échantillonnés).

Ainsi, les résultats obtenus sur les deux populations d'informations ne se présentent pas de façon homogène. Pour ces raisons, les résultats concernant un même paramètre ne pouvaient être représentés selon un graphe unique.

HISTOGRAMMES DE DISTRIBUTION DES TENEURS EN HCO_3^- DANS LES EAUX

DE NAPPE EN AMONT
DES BALLASTIERES

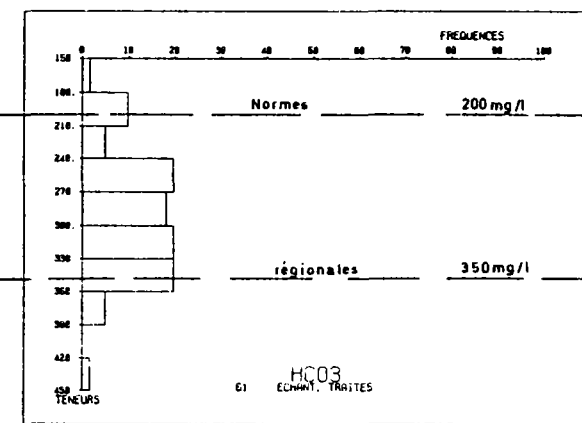
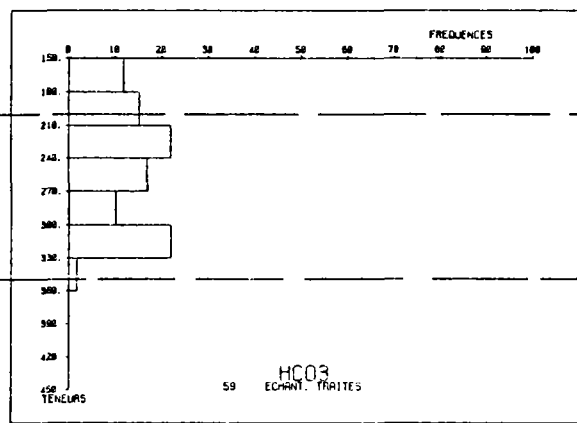
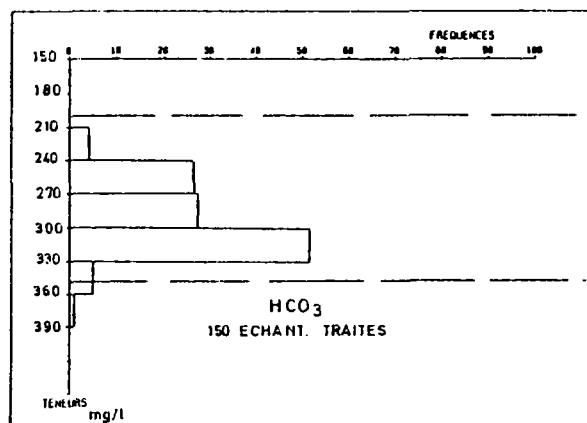
VALEUR MINI	212
VALEUR MAXI	388
MOYENNE ARITH.	285
ECHART-TYPE	
MOYENNE GEOM.	
DEVIATION GEOM.	

DES BALLASTIERES

VALEUR MINI	150
VALEUR MAXI	358
MOYENNE ARITH.	235
ECHART-TYPE	51
MOYENNE GEOM.	234
DEVIATION GEOM.	1.24

DE NAPPE EN AVAL
DES BALLASTIERES

VALEUR MINI	170
VALEUR MAXI	428
MOYENNE ARITH.	286
ECHART-TYPE	54
MOYENNE GEOM.	281
DEVIATION GEOM.	1.22



3 points supérieurs à 450 : 750 mg/l
100 mg/l
140 mg/l

COMPARAISONS : - NAPPE AMONT - BALLASTIÈRES

: Les teneurs en bicarbonates des eaux de la ballastière ($\bar{m} = 239$) sont plus faibles que celles de la nappe amont ($\bar{m} = 285$)

- NAPPE AMONT - NAPPE AVAL

: Les concentrations moyennes des eaux des nappes amont et aval sont comparables ($\bar{m} = 285$ et $\bar{m} = 286$) cependant la distribution des valeurs de la nappe aval est plus étalée : - amont : 212 à 388
- aval : 170 à 450 et trois valeurs supérieures à 450

HCO_3^-

EVOLUTION DE LA TENEUR EN ANHYDRIDE CARBONIQUE LIBRE
 AU SEIN DU SYSTEME
 NAPPE AMONT-BALLASTIERE-NAPPE AVAL

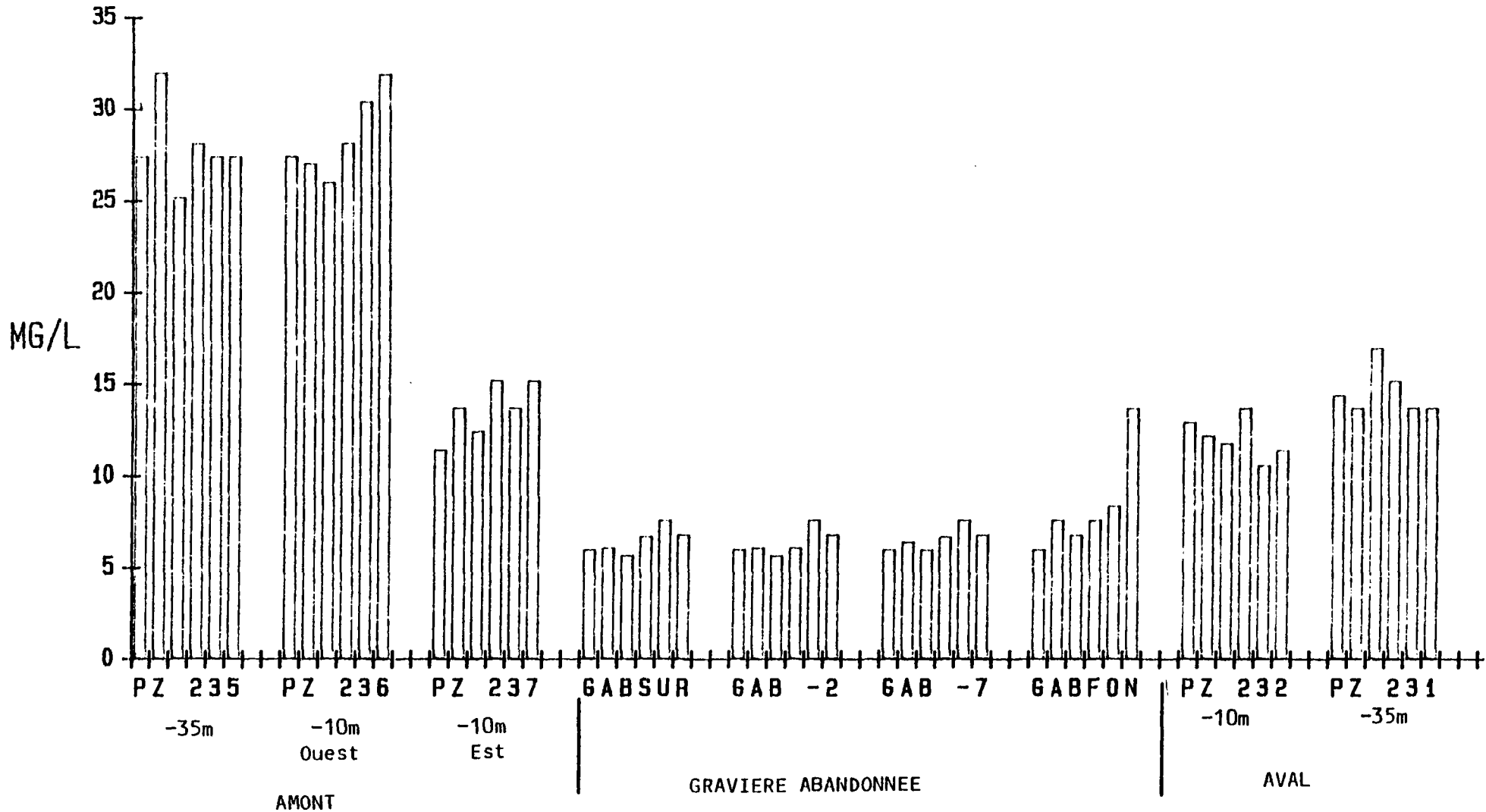


Figure 2

HISTOGRAMMES DE DISTRIBUTION DES VALEURS DE CALCIUM DANS LES EAUX

DE NAPPE EN AMONT
DES BALLASTIERES

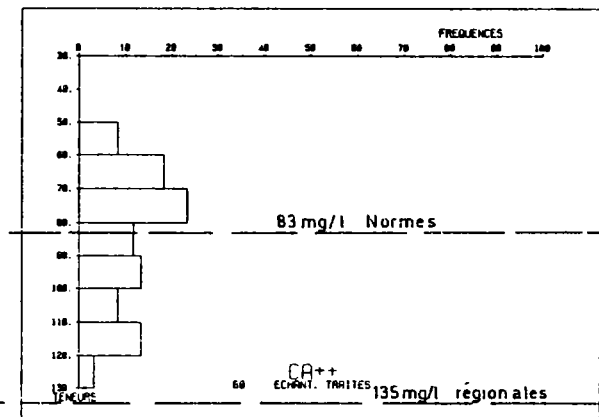
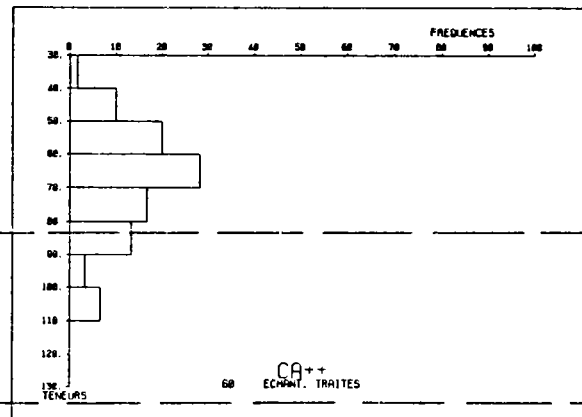
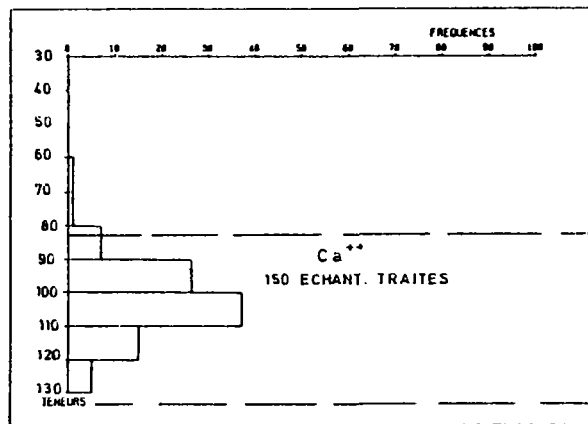
VALEUR MIN.	62
VALEUR MAX.	126
MOYENNE ARITH.	103
ECART-TYPE	
MOYENNE GEOM.	
DEVIATION GEOM.	

DES BALLASTIERES

VALEUR MIN.	35
VALEUR MAX.	107
MOYENNE ARITH.	68
ECART-TYPE	16
MOYENNE GEOM.	66
DEVIATION GEOM.	1.27

DE NAPPE EN AVAL
DES BALLASTIERES

VALEUR MIN.	50
VALEUR MAX.	124
MOYENNE ARITH.	84
ECART-TYPE	20
MOYENNE GEOM.	82
DEVIATION GEOM.	1.27



Valeurs supérieures : 1 à 132 ; 1 à 186 ;
1 à 255 ; 1 à 570

COMPARAISONS : - NAPPE AMONT - BALLASTIÈRES :

Les valeurs de calcium des eaux des ballastières ($\bar{m} = 68$) sont très nettement inférieures à celles de la nappe en amont ($\bar{m} = 103$)

- NAPPE AMONT - NAPPE AVAL

Les valeurs de calcium des eaux de la nappe amont ($\bar{m} = 103$) sont distinctes de celles de l'aval ($\bar{m} = 84$). Celles-ci subissent deux effets :

- celui des ballastières : diminution de Ca^{++}
- celui des matières en suspension : augmentation de Ca^{++} (cf. valeurs 130 mg/l)

Ca^{++}

**EVOLUTION DE LA DURETE CALCIQUE (CA²⁺) AU SEIN DU
SYSTEME
NAPPE AMONT-BALLASTIERE-NAPPE AVAL**

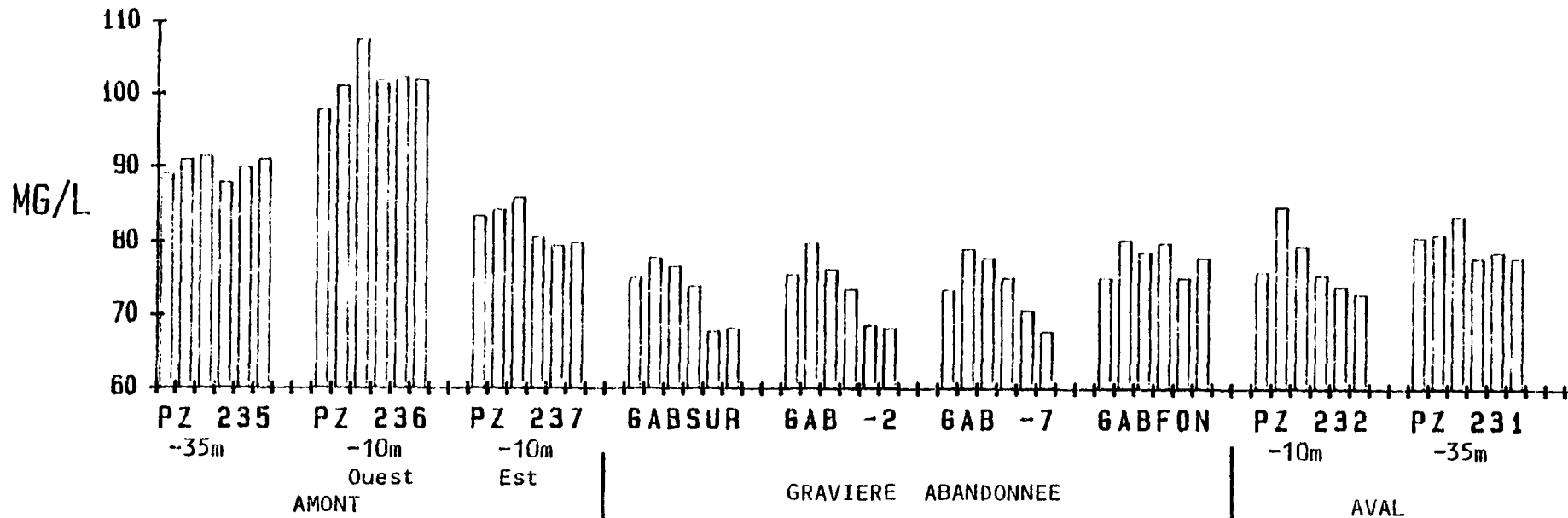
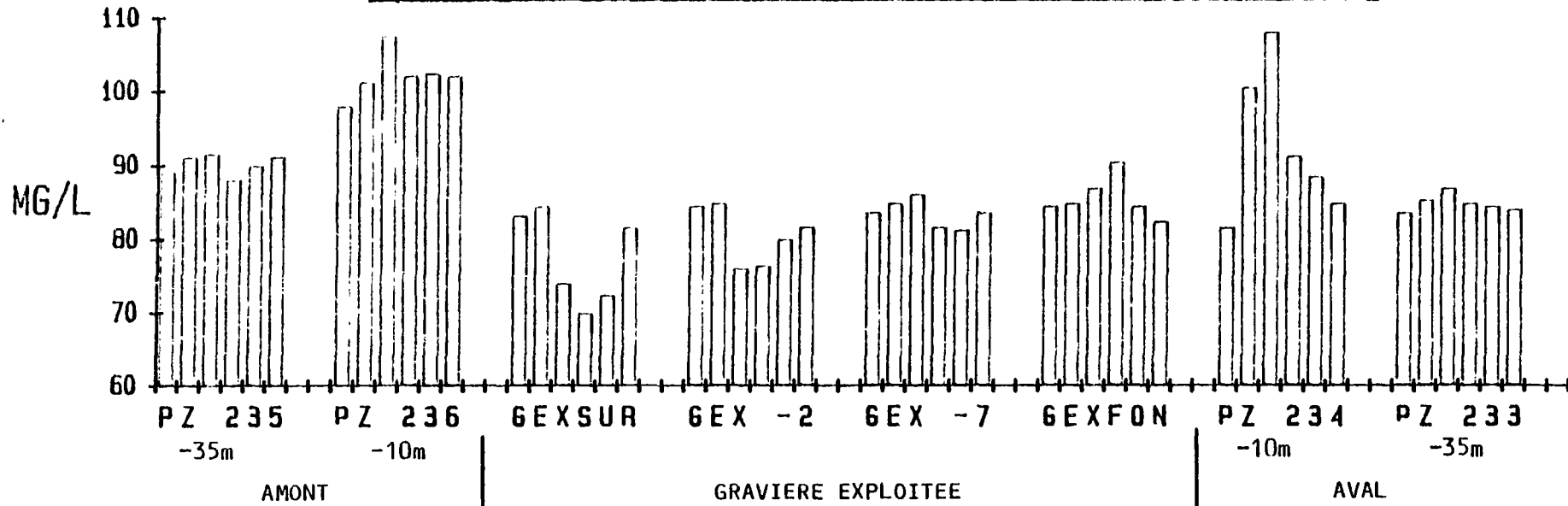


Figure 4

HISTOGRAMMES DE DISTRIBUTION DES TENEURS DE NITRATES DANS LES EAUX

DE NAPPE EN AMONT
DES BALLASTIERES

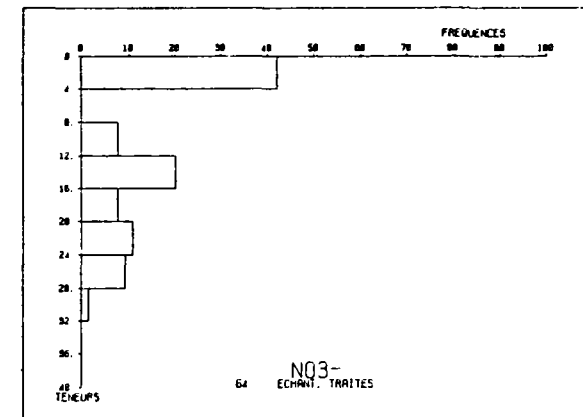
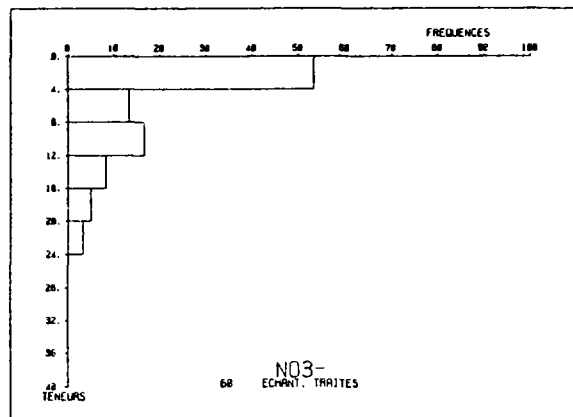
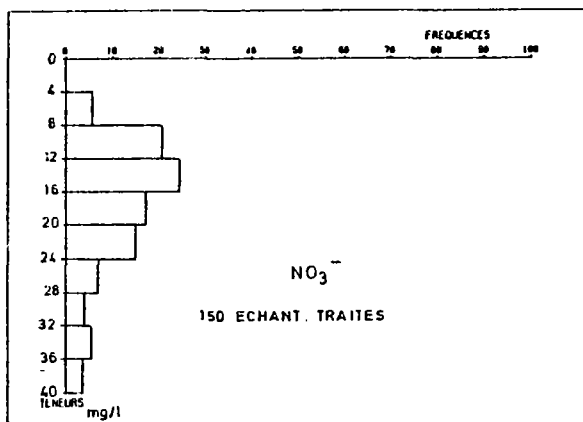
VALEUR MINI	•	5
VALEUR MAXI	•	> 50
MOYENNE ARITH.	•	23
Ecart-TYPE	•	
MOYENNE GEOM.	•	
DEVIATION GEOM.	•	

DES BALLASTIERES

VALEUR MINI	•	1.
VALEUR MAXI	•	21.
MOYENNE ARITH.	•	6.
Ecart-TYPE	•	6.
MOYENNE GEOM.	•	3.
DEVIATION GEOM.	•	3.29

DE NAPPE EN AVAL
DES BALLASTIERES

VALEUR MINI	•	1.
VALEUR MAXI	•	29
MOYENNE ARITH.	•	11.
Ecart-TYPE	•	9.
MOYENNE GEOM.	•	6.
DEVIATION GEOM.	•	5.68

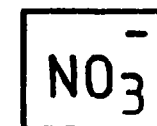


COMPARAISONS : - NAPPE AMONT - BALLASTIERES

: Les concentrations en nitrates des eaux des ballastieres ($\bar{m} = 6$) marquent une forte régression comparées à celles de la nappe amont ($\bar{m} = 23$)

- NAPPE AMONT - NAPPE AVAL

: Les concentrations en nitrates des eaux de la nappe aval ($\bar{m} = 11$) sont également plus faibles que celles de l'amont ($\bar{m} = 23$)



EVOLUTION DE LA TENEUR EN AZOTE NITRIQUE AU SEIN
DU SYSTEME
NAPPE AMONT-BALLASTIERE-NAPPE AVAL

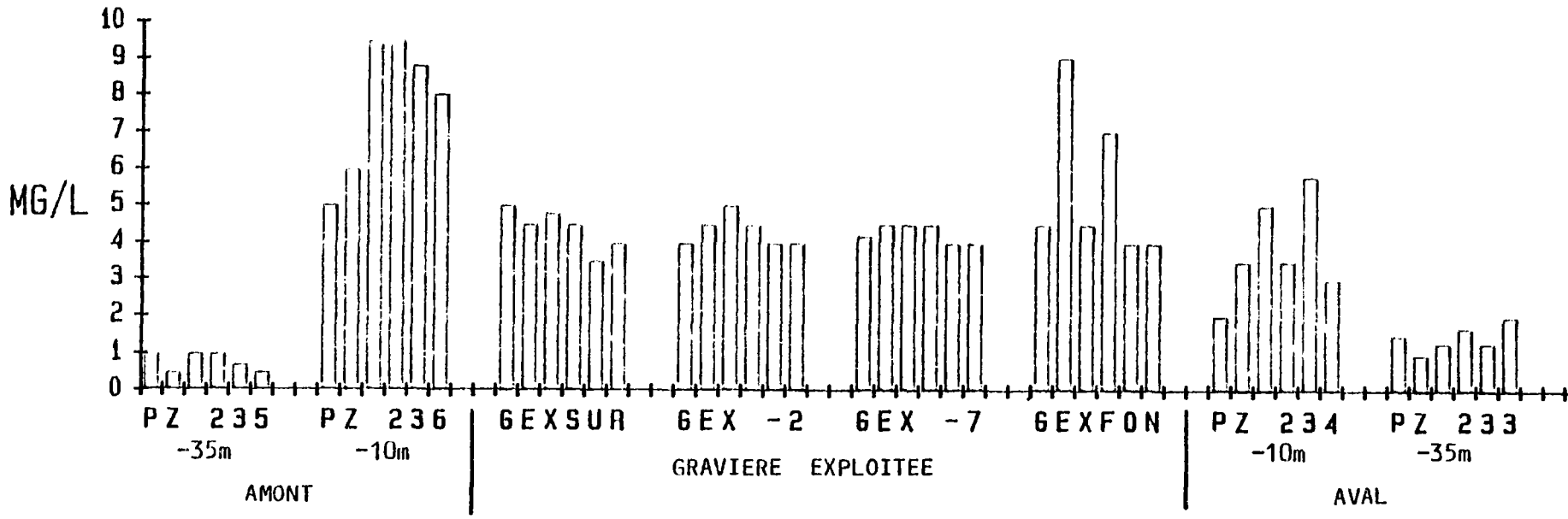
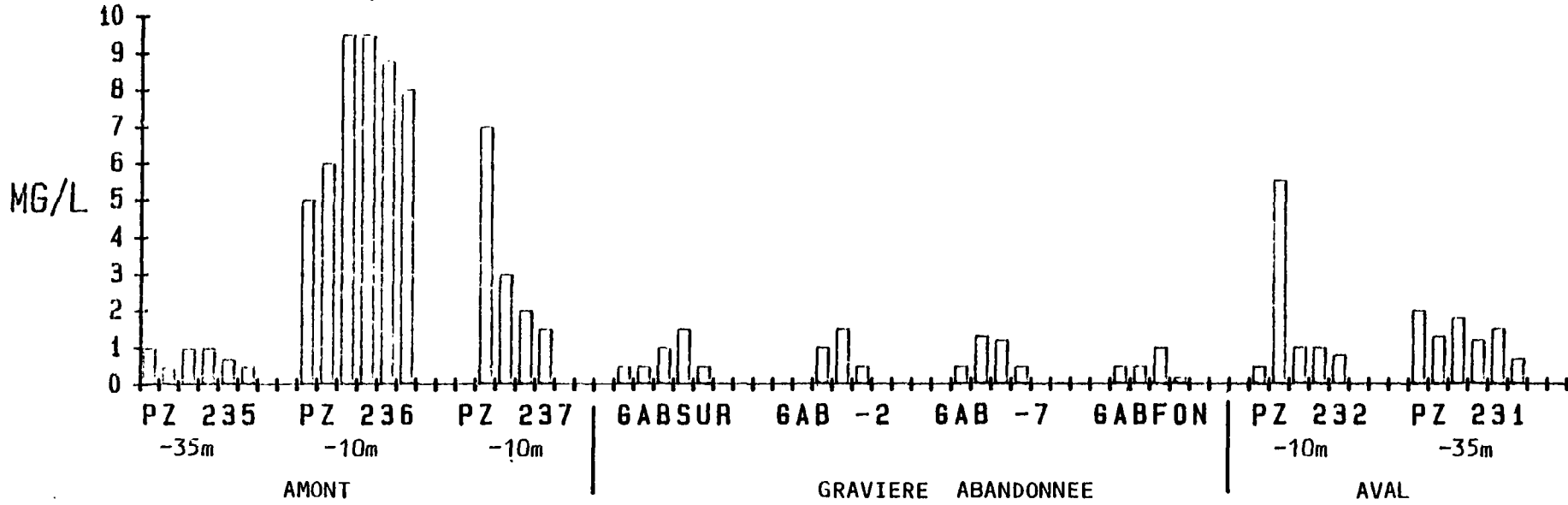
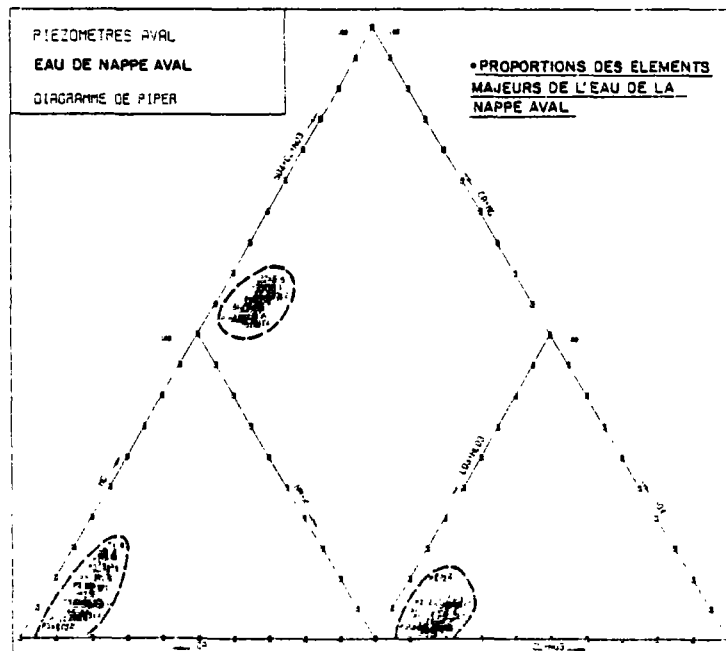
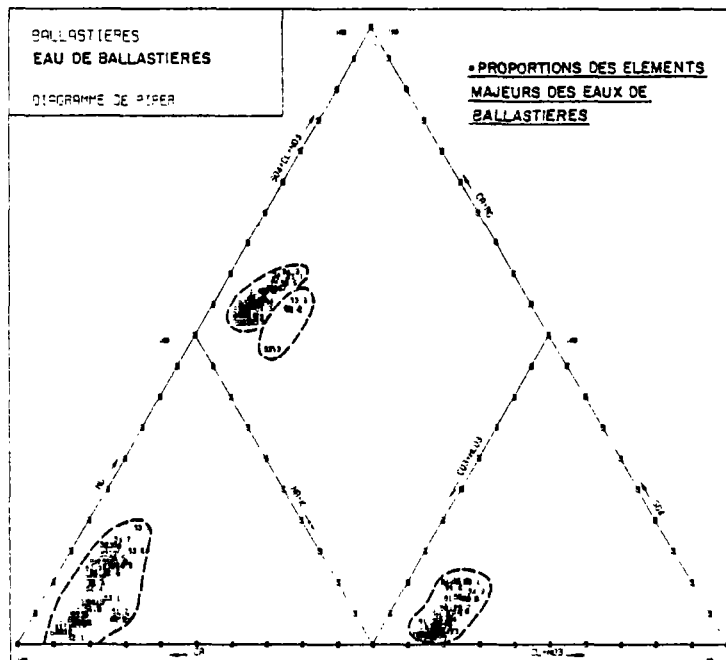
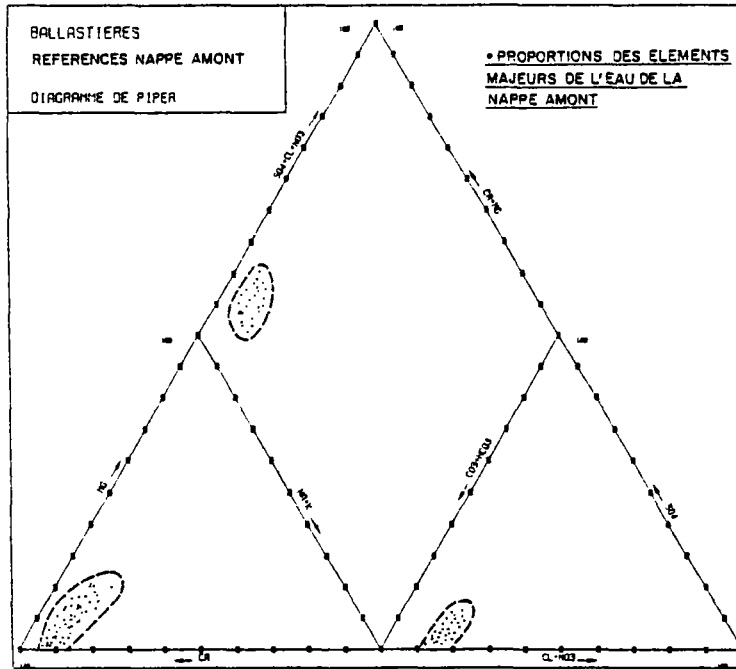


Figure 6

DIAGRAMMES DE PIPER



ANNEXE 1

RÉFÉRENCES DES ÉTUDES MENÉES SUR LA CONNAISSANCE
DE L'IMPACT QUALITATIF DES GRAVIÈRES
SUR LES NAPPES D'EAU SOUTERRAINES

- 1979 - VALENTIN, GRAILLAT
 Etude des problèmes posés par l'ouverture de gravières en alsace
 (résumé)
SGR ALS, in bull. B.R.G.M., sec.III, n°1 1979, p.19-26
- 1981 - ARQUIE G., PELLECUER P.
 Rapport préliminaire du groupe de travail chargé d'étudier les problè-
 mes posés en matière d'extraction de granulats.
*MIN. de ENV. et du Cadre de VIE, Conseil Général des Ponts et Chaus-
 sées f, Aff. n°80-109, 47 p.*
- 1983 - DUBOIS J.M.
 Etude de l'impact des gravières sur l'environnement en Alsace. Evolu-
 tion chimique et biologique des eaux des gravières alsaciennes ; in-
 teractions nappes-gravières
PIREN, Projet (caduque) présenté à Strasbourg en février 1983
- 1984 - JASENSKA A.
 Jakost vody sterkoviste Chomoutov. (qualité de l'eau provenant de la
 carrière de graviers à Chomoutov).
In Vodni hospod., Rada B., vol 34, n°8, p. 222-224.
- 1985 - EBERENTZ P.
 Impact thermique des ballastières sur les eaux superficielles et sou-
 terraines
Hydrogéologie n° 1/1985, pp.75-80, 2 fig.
- 1985 - HOUERT-CAMUS L.
 Contribution à la connaissance de l'impact chimique des ballastières
 en eau sur la qualité des nappes phréatiques de Basse Normandie
*M.S.T. ENV. U. de Rouen, BRGM SGR de Haute Normandie f. Rap de stage
 24 p. + annexes.*
- Présente une comparaison statistique d'analyses chimiques d'eaux (type I et II) de 39 captages en
 aval hydraulique de ballastières (d < 5 km. dont 17 < 500 m.) avec celles des autres captages de la
 région, la période d'investigation fut de 5 ans, et mille analyses furent traitées. Aucune variation
 notable de la qualité des eaux imputables aux carrières est mise en évidence. Seules des augmen-
 tations de concentration sembleraient se produire pour les nitrates et les sulfates mais : pour les
 sulfates une étude complémentaire est souhaitée afin d'infirmer ou de confirmer l'impact des graviè-
 res qui de toutes façons est faible ; pour les nitrates leur grande variabilité spaciale n'autorise
 à aucune conclusion.
- 1985 - SINOQUET C.
 Qualité physico-chimique des eaux de gravière et impact sur le milieu
 environnant - Analyse globale et approche particulière
*E.N.I.T.R.T.S. et Un. L. Pasteur I.M.F. de Strasbourg, Mém. DEA de
 Méc., opt. sc. et techn. de l'eau, 86 p., 76 fig., 40 an., 1985*

L'impact thermique est lié à la profondeur de la gravière: faible elle réchauffe l'eau souterraine en été et la refroidit en hiver, forte elle peut, du fait de la stratification thermique, rafraîchir l'eau de la nappe en été. En Alsace sur la Wantzenau la température et les chlorures permettent de localiser les zones d'échange avec la nappe. Plus généralement une dilution est constatée à l'aval immédiat. Ce schéma reste valable dans le cas d'une contamination uniforme de la gravière avec cette nuance que selon la masse volumique du polluant, la contamination affectera les zones superficielles ou profondes de l'aquifère. Une solution réside dans son colmatage artificiel lorsqu'une gravière constitue une source de pollution potentielle chimique pour l'aval.

1986 - DONVILLE B.

Evolution des teneurs en nitrates des lacs de gravières. Effets sur les eaux souterraines dans le département de la Haute Garonne.
Conseil Gén. de la Haute Garonne, Lab. Geol. Géochrono. U. PAUL SABATIER f. 17 p. + annexes.

1986 - DURBEC A.

Sectorisation des berges des ballastières en eaux application à l'étude des échanges hydrodynamiques avec la nappe phréatique d'Alsace au nord de Strasbourg. 200 p. + fig.
Inst. de méca. des fluides UA CNRS 854, MIN. de l'AGR. E.N.I.T.R.T.S. f. Thèse d'université, U. Louis Pasteur de Strasbourg,

Ce travail propose une méthodologie d'étude des sites alluviaux graviérables. Les trois premières parties présentent les concepts fondamentaux impliqués et les moyens d'investigation qui se rapportent aux domaines hydrogéologique, hydrodynamique et hydro-écologique. L'observation in-situ, les carottages en plongée sous-marine, la télédétection infra-rouge et les mesures de conductivités hydrauliques et des paramètres chimiques en laboratoire sont exposés dans deux parties d'expérimentation originale sur le colmatage des gravières. Une méthode de diagnose hydroécologique du colmatage est proposée. Dans la sixième partie, une synthèse des résultats obtenus permet de présenter une modélisation mathématique des échanges hydrodynamiques entre la nappe phréatique, les gravières et les rivières de la Wantzenau, au Nord de Strasbourg.

1986 - DURBEC A.

La thermographie aérienne appliquée au suivi des échanges hydrodynamiques souterrains en site alluvial graviérable.
Comm. séminaire G.S.T.S., Starsbourg 16 janvier 1986.

1986 - DURBEC A., MUNTZER P., ZILLIOX L.

Visualisation par thermographie aérienne des échanges hydrodynamiques entre la nappe phréatique, les cours d'eau et les gravières.
in Revue de la Société Française de Photographie et de Télédétection, n° 102.

1986 - DURBEC A., MUNTZER P., ZILLIOX L.

La télédétection en Alsace, un nouvel outil pour la connaissance des échanges hydrodynamique en site graviérable.
In Hydrogéologie n°1, p. 61-63.

le procédé de thermographie aérienne est utilisé sur un système d'échanges hydrodynamiques complexes au nord de Strasbourg, qui comprend la nappe phréatique, les gravières en eau, des fossés et des

cours d'eau. Les clichés 'infrarouge' pris en période de dégel permettent de visualiser le sens des échanges en basses eaux entre les différents éléments du système. Ainsi la sectorisation des berges de trois principales gravières fut mise en évidence.

1986 - EBERENTZ P.

Connaissance de l'impact qualitatif des gravières en eau sur les nappes souterraines (EG 116)

Rap. d'avancement, NT 86 RHA 059, 7 p. + 2 annexes.

1986 - MARGAT J. ROUX JC.

Interactions des impacts des aménagements et des exploitations sur les eaux de surface et les nappes souterraines.

Note tech. 86.ENV.003, 11 p., comm. 19^{ème} jour. de l'Hydraulique de la Société Hydrotech. de Fce.

1986 - THOMAS M.

Impact qualitatif des ballastières sur les nappes souterraine. Analyse des paramètres floristiques.

BRGM, SGR de Haute Normandie, U. de Haute Normandie, Lab de Biologie Végétale et Ecologie f. Rap de stage, .pp.

ANNEXE 2

- FICHE 1 : PROTOCOLE D'ÉTUDE MIS EN OEUVRE EN HAUTE-NORMANDIE
1985-1986-1987
- FICHE 2 : PROTOCOLE D'ÉTUDE MIS EN OEUVRE EN ALSACE
1985-1986

FICHE n° 2

Protocole d'étude mis en oeuvre en Alsace

1985-1986-1987

Au centre de l'importante plaine alluviale alsacienne, deux gravières voisines ont été mises en observation durant un an.

La puissance du gisement atteint localement 80 m.

L'une des gravières, d'une profondeur moyenne de 15 m, est abandonnée depuis 1961, l'autre en cours d'exploitation et atteint actuellement une profondeur de 45 m.

Ces gravières sont situées dans le même contexte hydrogéologique et ne font l'objet d'aucun remblaiement ou aménagement particulier. Elles sont situées dans le périmètre de protection d'un captage d'eau potable situé à 300 m directement à l'aval.

- Principaux points de controle :

- les deux gravières, en surface, à - 2 m, - 7 m et au fond,
- En amont, dans un couple de piézomètres de 10 et 35 m de profondeur, et dans un piézomètre de 10 m de profondeur (influence rhénane),
- En aval, dans deux couples de piézomètres de 10 et 35 m de profondeur situés à 20-30 m des deux plans d'eau et dans un piézomètre en direction du Rhin, les 7 piézomètres ont été réalisés dans le cadre de cette étude.

- Principales déterminations analytiques :

- 90 analyses physico-chimiques et bactériologiques complètes de type I (santé publique, D.C.O, C.O.T., D.B.O. 5) :
 - . bactéries nitrifiantes et dénitrifiantes
 - . bactéries sulfato-réductrices et sulfo-bactéries.

- 72 analyses des pigments chlorophylliens et phéopigments,
- 20 analyses bactériologiques des eaux prélevées simultanément en surface des plans d'eau,
- 182 profils thermiques dans les piézomètres complétés par des mesures thermiques dans 3 cours d'eau et une trentaine de piézomètres peu profonds,
- 9 campagnes de profils thermiques sur les gravières à l'aide d'un bateau pneumatique,
- 19 campagnes de mesures piézométriques sur une quarantaine de points d'eau répartis entre le Rhin et les gravières,
- 2 campagnes de prélèvements de boue par plongées à différentes profondeurs et analyses de 34 éléments minéraux,
- 1 campagne de nivellement et des mesures bathymétriques,
- détermination des caractéristiques liées au mode d'exploitation des gravières et inventaire des principales espèces et groupements végétaux,
- inventaire de la faune macroinvertébrée épibenthique des gravières sur 11 stations,
- évolution de l'impact des gravières sur la nappe,
- utilisation potentielle des eaux souterraines à l'aval des gravières en fonction des paramètres migrateurs,
- aménagement des gravières,
- définition d'un état de référence.