

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE ET DE LA RECHERCHE
TAXE PARAFISCALE SUR LES GRANULATS

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT
BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES



BRGM

INTERACTIONS ENTRE LES CARRIÈRES ET
LES EAUX SOUTERRAINES
ET SUPERFICIELLES

Bilan des connaissances techniques

24/10/1988

Novembre 1988
87 SGN 391 PAC



BRGM

**MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE ET DE LA RECHERCHE
TAXE PARAFISCALE SUR LES GRANULATS**

**MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT
BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES**

**INTERACTIONS ENTRE LES CARRIÈRES ET
LES EAUX SOUTERRAINES
ET SUPERFICIELLES**

Bilan des connaissances techniques

**par M. GRAVOST
avec la collaboration de J.M. SIONNEAU**

**Novembre 1988
BRGM: 87 SGN 391 PAC
TPFG: Opération 56 EG 142**

**BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
Service Géologique Régional Provence - Alpes - Côte d'Azur
Domaine de Luminy - Route Léon-Lachamp - 13009 Marseille
Tél.: 91.41.24.46 - Télex : BRGM 401585 F**

**TAXE PARAFISCALE SUR LES GRANULATS
(Opération 56 EG 142)**

MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES

**INTERACTIONS ENTRE LES CARRIERES ET
LES EAUX SOUTERRAINES ET SUPERFICIELLES**

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE ET BILAN TECHNIQUE DES CONNAISSANCES

par

M. GRAVOST

Avec la collaboration de J.M. SIONNEAU

87 SGN 391 PAC

Novembre 1988

RESUME

Cofinancée par le Comité de gestion de la taxe parafiscale sur les granulats (72%), le ministère de l'Environnement (11%) et le Bureau de recherches géologiques et minières (17%), la "Synthèse bibliographique et bilan technique des connaissances sur les interactions entre les carrières et les eaux souterraines et superficielles" a été réalisée durant l'année 1987.

Elle résulte de la consultation et de l'analyse plus ou moins approfondie de près de 400 références qui, après saisie sur support informatique, ont été rassemblées sous forme d'une bibliographie qui constitue l'annexe principale du rapport.

Si l'action de l'eau sur les carrières, bien connue des professionnels, peut conditionner l'exploitation ou la gêner temporairement, les documents consultés traitent surtout de l'action des carrières sur l'eau, qui s'exerce dans 5 grands domaines : hydrodynamique, hydromécanique, physico-chimique, hydrothermique et hydrogéologique, et à des degrés divers selon que l'on a affaire à des exploitations en eau, en lit mineur ou en nappe, ouvertes ou fermées sur le réseau hydrographique, ou bien à des exploitations hors d'eau généralement sans incidence notable. Les interactions sont fonction des possibilités d'échange, le facteur colmatage apparaissant comme essentiel tant pendant qu'après l'exploitation.

Les carrières, en activité ou non, peuvent intervenir du fait de leur seule présence ou comme vecteur de pollution accidentelle.

Dans le domaine hydrodynamique, les carrières en lit mineur agissent sur :

- le régime d'écoulement de la rivière,
- sa ligne d'eau (abaissement), le niveau de la nappe associée et la productivité des ouvrages qui en dépendent.

Les autres carrières en eau influent, selon leur géométrie et leur état de colmatage, sur :

- le régime d'écoulement de la nappe au voisinage,
- sa piézométrie (gonflement général à l'aval).

Dans ce cas, l'ordre de grandeur des modifications résultantes, parfois sensibles à plusieurs centaines de mètres, est généralement prévisible à l'aide de simulations sur modèles.

Le domaine hydromécanique n'est en principe concerné que par les carrières en lit mineur qui :

- augmentent les teneurs en M.E.S. et la turbidité à l'aval,
- modifient les profils en long et en travers du lit, perturbant le régime d'érosion - transport - sédimentation naturelle qui pourra évoluer longtemps après la fin de l'exploitation.

Ces perturbations interfèrent avec les domaines hydrodynamique et hydrobiologique notamment et peuvent menacer les équipements terrestres. Leur importance a conduit à réglementer sévèrement, voire à interdire, les extractions en lit mineur de certains cours d'eau. Le domaine des prévisions quantitatives commence à être exploré.

Les interactions physico-chimiques concernent surtout les carrières en eau communiquant ou non avec le réseau hydrographique et demeurent locales. L'eau de la nappe pénétrant dans la carrière précipite une partie de ses bicarbonates et de ses hydroxydes, gagne de l'oxygène dissous et souvent se dénitrifie du fait de l'activité biologique. Ces modifications s'atténuent rapidement à l'aval par dilution et par réaction sur l'aquifère et n'ont jamais été décelées au-delà de 250m d'une carrière. De même, hors cas de pollution accidentelle dont la carrière n'est que le vecteur, aucune altération de la qualité bactériologique de l'eau souterraine n'a pu être démontrée.

Dans le domaine hydrothermique, si l'impact des carrières sur les eaux superficielles est presque toujours négligeable vis à vis des fluctuations naturelles de la température, il peut être sensible au voisinage de la surface des nappes souterraines, jusqu'à 12 à 15°C de 0 à 10m sous le niveau de l'eau : des bulles d'eau, alternativement chaude ou froide selon la saison, sont ainsi injectées dans le sol où l'on peut théoriquement prévoir leur évolution quantitative et spatiale à l'aide de modèles hydrothermiques déduits des modèles hydrodynamiques. Pratiquement celle-ci ne semble jamais avoir été décelée au-delà de 250m.

Dans le domaine hydrobiologique enfin, les méfaits des exploitations en lit mineur ou des rejets de certaines carrières sont bien connus tant par leurs causes (impact hydromécanique) que par leurs effets sur les eaux superficielles :

- diminution de la biomasse en poids et de la variété taxinomique des invertébrés,
- disparition des frayères,
- diminution voire disparition des espèces "nobles" (poissons, invertébrés,...),
- dégradation générale de la qualité piscicole des cours d'eau.

Cet impact négatif a contribué à l'élaboration de la réglementation particulière à ces carrières et à la tendance à interdire les extractions en lit mineur.

Vis à vis des eaux souterraines, les carrières semblent ne modifier que tout à fait localement la biologie des nappes à l'aval.

Inversement, l'eau de la nappe peut influencer significativement sur l'évolution biologique de la carrière en eau : un excès d'apport d'azote conjointement à un apport de phosphore peut conduire à l'eutrophisation.

Le colmatage est lié de façon quasi inéluctable à l'exploitation des carrières.

Dans les cours d'eau, il résulte de l'action hydromécanique des exploitations en lit mineur. Dans les carrières en eau, il peut résulter du mode d'exploitation, de l'évolution des berges, des processus hydrochimiques ou hydrobiologiques. Il se localise plutôt sur le fond et les berges aval, serait moins perméable côté gravière que côté substrat, et il semblerait qu'il évolue peu avec le temps. Sa contribution comme filtre physico-chimique est encore mal cernée. Sous son aspect hydrodynamique, il peut être modélisé selon diverses méthodologies.

Le vieillissement des carrières, évolution naturelle ou non après l'exploitation et la remise en état, demeure une notion imprécise qui implique la diminution éventuelle des échanges avec la nappe le cas échéant, des modifications plus ou moins prévisibles, physico-chimiques voire biologiques dont la plus spectaculaire est la crise liée à l'eutrophisation.

Quelques recommandations générales sont formulées tendant à faciliter l'insertion des carrières dans leur environnement à plus ou moins long terme.

SOMMAIRE

1 - INTRODUCTION - GENERALITES.....	1
2 - LES DIFFERENTS TYPES D'EXPLOITATION ET LEUR EVOLUTION.....	5
2.1 - Exploitations en eau.....	5
2.2 - Exploitations hors d'eau.....	6
3 - LES DOMAINES D'INTERACTION ET LEURS IMPLICATIONS.	8
3.1 - Domaine hydrodynamique.....	8
3.2 - Domaine hydromécanique.....	13
3.3 - Domaine physico-chimique.....	19
3.4 - Domaine hydrothermique.....	25
3.5 - Domaine hydrobiologique.....	35
4 - COLMATAGE ET VIEILLISSEMENT.....	40
4.1 - Le colmatage.....	40
4.2 - Le vieillissement.....	54
4.3 - Conclusion.....	58
5 - RECOMMANDATIONS ET AXES DE RECHERCHE.....	59
6 - CONCLUSIONS.....	60

LISTE DES FIGURES

- 1 - Installation de seuils sur le Var - Influence sur la nappe alluviale à l'amont
- 2 - Influence du colmatage des carrières
- 3 - Evolution de la ligne d'eau de la Dordogne d'après GUILLIN et LIVET (18)
- 4 - Bilan de la politique de limitation des extractions de matériaux dans les cours d'eau domaniaux au 1er janvier 1986
- 5 - Variations de l'alcalinité, de la dureté calcique et de la teneur en oxygène des eaux de deux gravières et la nappe alluviale rhénane, d'après BRGM (376)
- 6 - Variations de la teneur en nitrates dans des gravières et la nappe associée d'après BRGM (376)
- 7 - Variations annuelles de la température à différentes profondeurs à la verticale d'un point donné d'un aquifère
- 8 - Cycle thermique d'un lac de région tempérée
- 9 - a) Temps de percée thermique (t_{th}) en fonction de V (vitesse de Darcy) et de l (distance gravière-point de l'aquifère) (C_s et C_w constantes)
- 9 - b) Amortissement de l'amplitude du pic de température de la nappe en fonction de l'accroissement de la distance à la gravière pour différents types de sols
- 10 - Amplitude des variations thermiques observées dans deux gravières profondes d'Alsace
- 11 - Solubilité dans l'eau de O_2 , CO_2 et H_2 sous la pression atmosphérique normale en fonction de la température
- 12 - La description du phénomène de colmatage
- 13 - Différents types de dépôts en fonction du rapport des diamètres des pores et des particules
- 14 - Probabilité de rétention en fonction de la taille des particules
- 15 - Classement sédimentométrique des fines

- 16 - Evolution de la perméabilité dans un sédiment colmatant
- 17 - Zones de colmatage et zones d'échanges nappe-gravière
- 18 - Composition chimique et minéralogique de boues de fond de gravières en Alsace
- 19 - Influence du pH sur la rétention de certains métaux lourds
- 20 - Distribution des métaux par rapport aux diverses phases de différents sédiments de rivière
- 21 - Schéma des phases d'eutrophisation en milieu lentique

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1

Effets des gravières sur le comportement hydrodynamique des nappes d'eau souterraines (52)

ANNEXE 2

Impact des extractions de granulats en rivière sur la morphologie des lits
Extraits rapport 84 SGN 049 EAU (326)

ANNEXE 3

Incidences des extractions de granulats alluvionnaires dans le lit mineur des cours d'eau. Résumé étude L. TROLEZ (354)

ANNEXE 4

Carrières et pollution des eaux de surface (102)

ANNEXE 5

Illustrations de l'impact hydrobiologique sur les cours d'eau (149)

ANNEXE 6

Evolution des teneurs en nitrates des lacs de gravières. Effets sur les eaux souterraines dans le département de la Haute-Garonne
Extrait du DEA de B. DONVILLE (356)

ANNEXE 7

L'eutrophisation des lacs - Causes et conséquences (65)

ANNEXE 8

Réponses aux préoccupations courantes en matière d'interactions eaux-carrières

1 - INTRODUCTION

Les besoins en granulats de la construction et des travaux publics sont couverts à partir de roches dures mais surtout à partir de matériaux alluvionnaires, exploitées en carrières. Au sens du Code minier "une carrière est un gîte d'une substance minérale ou fossile existant à la surface de la terre. Les substances dont les gîtes constituent les carrières sont principalement les sables et graviers (ou granulats), les pierres, ardoises et autres matériaux de construction et de viabilité, les calcaires pour la fabrication de la chaux, du ciment et des liants hydrauliques, les argiles et autres utilisés dans l'industrie céramique, les amendements, la barytine, la tourbe, la silice". Elles aboutissent à des excavations qui peuvent interférer avec les eaux superficielles ou souterraines.

Or, "la survie de l'humanité dépend pour une part des ressources constituées par les eaux de surface mais encore bien davantage des réserves d'eau emmagasinées dans les nappes souterraines. Le reproche est souvent fait aux carriers, et particulièrement aux exploitants de sables et graviers, de porter gravement atteinte à la pureté de ces réserves..."(63)*. Malgré un certain nombre d'études réalisées dans le domaine des interactions eaux/carrières, les informations dont disposent les partenaires défendant les intérêts liés à l'exploitation des ressources en eau et des granulats - toutes deux indispensables - sont parfois divergentes et souvent incomplètes. Il importait donc d'informer les différents intervenants (Services et Administrations, DDA, DDE, Agences de bassin, SRAE, DRIR, industriels concernés, etc...) de l'état des connaissances en ce domaine grâce à la réalisation d'une synthèse bibliographique et d'un bilan technique.

Ce travail, financé principalement par le Comité de gestion de la taxe parafiscale sur les granulats, par le Bureau de recherches géologiques et minières sur crédits de Service public et par le ministère de l'Environnement, a été confié au Bureau de recherches géologiques et minières (Service géologique régional Provence-Alpes-Côte d'Azur).

Il a consisté d'abord en une recherche bibliographique, aussi exhaustive que possible, des études et travaux relatifs aux interactions entre l'exploitation des granulats (roches alluvionnaires et roches dures) et les eaux souterraines et superficielles (nappes souterraines, rivières). Près de 400 références ont été rassemblées et saisies sur support informatique à l'aide d'un logiciel spécifique de gestion bibliographique (MIKRODOC). Elles sont présentées dans un livret joint.

(*) Les numéros entre parenthèses renvoient au livret bibliographique.

Un résumé a été saisi pour environ 15% des références et les plus intéressantes a priori, environ 10%, ont fait l'objet d'une analyse détaillée.

La banque de données ainsi constituée est disponible au Bureau de recherches géologiques et minières. Elle peut être révisée, complétée périodiquement et rendue accessible par divers moyens (éditions papier, disquettes, intégration à des banques préexistantes, etc). Elle est présentée en annexe selon un classement chronologique et alphabétique, complétée par l'esquisse d'une hiérarchisation thématique des références en fonction de leur intérêt scientifique avéré ou présumé.

Le présent rapport expose le bilan des connaissances tel qu'il apparait à l'examen des ouvrages que nous avons analysés ou consultés. Il prend en compte les résultats de l'étude EG 116 "Impact qualitatif des carrières en eau sur les nappes souterraines" ainsi que ceux exposés lors de la journée nationale des producteurs de granulats du 4 décembre 1986 "L'eau continentale et les carrières".

Après quelques généralités, on examine successivement :

- les différents types d'exploitations et leur évolution selon qu'elles sont ensuite remises en état, comblées, ou valorisées en tant que cavités sèches ou noyées;
- pour chaque domaine d'interaction, l'état des connaissances et ses implications par type d'exploitation;
- deux paramètres importants : le colmatage et le temps qui interviennent dans le vieillissement des carrières et gravières;
- les recommandations que l'on peut dégager en vue d'améliorer une situation existante ou d'optimiser l'exploitation conjointe des ressources en matériaux et des ressources aquifères;
- les axes de recherche qu'il serait souhaitable de développer.

•
•••
•

Les influences réciproques eaux/carrières peuvent se manifester dans des domaines très divers :

- Hydrodynamique : modification des écoulements de l'eau, de la piézométrie des nappes, de la productivité des captages;

- Hydromécanique : transport de matière en suspension, modification des berges et des fonds par érosion et sédimentation, ou réduction des échanges par colmatage;
- Physico-chimique : modifications de la qualité chimique ou bactériologique des eaux, avec ou sans intervention de polluants;
- Hydrothermique : variations de température engendrées par les carrières dans les nappes souterraines ou des rivières engendrées par les gravières;
- Hydrobiologique : modification des équilibres biologiques dans les rivières ou dans les carrières, eutrophisation notamment.

Ces diverses influences réagissent entre elles par l'intermédiaire de paramètres communs : par exemple la turbidité engendrée par l'exploitation peut entraîner, en lit mineur, une modification des populations ichthyaires (poissons) à l'aval ou, dans le cas d'une ballastière, le colmatage de l'excavation et de l'aquifère à l'aval hydraulique, créant ainsi un obstacle à l'écoulement de la nappe et, par suite, une modification de son niveau.

Les conséquences qui en résultent seront plus ou moins étendues et durables en fonction des types et modes d'exploitation et de l'évolution ultérieure des excavations.

L'éventail des cas possibles est donc largement ouvert et la plupart des auteurs s'accordent à le souligner. Rares sont les études qui ont tenté de l'aborder dans sa globalité (35-64).

Cinq remarques nous paraissent s'imposer à ce stade. Tout d'abord, la probabilité d'interactions sera d'autant plus grande que le domaine des eaux et celui des carrières se recouperont, s'interpénétreront largement; quant à l'intensité des interactions, elle sera fonction de celle des échanges possibles.

Par ailleurs, on constate que le colmatage apparaît comme l'un des paramètres clef des échanges qui intervient dans tous les domaines d'interaction. Il est cité dans la quasi-totalité des travaux.

Le temps, autre paramètre important des interactions eaux/carrières, voit sa prise en compte se limiter généralement au court et au moyen terme (10 à 15 ans), faute de recul suffisant pour opérer des comparaisons valables entre un état initial et l'état actuel.

Enfin, si l'impact des carrières sur les eaux demeure le souci majeur pour les raisons qui ont été exposées plus haut, la valorisation des excavations après exploitation amène à examiner également l'influence réciproque des eaux sur les carrières. Par exemple, il apparaît que des eaux initialement riches en nutriments (*)-nitrates, phosphates, matière organique favoriseront la dégradation des eaux des ballastières par eutrophisation (**), accélérant ainsi leur vieillissement.

(*) Substances nécessaires au développement des organismes vivants

(**) Cf. 4.5 ci-après

2 - DES DIFFERENTS TYPES D'EXPLOITATION ET DE LEUR EVOLUTION

On a tenté de les hiérarchiser en fonction de leurs rapports avec les eaux souterraines ou superficielles. Deux grandes catégories sont à distinguer:

- les carrières en eau
- les carrières hors d'eau

2.1 - Exploitations en eau

Ce sont les extractions en lit mineur et en lit majeur en communication avec le cours d'eau, les carrières fermées descendant sous le niveau de la nappe phréatique que ce soit en matériau alluvionnaire ou en roche dure.

- Les extractions en lit mineur des cours d'eau se trouvent en contact plus ou moins permanent avec les eaux courantes superficielles et voient leur géométrie constamment remaniée, notamment à l'occasion des crues. L'importance de ces remaniements peut donner l'illusion d'un renouvellement des réserves alors qu'il ne s'agit le plus souvent, à l'échelle du temps humain, que d'un déplacement des stocks.

A l'issue de la période d'exploitation, elles retournent à leur évolution naturelle qui peut être très lente.

- Les carrières ouvertes sont parfois en communication directe (permanente ou temporaire) avec le cours d'eau et en contact par le fond et les berges avec la nappe souterraine constituée dans la zone saturée des terrains. Après exploitation, elles sont soit remises en état et laissées à leur évolution naturelle, soit réaménagées en plans d'eau (loisirs, pêche, etc). Pendant et après l'exploitation, la communication avec la rivière peut théoriquement être aménagée de manière à modifier les interactions rivière/carrière.

- Les carrières fermées en eau ne sont en contact qu'avec la nappe. Elles peuvent être exploitées sous eau ou à sec par rabattement de nappe. C'est toujours le cas des carrières de roche dure en eau. Après exploitation, la nappe retrouve son niveau et constitue un plan d'eau qui peut être valorisé comme précédemment si l'excavation n'a pas été comblée à d'autres fins.

Du fait de leur situation topographique basse par rapport à l'environnement, toutes ces excavations sont autant de pièges pour les sédiments fins, les matières en suspension ou dissoutes diverses que transportent rivières et eaux de ruissellement et qui viendront s'y déposer. Il en résulte que l'évolution naturelle des carrières en eau tend vers un colmatage progressif.

Les apports peuvent contenir des polluants. Par ailleurs, lorsqu'elles ne bénéficient pas d'une surveillance particulière, les excavations résiduelles se trouvent à la merci de déversements et dépôts non contrôlés, y compris de substances nocives ou simplement indésirables et constituent des sources de pollution potentielle pour les eaux qui en dépendent.

Il est clair que, plus particulièrement dans les zones sensibles (*), des mesures de protection sont indispensables qui sont d'ailleurs prévues avec plus ou moins de rigueur ou de précision selon les pays, par la législation (151-270).

2.2 - Exploitations hors d'eau

Il s'agit des carrières en matériau alluvionnaire ou en roche dure qui n'atteignent pas la zone saturée. Leurs relations avec les eaux se bornent à l'infiltration vers la nappe sous-jacente des eaux de ruissellement ou de pluie qui leur parviennent et contre l'excès desquelles il convient parfois de les protéger**. Accidentellement et faute de données de calage suffisamment précises, la carrière peut se voir envahie par la nappe en période de hautes eaux. Après exploitation, leur évolution naturelle tend également vers un colmatage plus ou moins progressif et important. Elles demeurent des sources de pollution potentielles au même titre que les exploitations en eau, mais à un degré moindre vis à vis de certaines pollutions en raison du rôle de filtre que peut jouer la zone non saturée qui les sépare de la nappe (370).

On rappelle que les modifications du Code minier depuis 1970, ainsi qu'un certain nombre de textes de loi parus cette dernière décennie, font obligation aux exploitants de carrières de procéder à une remise en état du site avec pour objectif primordial le respect de l'environnement. "Les caractéristiques essentielles du milieu environnant, ... le débit ou la qualité des eaux de toute nature..." (articles 84 et 107 du Code minier modifiés par la loi 77.620).

(*) Nappes importantes pour l'alimentation en eau, voisinage des agglomérations urbaines et industrielles, de certaines activités agricoles, etc.

(**) Fossé de collecte des eaux de ruissellement, merlon d'endiguement contre les crues par exemple.

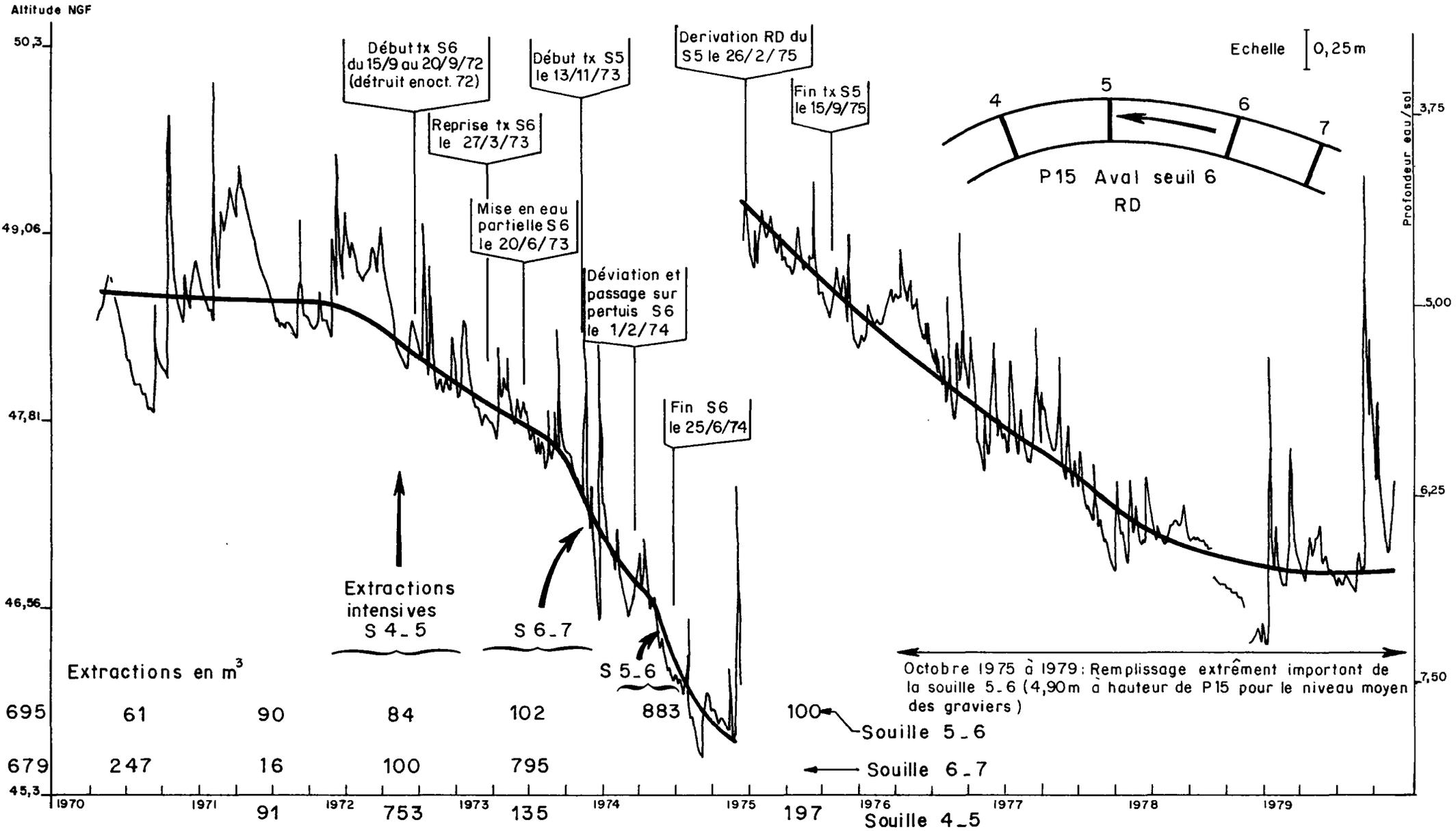


FIG. 1
 INSTALLATION DE SEUILS SUR LE VAR. INFLUENCE SUR LA NAPPE ALLUVIALE
 A L'AMONT (D'APRES BRGM ET DDE 06)

3 - LES DOMAINES D'INTERACTION ET LEURS IMPLICATIONS

3.1 - Domaine hydrodynamique

Seules les carrières en eau interfèrent de façon sensible avec le régime hydrodynamique des cours d'eau et des nappes souterraines. Les carrières en lit mineur influent sur les deux, les autres n'intéressent de façon sensible que l'hydrodynamique des nappes souterraines.

3.1.1 - Carrières en lit mineur

L'extraction de matériaux du lit des cours d'eau entraîne un remodelage de leur profil en long et en travers (Cf. 3.2) qui modifie l'écoulement des eaux (326-347-354) : augmentation locale du courant, création ou développement de zones de ralentissement. Elle se traduit globalement par un abaissement de la ligne d'eau et du niveau de la nappe alluviale associée avec des conséquences généralement dommageables pour les captages riverains (diminution de la productivité et nécessité de modifier, parfois dans leur principe même, les systèmes d'exhaure (*)) ou pour les zones humides riveraines comme en bordure de Loire (354).

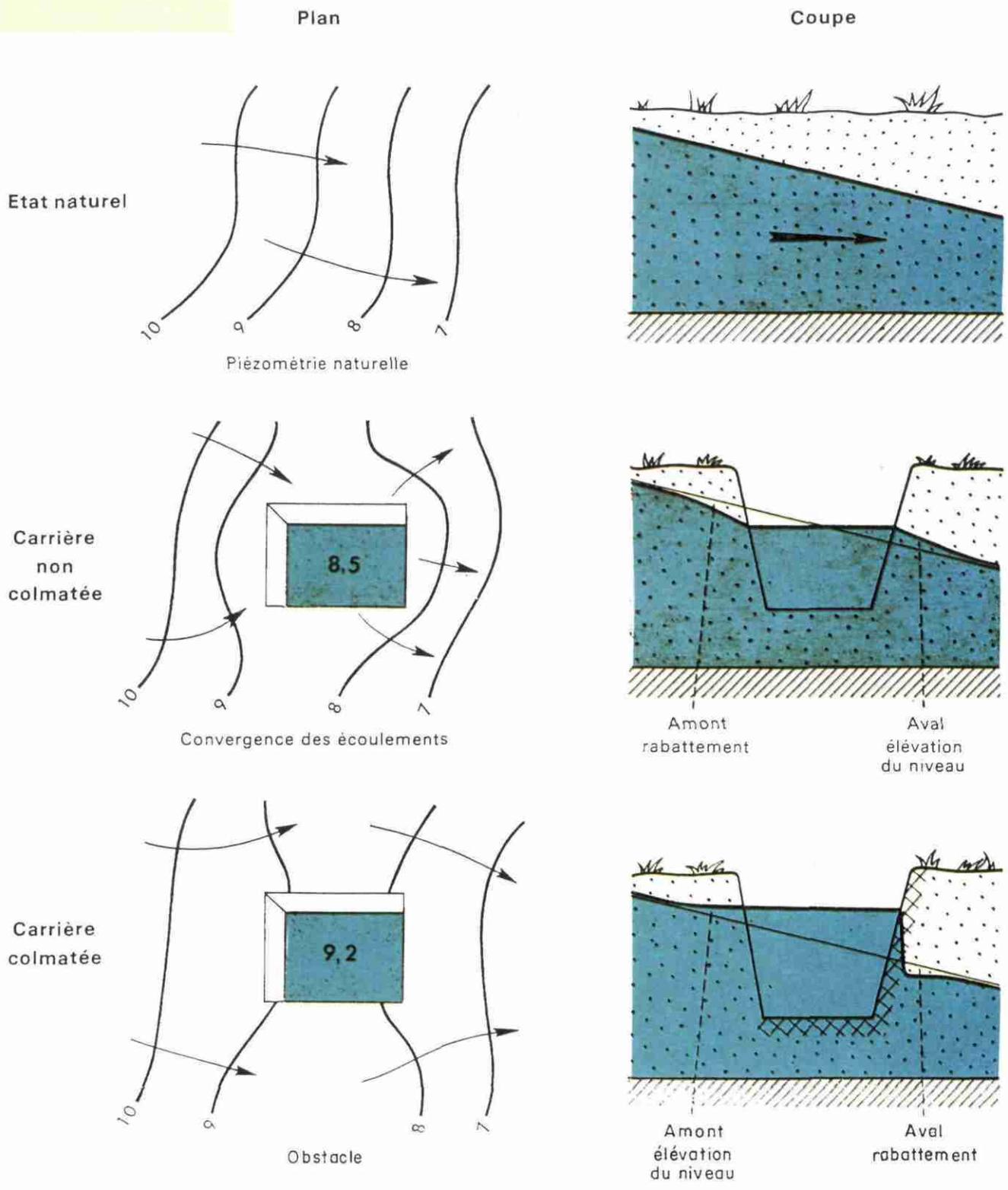
La mise en place de seuils destinés à stabiliser le lit et la ligne d'eau ne suffit pas nécessairement à maintenir le niveau de la nappe en raison notamment du colmatage des souilles. Ainsi dans la basse vallée du Var, l'installation d'un seuil induit dans un premier temps une remontée de la nappe à l'amont, puis la baisse observée auparavant reprend (Cf. Fig. 1) car le colmatage a diminué l'alimentation de la nappe par la rivière (**).

On notera que la distinction entre la part d'abaissement piézométrique, imputable aux carrières ou à d'autres causes telles que les réductions d'alimentation (optimisation des irrigations par exemple) ou la croissance de prélèvements d'eau souterraine, est parfois délicate à établir. La réponse précise à cette question nécessite en fait une étude hydrogéologique qu'il serait souvent souhaitable de pousser jusqu'à la mise en oeuvre d'un modèle de simulation.

(*) Remplacement des pompes aspirantes par des pompes refoulantes lorsque le niveau descend au-delà de 6 à 7m sous le sol.

(**) Récemment (1985), les travaux de génie civil pour l'installation de microcentrales sur les seuils semblent responsables, par destruction locale de la couche colmatée, d'une remontée de la nappe.

descriptif sommaire
 effet colmatage
 Fig 2



d'après P. PEAUDCERF (1975)

FIG. 2
 EFFETS DU COLMATAGE DE LA CARRIERE

3.1.2 - Autres carrières en eau

Les études portent presque uniquement sur les carrières en milieux alluvionnaires, les plus sensibles en raison de leurs interférences avec l'alimentation en eau potable des moyennes et grandes agglomérations.

. Paramètres des interactions

L'ouverture d'une excavation dans un milieu aquifère affecte l'écoulement de nappe car elle modifie localement les paramètres qui le régissent, à savoir les limites de l'aquifère (nature, géométrie), les conditions qui s'y attachent (nature et distribution des échanges), ses caractéristiques hydrodynamiques (distribution des perméabilités et des coefficients d'emmagasinement) et, finalement la piézométrie qui en résulte.

L'importance de l'impact sera fonction de la géométrie des excavations, des modes d'exploitation et de réaménagement et, à terme, de leur âge.

Tous ces paramètres et leurs modes d'intervention sont décrits en détail dans la littérature, à laquelle nous renvoyons le lecteur (52 qui est partiellement repris en annexe 1, 63-64-79-351-359).

. Effets des carrières en eau sur les nappes

Dès que l'excavation touche la nappe, s'instaure un régime d'échanges entre celle-ci et le plan d'eau, régime dont l'intensité est le facteur clef de la plupart des interactions entre la carrière et son environnement.

Les principaux effets qui en résultent se rattachent à l'un des schémas de la figure 2 qui concerne les carrières fermées et souligne l'importance du facteur colmatage :

1 - l'excavation n'est pas colmatée et court-circuite une partie des écoulements (*): il y a drainage à l'amont avec abaissement du niveau piézométrique initial, et alimentation à l'aval avec montée du niveau piézométrique, le niveau dans la carrière s'établissant à une cote intermédiaire entre les niveaux initiaux amont et aval. Dans certaines configurations, il y a risque de débordement à l'aval.

2 - l'excavation est colmatée et fait obstacle à une partie des écoulements (***) qui contournent la carrière laquelle, alimentée à l'amont et peu vidangée à l'aval (***), voit son niveau monter au-dessus des niveaux initiaux amont et aval jusqu'à une position d'équilibre. Le risque de débordement à l'aval est accru par rapport au cas précédent. Dans certaines configurations, il peut également y avoir risque de débordement à l'amont.

(*) Il y aura augmentation locale et importante de la conductivité hydraulique de l'aquifère ainsi que du coefficient d'emmagasinement.

(**) Il y a encore augmentation du coefficient d'emmagasinement mais diminution de la conductivité hydraulique.

(***) Nous n'avons pas rencontré d'exemple où le colmatage amont soit naturellement supérieur au colmatage aval ce qui produirait des effets inverses du schéma n° 1.

Cette modification locale des écoulements peut avoir des conséquences sur la productivité des captages (63-79) qui verront leurs performances dégradées ou au contraire améliorées suivant les cas.

L'exploitation à sec par pompage et rabattement de nappe ainsi que, dans une moindre mesure, les gravières ouvertes sur le cours d'eau voisin (52-63) auront un impact supplémentaire évident sur les écoulements (des puits, voire des captages pouvant être asséchés).

. Moyens d'étude

L'utilisation des modèles de simulation permet de prévoir, avec une précision fonction de celle des données qu'ils prennent en compte, la valeur et l'aire d'influence de ces actions de la gravière sur la nappe. Ils permettent en particulier de choisir la forme et la disposition des carrières pour optimiser leur impact en fonction des contraintes : ainsi, s'il est recommandé de disposer de la plus grande dimension des gravières perpendiculairement au sens d'écoulement des nappes, pour éviter les risques de débordement, la disposition inverse (*) est avantageuse pour limiter la baisse de productivité d'un captage proche d'une ballastière colmatée (79).

Les modèles permettent également de prendre en compte les fluctuations, naturelles ou non, de la nappe qui déterminent celles du niveau d'eau dans la gravière. Les observations récentes (359-372) montrent qu'elles sont du même ordre de grandeur avec un déphasage variable en fonction des conditions de terrain (366). Ce déphasage est dû à l'effet capacitif propre à la masse d'eau contenue par la gravière (372).

Enfin, ils permettent d'estimer l'ordre de grandeur des débits d'échange entre les plans d'eau et les nappes souterraines. Par contre, ils ne peuvent pas les localiser avec précision, faute de données suffisamment précises dont l'acquisition pose des problèmes techniques difficiles. On a alors recours à d'autres moyens dans certains cas favorables : thermométrie, thermographie aérienne, observations biologiques (359-360-361-362-372), techniques qui demeurent actuellement au stade expérimental.

Des observations récentes (64-372) précisent le schéma classique débits entrant à l'amont et sortants à l'aval dans le cas des gravières profondes (25 à 35m) de la plaine rhénane : l'essentiel des échanges se produit entre 0 et 10m de profondeur, au-delà, le colmatage du fond et des berges réduit la participation des zones profondes aux échanges.

(*) Gravière parallèle à l'écoulement

. Ordre de grandeur des interactions hydrodynamiques

L'impact piézométrique des gravières sur la nappe, calculé ou observé, peut aller de quelques décimètres à plusieurs mètres (372-310-359), il est sensible sur quelques dizaines à quelques centaines de mètres autour de la gravière.

Les hypothèses simulées, lors d'une étude à caractère méthodologique dans la plaine de la Garonne, ont montré que la productivité des captages pouvait être affectée jusqu'à près de 50% en plus ou en moins (79). Il ne s'agit là bien entendu que d'une indication valable dans le contexte choisi.

Les débits d'échange estimés dans le cas de deux grands aménagements sont de l'ordre de 100 l/s pour les gravières de la Wantzenau qui couvrent une trentaine d'hectares dans la plaine du Rhin (372) et de 1500 à 2000 l/s pour une gravière d'une quarantaine d'hectares en projet dans la plaine du Var (*) (hypothèse de colmatage nul).

. Conclusion

Les observations que P. PEAUDECERF formulait en conclusion de son article dans "La Houille blanche" (52) demeurent valables :

" En conclusion, nous pouvons souligner le nombre et l'importance des paramètres qui président aux relations nappes-rivières, ce qui multiplie les cas d'espèces.

Il faut donc se garder de toute affirmation à prétention générale sur l'effet des gravières : elles ne sont en général ni bénéfiques - et à favoriser - ni préjudiciables - et à proscrire. Cela dépend des conditions locales aussi bien que de la configuration donnée aux gravières et de leur position.

Les questions que l'on se pose au sujet de ce voisinage ne peuvent être réglées sans des études cas par cas. Bien que sur certains points essentiels des études méthodologiques seraient très utiles, on dispose de méthodes de mesure et d'interprétation suffisantes pour prévoir, au moins d'une manière approchée, le comportement du système."

à ceci près que le colmatage, l'un des points essentiels auxquels il faisait allusion, commence à être mieux connu (Cf. 5).

(*) Résultat non publié.

3.2 - Domaine hydromécanique

Comme le domaine hydrodynamique, il ne concerne que les carrières en eau (*) et plus précisément le milieu alluvionnaire. L'extraction sous eau et le lavage des alluvions provoque la mise en suspension de fines particules de matière (MES) qui augmentent la turbidité de l'eau de la gravière et des eaux superficielles connexes. On a vu (Cf. 3.1.1) que dans les cours d'eau elle conduit en outre à un remaniement du lit par érosion-sédimentation. Au contraire de la turbidité induite qui cesse avec l'exploitation, le remaniement du lit se poursuit longtemps après, en l'absence d'aménagements destinés à l'enrayer (construction de seuils, protection des berges par enrochements).

3.2.1 - M.E.S. - Turbidité

. Les paramètres qui interviennent sont :

- la teneur en fines (diamètre <0,2mm) du matériau lequel, à tonnage égal, produit d'autant plus de fines qu'elle est importante;
- la méthode d'exploitation; certaines techniques tel l'usage du scrapper paraissent libérer plus de fines que d'autres à l'extraction (347) et les installations de lavage qui suivent, fréquemment sous-dimensionnées, mal entretenues, et/ou non conformes à la réglementation, rejettent au milieu naturel des eaux usées à teneur en M.E.S. de 10 à 200 fois supérieures à celle de l'eau brute initiale (243);
- le régime d'écoulement des eaux à l'aval: les perturbations s'aggraveront à l'étiage;
- la turbidité qui croît avec la teneur en M.E.S.

. Les effets

Le dépôt des fines sur les berges et les fonds, ou leur piégeage dans le matériau aquifère contribuent au colmatage (Cf. 5) et peuvent dans certains cas gêner le développement de la faune et de la flore (354-347-149-276).

La turbidité agit dans le même sens par limitation du flux lumineux en profondeur. "Les radiations bleues sont les plus affectées" (149), d'où réduction de l'activité photosynthétique et, par suite, de l'oxygénation.

(*) A l'exception des carrières à sec qui lavent leur matériau et rejettent les effluents dans le milieu naturel.

. Moyens d'étude et prévision

On ne peut actuellement que se borner à des constats quantitatifs (mesure des divers paramètres physiques et biologiques, influence sur les macroinvertébrés notamment) et à des prévisions d'ordre qualitatif.

. Intensité et rayon d'action

Avec des charges initiales en M.E.S. dans le cours d'eau de 3 à 23 mg/l (243) et un rejet en contenant 400 à 35.000 mg/l, on a pu observer que la sédimentation des fines était accrue jusqu'à 3 fois à 500m à l'aval du rejet et de 1,3 à 2,5 fois au-delà de 1km, et que la réduction des flux lumineux était encore sensible entre 500 et 3km (149, 347).

4.2.2 - Erosion - transport - sédimentation

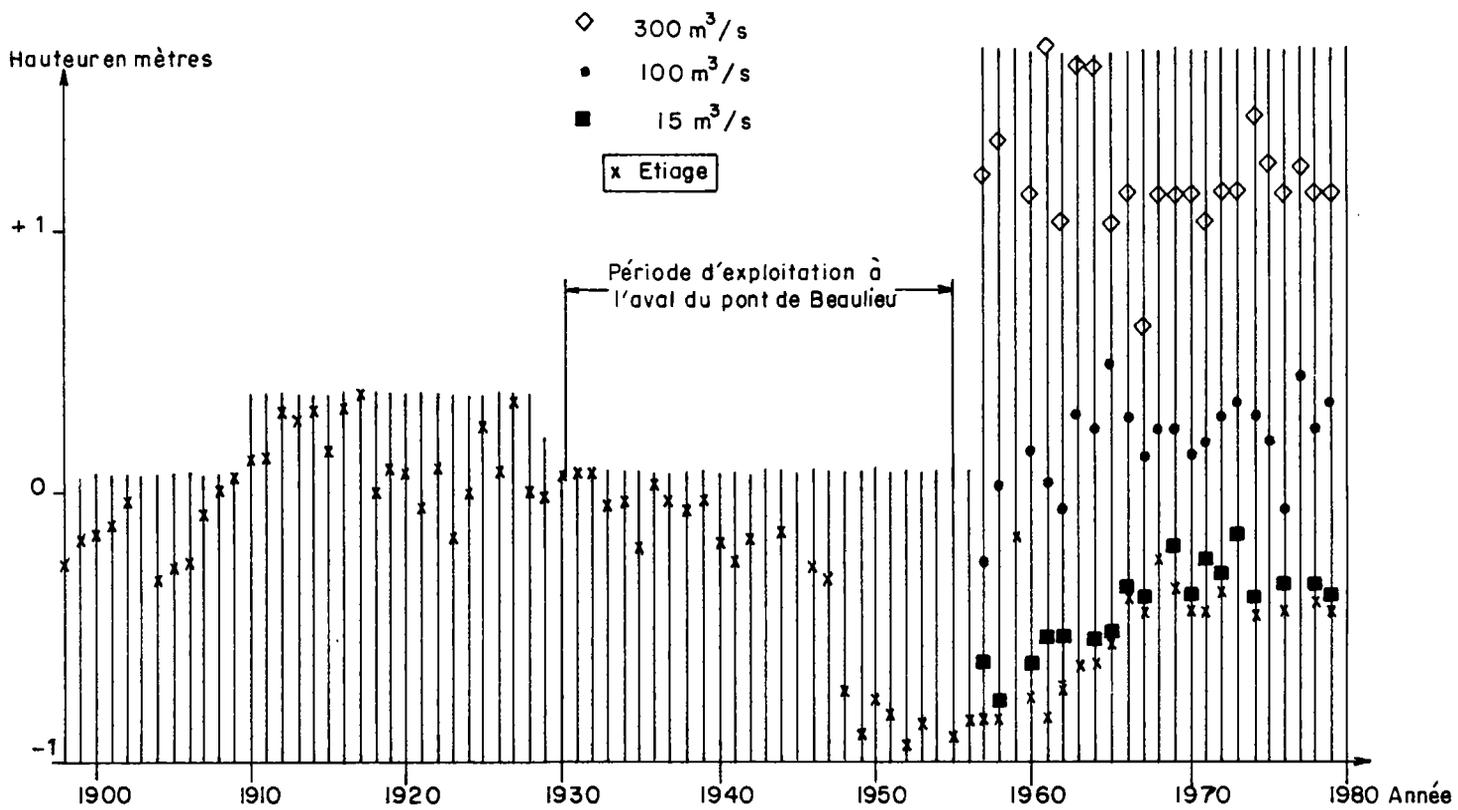
Cette interaction est le seul fait, à l'échelle de temps humain, des exploitations en lit mineur.

. Les paramètres qui la régissent sont le profil initial du lit (longitudinal et transversal), ses caractéristiques mécaniques - mobilité des sédiments, présence de "points durs", le rapport entre les prélèvements et l'apport naturel du cours d'eau, généralement freiné, voire annulé, par les aménagements hydrauliques, le temps enfin : selon le régime du cours d'eau, les remaniements seront plus ou moins rapides et peuvent durer longtemps après la cessation des exploitations (347).

. Effets et conséquences

Le surcreusement local entraîne l'évolution du lit vers un nouvel état d'équilibre avec :

- érosion régressive en amont avec instabilités des berges et des fonds (Cf.Extraits 354-326 en annexe);
- constitution de plans d'eau qui font office de pièges temporaires à sédiments, par exemple Pont Astier sous la Dore (149), "fosse de la Lingostièrre" sur le Var (228) ce qui modifie (149) les caractéristiques hydrobiologiques de la rivière qui voit des peuplements de poissons blancs (cyprinidés) supplanter des populations ichtyaires plus nobles (salmonidés);
- engravement du lit à l'aval (apport de matériaux entraînés par l'accélération du courant) et phénomènes de divagation des chenaux avec érosion des berges (149);



3 - Evolution de la cote des étiages au pont de Beaulieu (1898-1979 et évolution de la ligne d'eau au pont de Beaulieu pour les débits : 15.100 et 300 m³/s

FIG. 3
 EVOLUTION DE LA LIGNE D'EAU DE LA DORDOGNE
 D'APRES GUILLIN ET LIVET

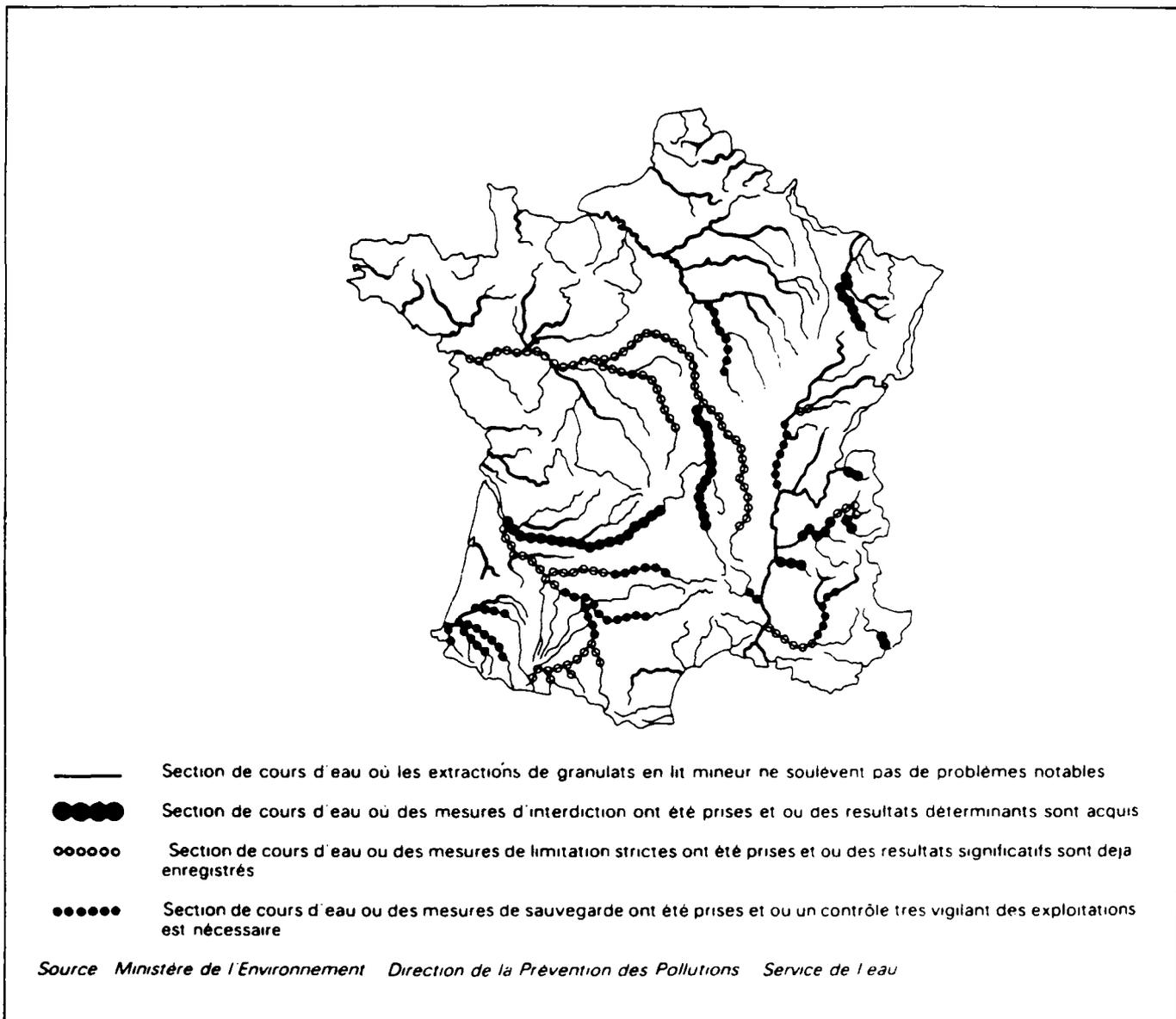


FIG. 4
 BILAN DE LA POLITIQUE DE LIMITATION
 DES EXTRACTIONS DE MATERIAUX
 DANS LES COURS D'EAU DOMANIAUX AU 1ER JANVIER 1986

- abaissement de la ligne d'eau et du niveau de la nappe associée (354-239-149-276-228).

Il en résulte une dégradation de la qualité des cours d'eau au plan floristique et faunistique et des biocénoses associées, la ripisylve notamment (354-239-276-48-149), et une modification des écoulements qui peut être bénéfique (limitation des crues) ou nuisible: gains de terres aménageables par assèchement et mise hors de portée des crues, ou pertes par érosion des berges, déchaussement ou fragilisation de digues et ouvrages d'art (354-233).

L'ensemble de ces impacts est globalement très négatif et a conduit les services de l'Etat à imposer le ralentissement, voire l'arrêt progressif, des extractions en lit mineur (circulaire interministérielle du 22 mai 1980).

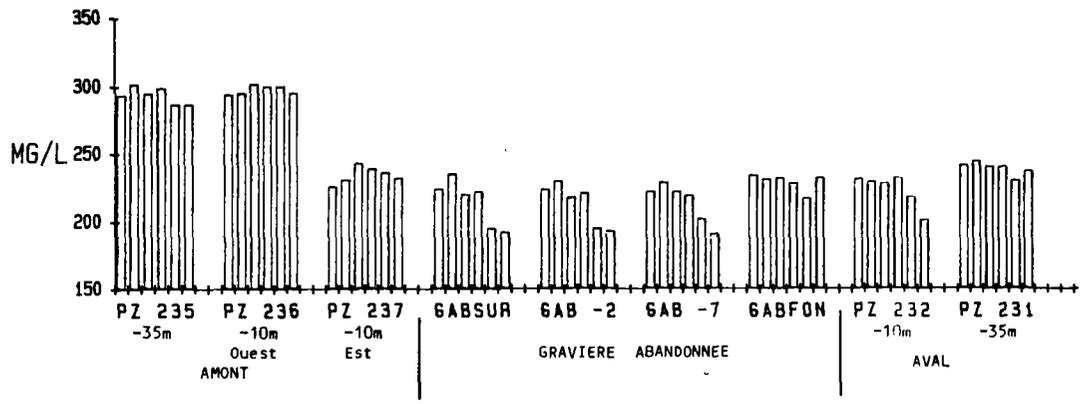
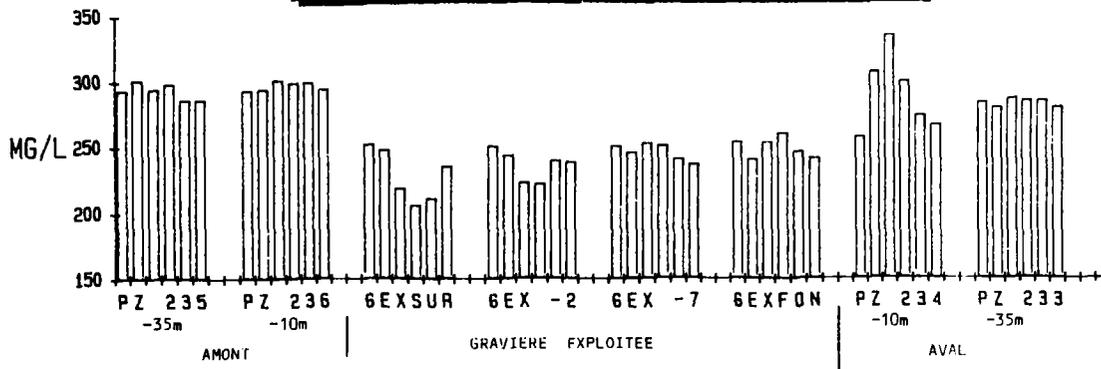
. Moyens d'étude et de prévision

Sur la base des données morphodynamiques du lit et des sédiments, des modèles semi-empiriques (326-209) permettent de prévoir les conséquences d'extractions en lit mineur, la nature et la position des aménagements propres à en anihiler ou favoriser les effets (354-233-326). On notera que ces modèles ne prennent pas en compte le facteur temps, alors que les phénomènes qu'ils concernent peuvent se prolonger sur plusieurs années ou dizaines d'années. Sauf lorsque l'on dispose d'historiques (Cf. 233 par exemple et Fig. 3), l'observation d'une situation donnée ne permet pas en général de se situer par rapport au transitoire résultant des extractions. Dans ces conditions, l'application de la circulaire précitée requerrera la plus grande circonspection quant à l'évaluation des stocks de matériaux réservés aux usages nobles et de leur renouvellement. De plus, il faut prévoir que l'arrêt des exploitations dans un secteur donné ne stoppera pas immédiatement l'évolution morphodynamique du lit qu'elles ont engendré.

3.2.3 - Conclusion

Les interactions des carrières avec les eaux dans le domaine hydromécanique concernent surtout les carrières en eau. Elles sont particulièrement sensibles pour les exploitations en lit mineur. Si la prévision de leurs effets relève encore d'un certain empirisme au plan quantitatif, leurs conséquences sont suffisamment graves, néfastes au plan qualitatif pour avoir suscité une réglementation visant au ralentissement, voire à l'arrêt progressif des extractions en lit mineur (Cf. Fig. 4). Mais on peut prévoir que l'évolution morpho-dynamique des lits se poursuivra au-delà de l'arrêt éventuel des exploitations en lit mineur.

EVOLUTION DE L'ALCALINITE (HCO₃⁻) AU SEIN DU SYSTEME
NAPPE AMONT-BALLASTIERE-NAPPE AVAL



EVOLUTION DE LA TENEUR EN OXYGENE DISSOUS AU SEIN DU SYSTEME
NAPPE AMONT-BALLASTIERE-NAPPE AVAL

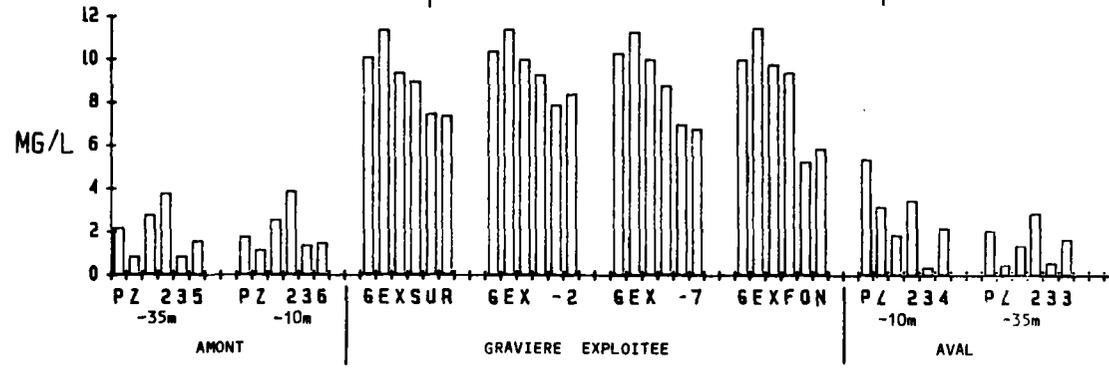
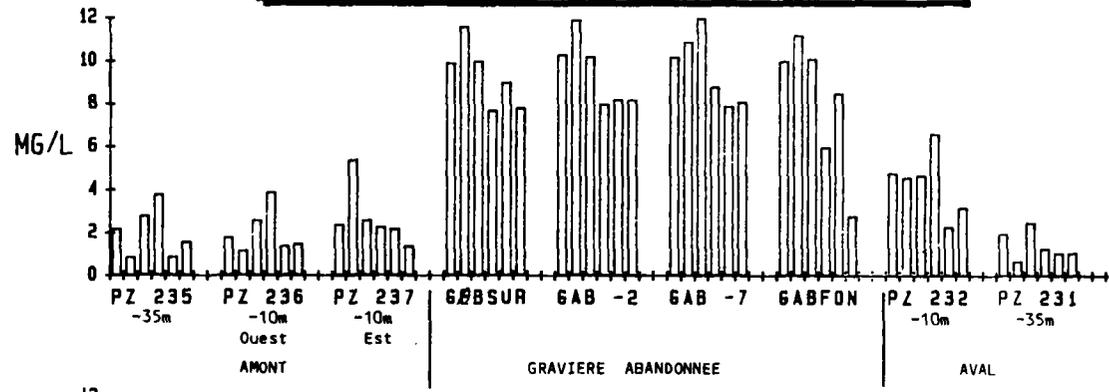


FIG. 5a

VARIATIONS DE L'ALCALINITE ET DE LA TENEUR EN OXYGENE
DANS LES EAUX DES DEUX GRAVIERES ET DE LA NAPPE ALLUVIALE
RHENANE ASSOCIEE (D'APRES BRGM (372))

3.3 - Domaine physico-chimique

On comprend par là la composition chimique des eaux et les paramètres qui s'y attachent tels que pH, potentiel rédox, etc, ainsi que leur composition bactériologique, telles qu'elles sont habituellement abordées sous l'angle de la qualité.

Hormis les problèmes de pollution accidentelle, chronique ou résultant de la malveillance qui seront évoqués en fin de chapitre, seules les exploitations en eau hors du lit mineur sont concernées. En effet, les carrières en lit mineur n'ont qu'une influence négligeable sur la qualité chimique et bactériologique des cours d'eau (149).

3.3.1 - Interactions chimiques

A la traversée d'un plan d'eau, la nappe subit des modifications qui ont surtout été étudiées dans le cas des gravières (351-371-372).

. Les paramètres mis en jeu portent sur l'ensemble des éléments majeurs (351), nous n'avons trouvé que peu ou pas de données quant aux éléments traces. Le temps intervient par l'intermédiaire des fluctuations de composition des eaux de la nappe et par l'âge de la gravière.

Enfin, la profondeur du plan d'eau joue un rôle en raison de la stratification chimique et biologique (Cf. 6).

. Effets et mécanismes

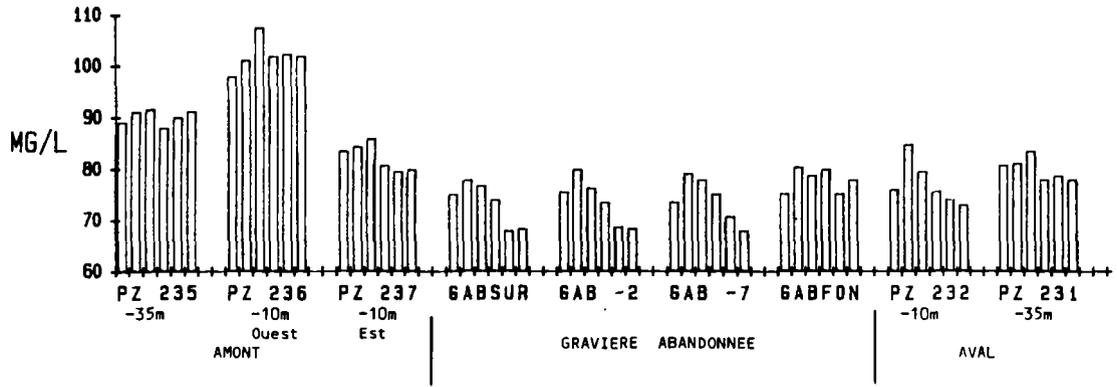
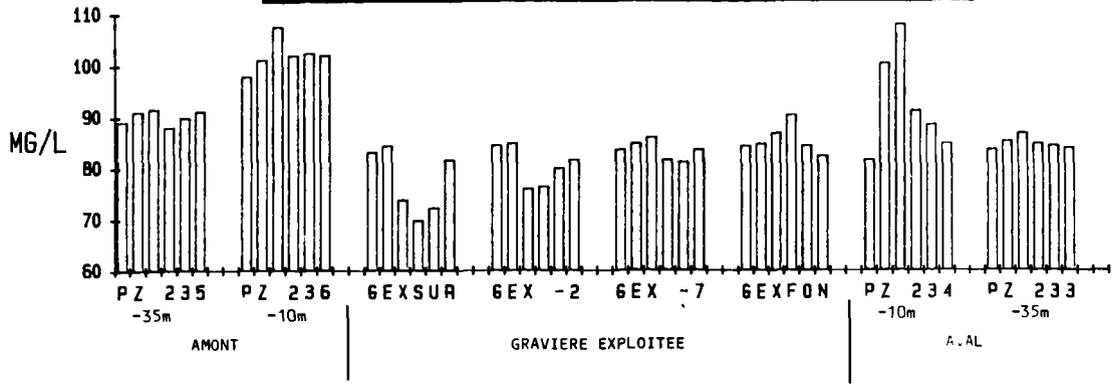
On observe généralement (351-371-372) de la nappe dans la gravière une diminution de la minéralisation totale, de la dureté, de l'alcalinité et du pH qui traduisent la précipitation des bicarbonates et des hydroxydes, de fer et de manganèse notamment, et une augmentation de la teneur en oxygène dissous. Ces modifications persistent à l'aval mais s'atténuent assez rapidement (Cf. Fig. 4), soit par dilution, soit également, lorsque cela est possible, par réaction avec l'aquifère qui impose toujours très rapidement son faciès chimique aux eaux qui l'imprègnent.

Les teneurs en nitrates diminuent également, accompagnées ou non d'une augmentation de l'ammonium et de l'azote et du carbone organique, en raison de l'activité biologique, comme le montre la figure 5, comparaison entre une gravière en exploitation et une gravière abandonnée depuis 15 ans où l'activité biologique est plus intense. Dans ce cas, les valeurs amont ne se retrouvent pas à l'aval : l'azote a été piégé dans la gravière sous forme organique (*), ou se retrouve dans la nappe sous forme ammoniacale (cf. Fig. 6).

Les sulfates et phosphates peuvent également voir baisser leur teneur dans la gravière sous l'action de bactéries sulfato-réductrices ou autres microorganismes.

(*) où il pourra alimenter les phénomènes d'entrophisation (Cf. 6)

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



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

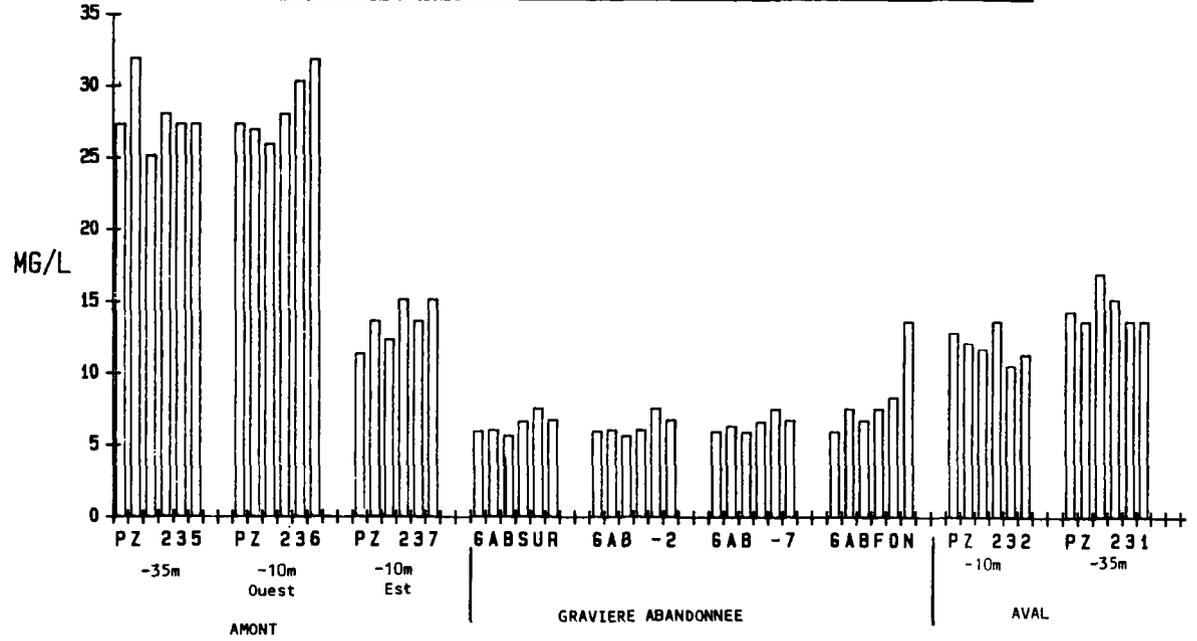
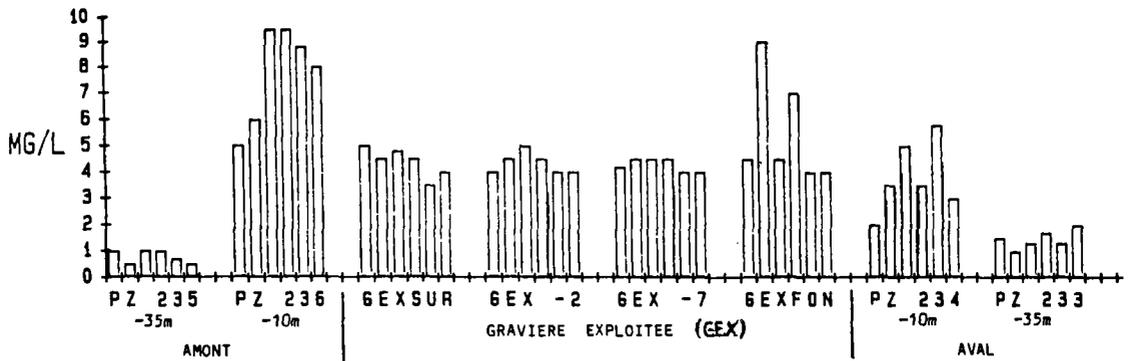
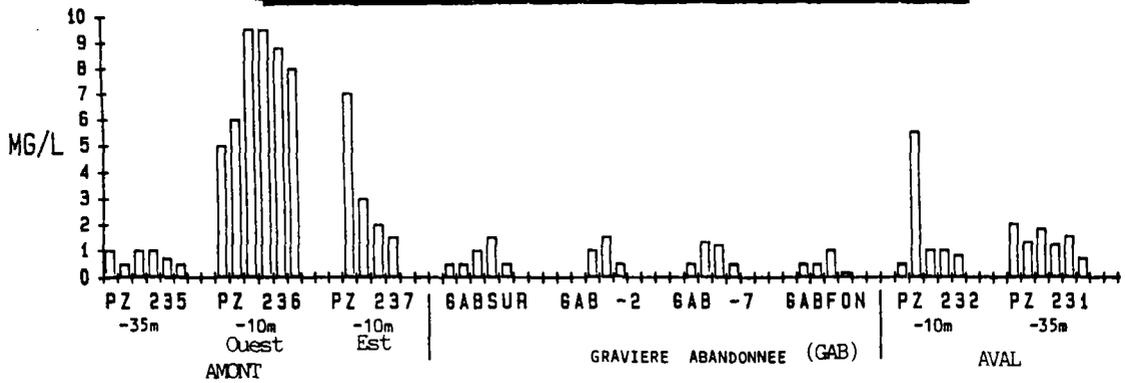


FIG. 5b
VARIATIONS DE LA DURETE CALCIQUE ET DE LA TENEUR EN ANHYDRIDE CARBONIQUE LIBRE
DANS LES EAUX DES DEUX GRAVIERES ET DE LA NAPPE ALLUVIALE
RHENANE ASSOCIEE (D'APRES BRGM (372))

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



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

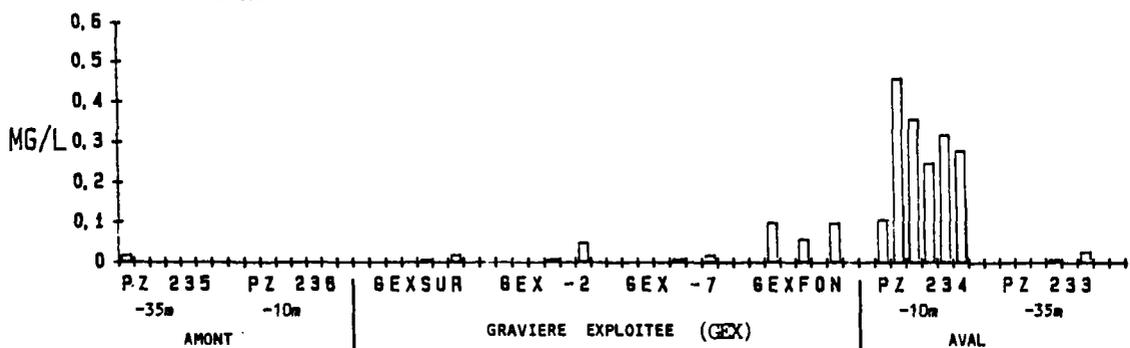
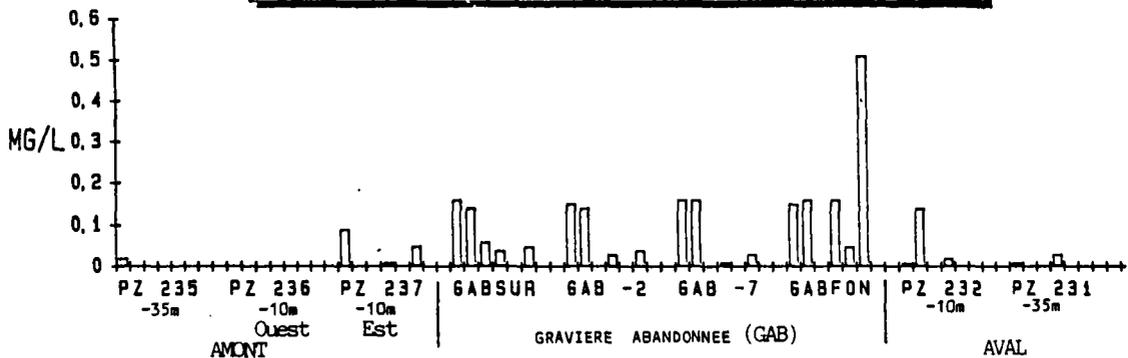


FIG. 6
VARIATION DE LA TENEUR EN AZOTE NITRIQUE ET AMONIACAL
DES EAUX DE DIFFERENTES CARRIERES DE LA NAPPE ASSOCIEE
(D'APRES BRGM (372))

L'adsorption des ions phosphatés, fer et manganèse sur les sédiments, contribue aux diminutions de teneurs constatées.

"Les échanges de base (*) sont probablement à l'origine d'une partie des pertes en ion calcium et, corrélativement, de la nette élévation des concentrations en magnésium, sodium et potassium au niveau précis de l'étang" (351).

Les chlorures restent pratiquement invariants (**).
Les métaux lourds seront évoqués au chapitre 4.

. ordres de grandeur et rayons d'action

Les chutes de teneur paraissent très variables en fonction des conditions initiales, des ions considérés, de la profondeur et de l'âge des gravières, comme l'illustrent les figures 4 et 5, pouvant aller de 5 à 1 pour le CO₂ libre jusqu'à 10 à 1 pour les nitrates. Des observations réalisées en Allemagne (d'après B.BANOUB in 351) montrent des chutes de 4 à 1 pour le CO₂ libre, de 2 à 1 pour les nitrates, de 1,6 à 1 pour le calcium. Ces travaux montrent que, pour la plupart des éléments (excepté les sulfates dans ce cas particulier), les teneurs amont sont retrouvées à l'aval très rapidement, et, en tous cas, entre 100 et 160m.

On note (372) que, en aval d'une gravière profonde -35m-, les parties correspondantes de la nappe -35m- ne sont pas concernées par les modifications ce qui tendrait à confirmer le rôle prépondérant des zones superficielles dans les échanges.

3.3.2 - Interactions bactériologiques

Les recherches effectuées en Alsace et en Haute Normandie dans des conditions diverses ne montrent pas de contamination notable de l'eau des gravières, par les germes pathogènes classiques de type bactéries (371-372). De ce fait, l'impact sur les eaux souterraines et a fortiori sur les captages, ne peut être que faible ou nul comme il a été observé (343-347) en raison du rôle de filtre que jouent les alluvions.

On note la présence de bactéries sulfato-réductrices dans les gravières comme dans la nappe en amont et en aval.

On trouvera en annexe 5 la conclusion du travail de B.DONVILLE (358) sur des lacs de gravière dans les vallées de la Garonne et de l'Ariège. Nous en retiendrons que si la dénitrification est bien réelle dans la plupart des cas, son impact à l'aval paraît limité. Il convient de mieux préciser les paramètres en jeu avant de bâtir une technologie de dépollution des eaux destinées à la consommation humaine.

(*) sous-entendu au niveau des sédiments qui tapissent le fond et les berges (N.d.R.)

(**) probablement en raison de la forte solubilité de cet anion en toutes circonstances et de sa faible participation à l'activité biologique- (N.d.R.).

Il faut souligner qu'on ignore à peu près tout des risques de contamination de type viral, et c'est là un point qui mériterait d'être examiné.

3.3.3 - Les risques de pollution

Lors de l'exploitation, des risques de pollution par les hydrocarbures stockés et utilisés pour le fonctionnement des engins d'extraction existent qui peuvent être évités moyennant des précautions. Mais, comme l'écrit ARCHAMBAULT (63) " le problème majeur est probablement ailleurs, dans le fait qu'une gravière (*) ouverte puis abandonnée constitue toujours un pôle d'attraction lorsqu'il s'agit de se débarrasser de détritiques divers. Certains... ne peuvent être considérés comme dangereux... Il n'en est pas de même des nombreux produits chimiques de synthèse, plus ou moins toxiques, utilisés dans l'industrie, l'artisanat et l'agriculture qui peuvent être déversés soit directement, soit par l'intermédiaire d'emballages et de rebuts". On peut y ajouter les retraits agricoles et les déchets urbains, et la difficulté de s'assurer de l'absence de substances polluantes par de tels dépôts à caractère "sauvage".

La gravité de ces risques potentiels peut être approchée par analogie avec les études menées sur la pollution en aval des décharges en relation avec une nappe lesquelles montrent toutes (17-323-331) un panache de pollution qui s'atténue par dilution, précipitation chimique, adsorption ou échange d'ions, dégradation bactérienne, mais où des teneurs excessives en éléments majeurs ou traces, toxiques ou non, peuvent être observées à plusieurs centaines de mètres.

Dans le cas des carrières profondes (>10m) comme les gravières de la plaine rhénane ou certaines exploitations de roches dures, on pense (351) qu'il peut y avoir séparation gravitaire, les polluants denses restant alors piégés dans les zones profondes de la gravière dont les échanges avec l'extérieur sont très faibles (359).

Ceci souligne l'importance qu'il y a à définir la destination finale des excavations afin d'en faciliter la gestion et le contrôle.

(*) ou toutes excavations (M.d.R.)

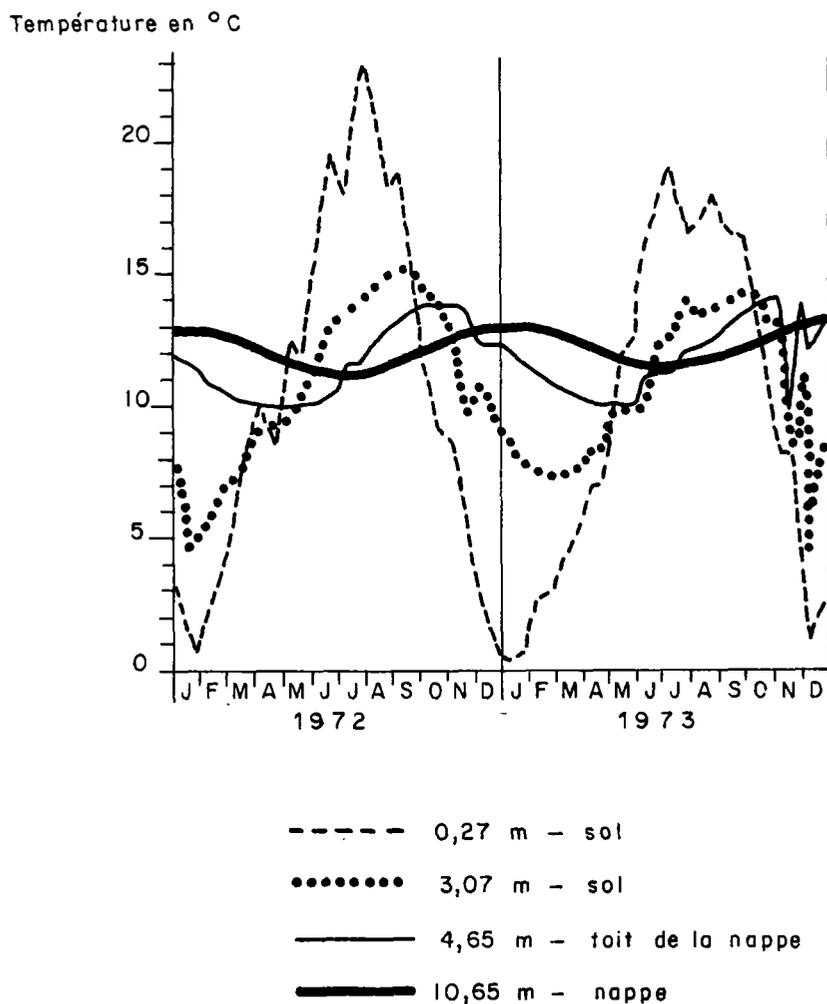


FIG. 7
 VARIATIONS ANNUELLES DE LA TEMPERATURE, A DIFFERENTES PROFONDEURS,
 A LA VERTICALE D'UN POINT DONNE D'UN AQUIFERE
 (D'APRES VEYA (1978) in BABOT et al.(1982)

3.3.4 - Conclusion

Nous l'empruntons pour partie à C. SINOQUET (351):

" La gravière est en relation chimique continue avec la nappe. Mais un manteau sédimentaire l'individualise de cette dernière, et elle est soumise aux échanges avec le milieu extérieur (atmosphère, rayonnement solaire, ruissellement). Il a également été constaté pour la gravière une minéralisation plus faible et une charge organique plus élevée que pour la nappe. Ces deux faits concourent à l'amélioration momentanée de la qualité des eaux de nappe en aval :

- par dilution d'une part,
- par activation de la dégradation biologique menée à l'aval du bassin d'autre part.

" Toutefois, cette amélioration reste locale. Ainsi la distance à laquelle les effets de la dilution s'estompent est voisine de la centaine de mètres ...".

en y ajoutant que la dénitrification qui résulte de la mise à nu de la nappe a pu être proposée comme moyen d'épuration (350), que les captages de Croissy bénéficient depuis longtemps du pouvoir épurateur des ballastières proches (63) et qu'enfin, les études faites en ce sens (19-343) n'ont montré aucun impact négatif sur les captages AEP de gravières situées à moins de 500m en amont.

Il semble donc bien que, sous réserve de précautions contre les pollutions accidentelles, la mise à nu de la nappe par les carrières ait un effet neutre, voire bénéfique, sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines. Par ailleurs, sous les mêmes réserves et exception faite de la turbidité, les carrières ouvertes en lit mineur sont neutres vis à vis de la qualité des eaux superficielles.

3.4 - Domaine hydrothermique

Les nappes souterraines sont réputées pour leur sténothermie, c'est-à-dire la constance de leur température qui résulte de l'amortissement des variations climatiques dans le sol (Fig. 7). L'ouverture d'une carrière diminue ou supprime cette protection thermique ce qui accroît les échanges eau/atmosphère : la nappe s'échauffe davantage en été et se refroidit de même en hiver à l'aplomb de la carrière. Les variations de température ainsi engendrées se répercutent à l'aval dans la nappe ou les eaux superficielles.

A l'opposé des nappes, les cours d'eau présentent des fluctuations de température journalières et saisonnières plus importantes, et si les carrières ouvertes sont susceptibles d'interférer avec leur régime thermique, c'est généralement dans une faible mesure.

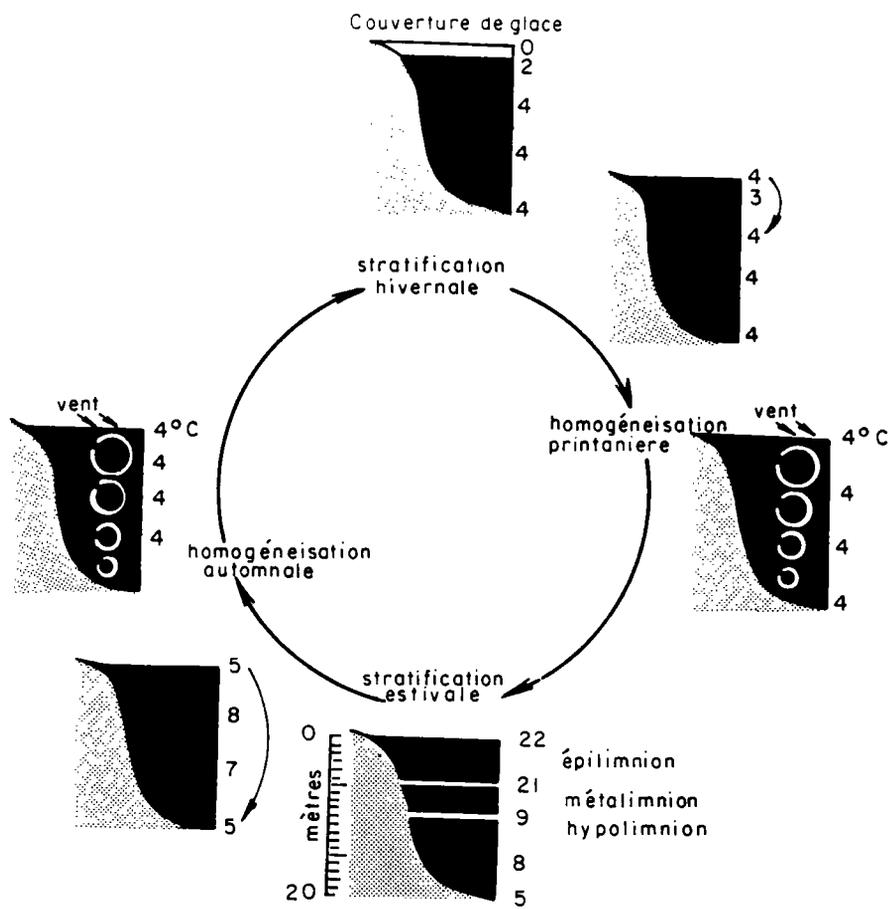


FIG. 8
 CYCLE THERMIQUE ANNUEL D'UN LAC DE REGION TEMPREEE
 (D'APRES RAMADE, 1982 in (351))

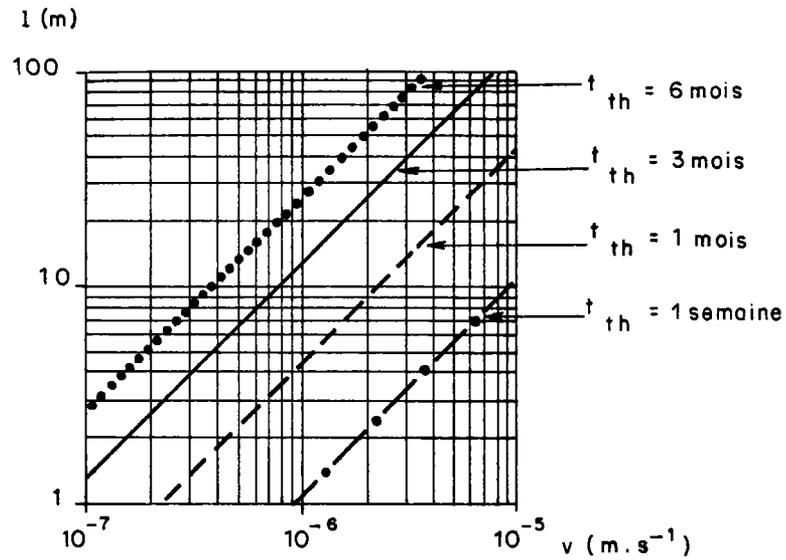


Fig. 9a

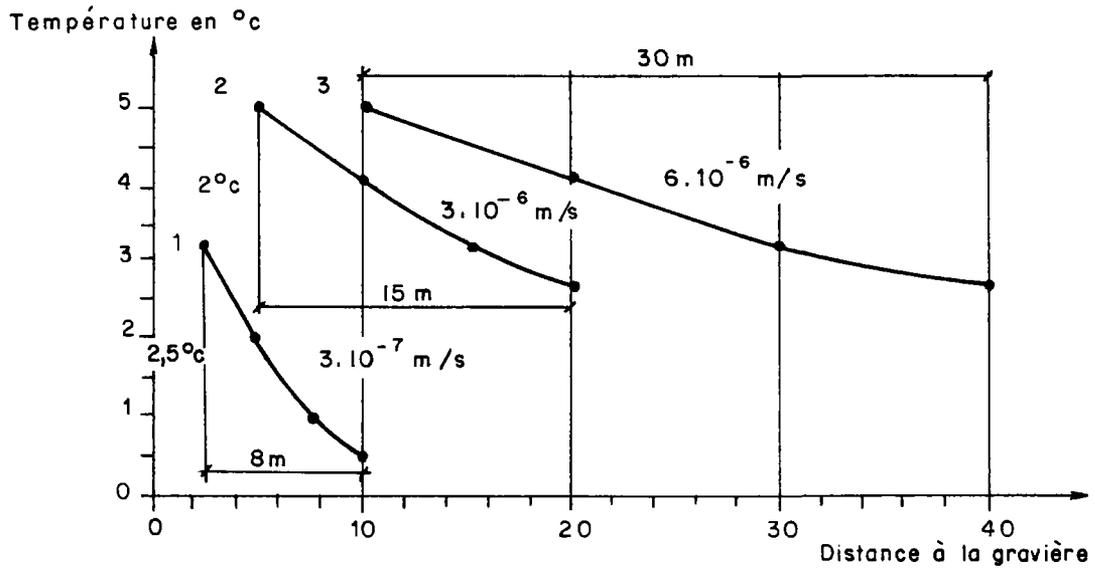


Fig. 9b

FIG. 9
INFLUENCE THERMIQUE CALCULEE D'UNE GRAVIERE PEU PROFONDE
SUR LA NAPPE EN HAUTE NORMANDIE

9a - Temps de percée thermique (t_{th}) en fonction de V (vitesse de Darcy) et de l (distance gravière-point de l'aquifère) (C_s et C_w constantes) (d'après AUSSEUR et al. in 351)

9b - Amortissement de l'amplitude du pic de température de la nappe en fonction de l'accroissement de la distance à la gravière pour différents types de sols (d'après AUSSEUR et al. in 351)

3.4.1 - Interactions thermiques avec les eaux souterraines (351-359-183-372-253)

. Les paramètres impliqués sont :

- le climat
- la géométrie des carrières: surface, profondeur
- leur statut : en exploitation ou non
- la température de la nappe
- les échanges hydriques nappe/carrière
- les vitesses d'écoulement de la nappe
- les capacités calorifiques volumiques de l'eau et du terrain.

Le climat et la température de la nappe conditionnent le sens et l'intensité des échanges thermiques dont le volume dépend de la superficie des plans d'eau. La profondeur de la carrière intervient sur la répartition des températures en son sein. Suivant les saisons, on observe soit une homogénéisation, soit une stratification plus ou moins marquée qui peut d'ailleurs s'inverser d'été en hiver (Fig.7), ou être perturbée par l'exploitation (372).

L'impact thermique de la carrière sur la nappe est une fonction directe des échanges hydriques*: une "bulle" d'eau chaude est injectée en été (une d'eau froide en hiver) qui progressera en fonction de la vitesse d'écoulement de la nappe (183). Si l'on désire limiter cet impact, il conviendra de freiner les échanges par colmatage volontaire de la carrière par exemple (351).

Plutôt que de vitesse de progression, les auteurs parlent de la durée de propagation t_{th} d'une perturbation, ou temps de percée thermique d'une carrière en un point donné de la nappe qui s'exprime par la relation (183) :

$$t_{th} = \frac{L \cdot Cs}{V \cdot Cw}$$

avec L : distance horizontale
V : vitesse de Darcy
Cs : capacité calorifique volumique du terrain
Cw : capacité calorifique volumique de l'eau

La perturbation verra son amplitude amortie au long de son parcours.

La figure 9 (ci-contre) donne des exemples d'abaques calculés à l'aide de modèles de simulation, du temps de percée thermique et de l'amortissement du pic de température.

. **Les effets et leurs conséquences** : les carrières peuvent provoquer une perturbation thermique dans la nappe qu'elles intéressent et réciproquement. On tient là un moyen indirect de localisation des échanges nappe/carrière dont l'expérimentation a fourni des résultats encourageants (359-360-361-362). Par ailleurs, ce phénomène peut influencer sur des aménagements aval : pompes à chaleur sur nappe par exemple.

. **Moyens d'étude et de prévision**

La description des phénomènes nécessite des historiques et des profils de mesures de température dans la carrière ainsi que dans la nappe, en amont et en aval, à l'aide de piézomètres. Leur interprétation est toujours délicate : "La complexité des facteurs gouvernant les échanges thermiques est telle que seule une modélisation mathématique permettra de déterminer le bilan thermique des gravières" (372).

On dispose actuellement (183) de modèles de simulation thermique, dérivés des modèles hydrodynamiques qui répondent à cet objectif et permettent de prévoir l'influence d'un aménagement avec une précision fonction de celle des données utilisées.

. **Ordre de grandeur des fluctuations thermiques et aire d'influence**

En Alsace, dans l'aquifère rhénan et des ballastières profondes associées, on a pu observer les écarts de température variables selon trois zones superposées (372).

- une zone superficielle (épilimnion) d'environ 5m d'épaisseur caractérisée par d'importantes fluctuations saisonnières;
- une zone médiane (métalimnion) entre 5 et 10 à 12m de profondeur caractérisée par un fort gradient thermique et des écarts saisonniers très importants;
- une zone profonde (hypolimnion) au-delà, où les fluctuations thermiques sont atténuées.

Cette zonalité se retrouve dans la nappe, atténuée en amont, mais identique voire amplifiée * en aval comme le montrent le tableau 1 et la figure 9.

Les temps de transfert estimés d'après le déphasage des extrêmes (Cf. tableau 1) indiquent des temps percée thermique plus faibles pour le "front froid" que pour le "front chaud" dans le rapport de 1 à 3 ou 4. Si ces valeurs sont cohérentes avec celles que l'on peut inférer de la figure 8a ($10^{-6} < V < 5.10^{-6} \text{m/s}$), les écarts restent à préciser et à expliquer le cas échéant.

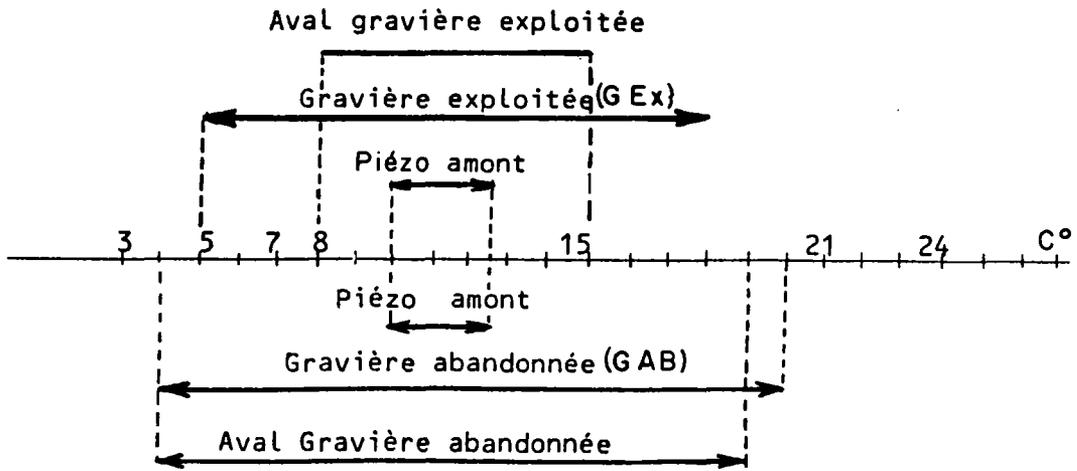


Fig. 10a Comparaison amont-gravières - aval à 8m de profondeur

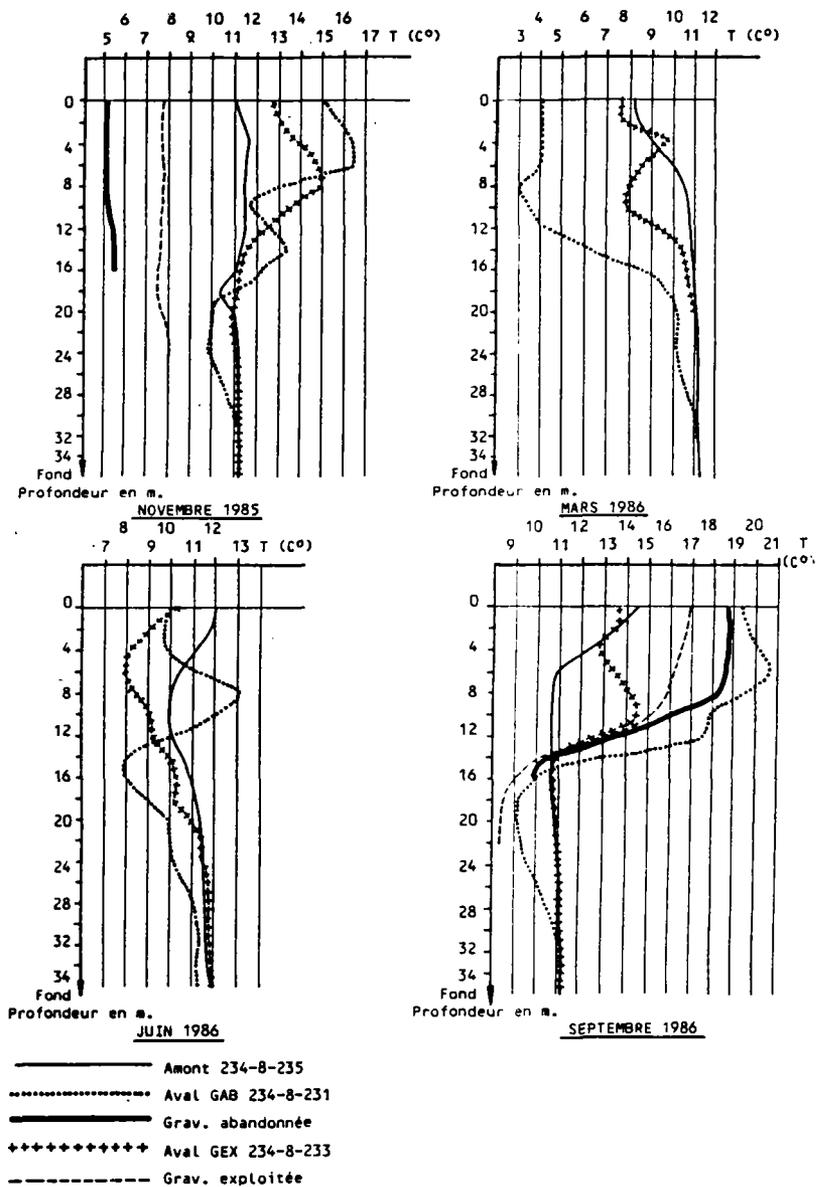


Fig. 10b Profils thermiques relevés à différentes époques

FIG. 10
 AMPLITUDE DES VARIATIONS THERMIQUES OBSERVEES
 DANS DEUX GRAVIERES PROFONDES D'ALSACE
 (D'APRES 372)

. *Ordre de grandeur et aire d'influence de l'impact thermique*

Dans les carrières profondes, on a observé en Alsace entre l'été et l'hiver des écarts de :

12 à 15°C dans la zone superficielle (0 à 10m)

2,6 à 2,7°C dans la zone profonde (au-delà de 15m)

L'impact thermique des ballastières dans la nappe à l'aval, bien marqué dans la tranche superficielle de 0 à 15m (Fig.10) jusqu'à au moins 25m de distance, n'a pas été décelé dans le forage AEP à 250m qui capte des niveaux plus profonds. Ceci ne signifie pas qu'il serait insensible avec une configuration différente (gravière plus étendue, captage dans la tranche influencée, perméabilités plus fortes, etc).

En Haute Normandie, dans un contexte alluvial de faible épaisseur, on a observé des phénomènes peu différents dans leur essence compte tenu de ce que les méthodes d'approche furent autres.

. *Conclusion*

La présence des gravières altère indéniablement la sténothermie des nappes à l'aval, dans des proportions et à des distances très variables selon le contexte local mais jamais de façon sensible au-delà de 200 à 250m. Le nombre et la diversité des facteurs qui interviennent sont tels que le recours à la modélisation, opérationnelle depuis moins d'une décennie dans ce domaine, s'impose pour le dégrossissage des problèmes de type prévisionnel. Il apparaît en outre que, dans la mesure où l'importance de cet impact est démontrée, et cela semble bien le cas, les connaissances actuelles peuvent s'avérer insuffisantes pour perfectionner et caler plus finement les modèles existants.

3.4. 2 - Interactions thermiques avec les eaux superficielles

Les exploitations impliquées sont a priori les carrières en lit mineur et les carrières en nappe alluviale ouvertes ou fermées.

. *Paramètres*

Tous les paramètres cités à propos des nappes souterraines demeurent avec en plus :

- la distance et la disposition des gravières par rapport au cours d'eau;
- le rapport des débits du cours d'eau d'une part, des exutoires des gravières ouvertes et des nappes alluviales d'autre part;
- le gradient et les fluctuations naturelles de température du cours d'eau : plus on s'approchera des zones où l'équilibre naturel est fragile plus l'influence d'un réchauffement artificiel sera sensible;
- les caractéristiques géométriques du lit du cours d'eau et leur incidence sur la vitesse du courant .

. Moyens d'étude

Complicés de la prise en compte de nouveaux paramètres, ce sont les mêmes que pour les nappes souterraines, à savoir:

- recueil de données hydrogéologiques et thermométriques;
- élaboration, calage et exploitation de modèles hydrothermiques.

. Mécanismes de l'interaction (BABOT et al in 351)

L'action de la température s'exerce de façon particulièrement sensible sur les paramètres hydrochimiques de l'eau des gravières. A une élévation de température correspond :

- un abaissement des teneurs en gaz dissous (Fig. 11), particulièrement O_2 et CO_2 qui freinera l'activité biologique, du pH et du potentiel rédox qui favorisera la mise en solution de fer, manganèse, nitrites et ralentira les réactions d'oxydation;
- une élévation de la solubilité de la plupart des substances organiques et minérales.

Dans les aquifères à l'aval, il en résulte une attaque accrue des silicates avec mise en solution de Na, Ca, Mg, formation de minéraux argileux silico-aluminium, d'hydroxydes d'aluminium et précipitation de silice.

. Ordre de grandeur et aire d'influence des interactions

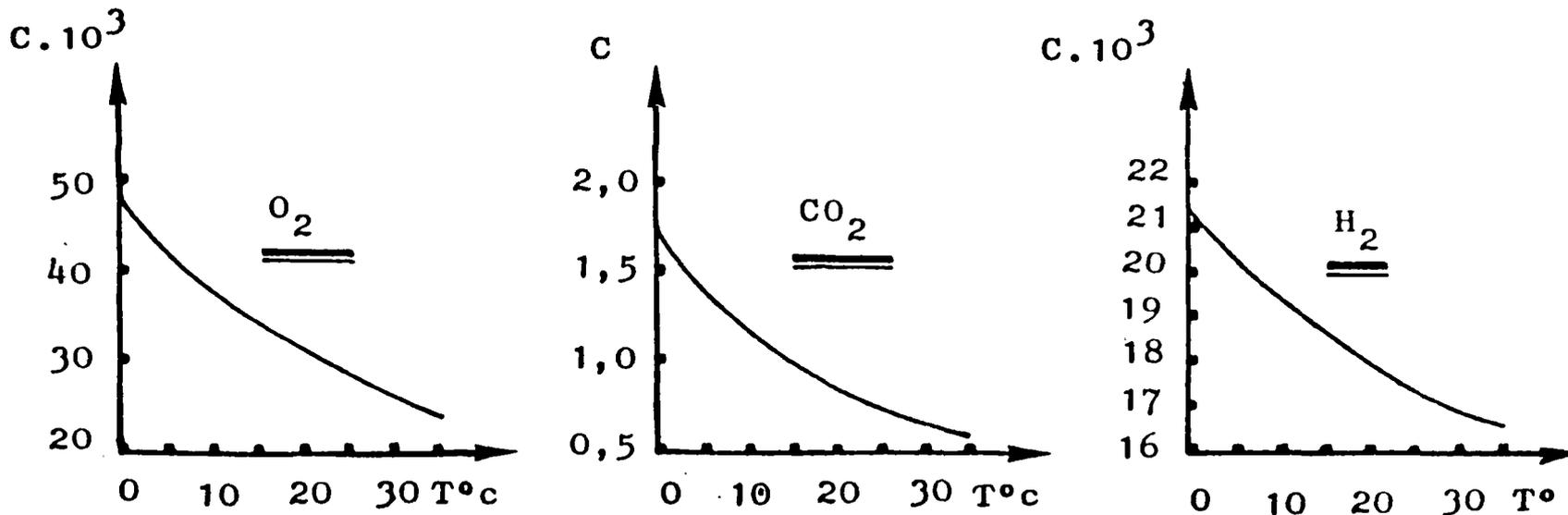
Selon R. PANEL (Cf. annexe 4), il semblerait que les effets thermiques d'exploitations en lit mineur soient négligeables ou nuls.

En Haute Normandie (340), la Bresle (débit moyen 6 à 7 m³/s avec des extrêmes de 2 à 12 m³/s) reçoit sur 70 km l'eau de 19 ballastières ouvertes (175 ha) qui représente environ 10% de son débit. L'impact thermique unitaire n'excède pas après mélange total :

- 0,1°C dans 57% des cas
- 0,5°C dans 92% des cas
- 1°C dans 99% des cas

La température de l'émissaire peut excéder de 10°C celle de la rivière. A quelques mètres en aval de la communication, l'impact thermique peut atteindre 4 à 5°C. Mais ces effets s'atténuent rapidement par dilution sur une distance de 30m pour une superficie de 2 à 3 ha, à 300m pour 27,5 ha.

L'effet cumulatif des influences unitaires n'est pas perceptible sur la rivière : sur 18 campagnes mensuelles, les impacts thermiques globaux ont été estimés 14 fois inférieurs ou égaux à 0,5°C et 2 fois compris entre 0,5 et 1°C.



Les coefficients de solubilité ci-dessus sont les volumes de gaz, ramenés à 0 °C et 1,013 25 bar, qui peuvent être, aux températures indiquées, dissous dans 1 volume d'eau lorsque la pression partielle du gaz, compte non tenu de la tension de vapeur d'eau, est de 1,013 25 bar.

Figure 11 : SOLUBILITE DANS L'EAU DE O₂ CO₂ ET H₂ SOUS LA PRESSION ATMOSPHERIQUE NORMALE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE, d'après Handbook of Chemistry and Physics Chemical Rubber publishing, New-York in (67)

L'aménagement des exutoires avec des siphons puisant l'eau plus fraîche du fond des ballastières devrait contribuer le cas échéant à atténuer l'impact thermique.

En Haute Normandie toujours (183), l'étude de l'impact thermique de ballastières fermées, poussée jusqu'à la modélisation, fournit les résultats suivants :

. Observations :

- l'échauffement des rivières et ruisseaux dû à l'alimentation par les nappes soumises à l'influence de ballastières n'excède généralement pas 0,7 à 0,8°C avec un maximum de 1,5°C;

- une distance rivière-ballastière de 20m suffit généralement à atténuer cet effet.

. Calculs :

- il y a trop de paramètres pour pouvoir éditer un abaque général unique. Les fluctuations saisonnières imposent le traitement en régime transitoire, donc une modélisation numérique fine ou une campagne de mesures thermiques sur plusieurs mois;

- la vitesse de propagation des ondes thermiques (temps de percée thermique) est principalement déterminée par la vitesse d'écoulement de la nappe, V_N . Elle est au maximum de 1,7 V_N .

- le colmatage de la ballastière est un élément favorable à la limitation de l'impact (limitation des échanges gravière-nappe);

- la distance minimale rivière-ballastière doit être suffisante pour induire un déphasage de 3 mois entre le départ de l'eau de la ballastière et son arrivée dans la rivière.

. Conclusion

L'impact thermique des carrières sur les eaux superficielles est toujours faible voire négligeable en regard des fluctuations naturelles de leurs températures qui dépassent plusieurs degrés.

La présence de ballastières à proximité d'un cours d'eau peut engendrer en été un échauffement supplémentaire de celui-ci de l'ordre de 0,1 à 0,7 ou 0,8°C rarement plus, que ce soit par transit direct des eaux de la ballastière vers la rivière par un émissaire superficiel, ou indirect à travers la nappe.

Les facteurs dominants de l'impact sont le rapport des débits respectifs de la rivière et de la gravière ou de la portion de nappe qu'elle influence, la position de la gravière par rapport au profil typologique de la rivière ainsi que, dans le cas d'une gravière fermée, sa distance à la rivière. La prévision de l'impact d'un aménagement implique une étude préalable assortie d'une modélisation dans les cas les plus délicats.

3.5 - Domaine hydrobiologique

Nous y rangeons l'ensemble de la flore et de la faune présents dans l'eau, à l'exclusion des organismes vivant à la frontière eau/environnement tels que la ripisylve, les oiseaux, etc.

L'équilibre naturel des cours d'eau subit les différents impacts déjà passés en revue, notamment dans le domaine hydromécanique. Réciproquement dans les gravières vont se développer une faune et une flore spécifiques qui vont tendre vers un équilibre (*) propre qui modifiera les conditions du milieu (colmatage, dénitrification, désulfatation, cycle diurne/nocturne de consommation de CO₂-production d'O₂, etc).

3.5.1 - Interaction des gravières avec les cours d'eau (149-276)

Ce sont essentiellement les carrières en matériau alluvionnaire qui sont concernées, exploitations en lit mineur et en lit majeur proches du cours d'eau, ouvertes ou non.

. Paramètres

Elles agissent sur les paramètres suivants :

- instabilité des berges et des fonds
- M.E.S. et turbidité
- colmatage
- température

qui à leur tour peuvent modifier

- la densité, les caractéristiques et la répartition des zones de frai des poissons
- la nature et l'abondance du plancton, des macroinvertébrés, des algues
- les teneurs en CO₂, O₂, le pH pour aboutir, dans le cas général, à une dégradation de la qualité piscicole des cours d'eau.

. Mécanismes et amplitude de la dégradation

On trouvera quelques illustrations de ce chapitre en annexe 5.

La flore

La turbidité, par réduction de l'intensité lumineuse, et les M.E.S., par colmatage des tissus, diminuent l'activité photosynthétique et limitent le développement des plantes, particulièrement des algues: sur la Loire et la Dore on a observé des réductions de la teneur en chlorophylle de 49 à 90% en crues et de 56 à 74% à l'étiage à 2.600m en aval d'exploitations (149), ainsi qu'une baisse en masse de la production primaire de 27 à 75% (276).

(*) ou un déséquilibre lorsqu'il y a eutrophisation

Par ailleurs, sans modifier sa diversité, elle peut réduire la densité du peuplement diatomique (de 54 à 94% à 3 km à l'aval des rejets de la gravière Misson sur la Dore) (149).

L'instabilité des fonds et des berges peut causer la limitation ou la disparition des herbiers à macrophytes (276) et cela d'autant plus longtemps que les remaniements se poursuivent bien après la fin des extractions.

La faune

A l'aval des sites d'extraction on observe une diminution de la biomasse des invertébrés des fonds sur plusieurs kilomètres, sans réduction de la diversité des espèces (354). Des réductions de la biomasse de 20 à 60% en faciès lotique (eaux vives) et de 27 à 61% en faciès lentique (eaux calmes) ont été observées sur la Loire et l'Allier, à 1.300m d'une exploitation.

De plus, la création de fosses profondes entraîne l'apparition à l'aval de zones calmes avec évolution des biocénoses vers un faciès lentique qui entraîne la raréfaction des espèces nobles (347).

Les poissons sont affectés directement et indirectement. Directement par l'excès des M.E.S. qui peuvent provoquer des lésions et exercent une action abrasive et colmatante sur leurs branchies avec inhibition plus ou moins marquée de la fonction respiratoire susceptible de provoquer des mortalités importantes (276). Ces phénomènes ont pu être observés pour des taux de M.E.S. compris entre 1.000 et 6000 mg/l, taux relativement élevés.

Les effets indirects se manifestent à des teneurs inférieures. Ils concernent :

- la reproduction et le développement des oeufs par apparition d'obstacles à la migration (seuils rocheux "naturels" ou artificiels), disparition des frayères (colmatage par les M.E.S. ou érosion), asphyxie des oeufs et des alevins par les M.E.S. conduisant à des taux de mortalité importants;

- la nutrition et l'habitat des poissons, par inhibition des fonctions nutritionnelles occasionées par les M.E.S., raréfaction des proies de fonds, modification ou disparition des habitats, particulièrement ceux des alevins.

Au plan quantitatif, des réductions de densité numérique de 28% et de biomasse de 17% ont été observées entre l'amont et l'aval d'une gravière de Loire (149).

Au plan qualitatif, les espèces les plus exigeantes (salmonidés) régressent ou disparaissent les premières. La séquence des changements piscicoles est caractérisée par trois étapes (126) :

- régression des espèces d'eau vive et en particulier des salmonidés accompagnée d'une extension des espèces d'eau calme;
- régression des espèces d'eau calme présentant des exigences écologiques particulières;
- régression générale au terme de laquelle ne subsistent que les espèces de pleine eau euryèces et polluo-résistantes.

. Conclusion

Les impacts hydromécaniques sont pour leur plus grande part responsables de l'impact négatif des gravières sur les cours d'eau dans le domaine hydrobiologique.

3.5.2 - Interaction avec les eaux souterraines

Les carrières hors d'eaux sont peu concernées encore que des interférences restent possibles en fonction de l'épaisseur et de la perméabilité des terrains désaturés sous le fond de la carrière.

La littérature consultée traite principalement des carrières en eau qui sont, en l'espèce, ouvertes ou fermées en roche alluvionnaire mais pourraient être en roche dure (jamais citées).

. Les paramètres qui interviennent ou peuvent intervenir sont :

- les caractères physico-chimiques de l'eau de la nappe et de l'eau superficielle susceptible d'atteindre la gravière
 - l'intensité des échanges hydrauliques
 - la granularité du colmatage et de l'aquifère
 - la nature et la variété des biocénoses du plan d'eau
- et, dans une moindre mesure :
- la géométrie, forme et dimensions de la carrière
 - le marnage

. Mécanismes et conséquences

- Dans le sens carrière-nappe, l'impact se limite aux micro-organismes filtrés ou générés par la frange d'interface gravière-terrain.

En Alsace, dans le secteur de la Wantzenau, une étude récente (372) a montré (cf tableaux ci-dessous) des teneurs en carbone organique total (COT) en aval des gravières profondes (30m) supérieures à celles de l'amont pour les niveaux "superficiels" (-10m) de la nappe.

		Amont	Aval
Gravière exploitée	- 10m	0,65 à 1,2 mg/l	0,75 à 2,65 mg/l
	- 35m	0,65 à 1,3 mg/l	0,35 à 1,2 mg/l
Gravière abandonnée	- 10m	0,65 à 2,9 mg/l	0,85 à 1,7 mg/l
	- 35m	-	0,8 à 1,4 mg/l

En Haute Normandie, les variations de teneurs en matière organique, appréhendées à travers l'oxydabilité au permanganate se présentent comme suit (371) entre l'amont et l'aval de gravières peu profondes:

	Amont (150 échantillons)	Aval (10 à 50m) (60 échantillons)
minimum	0,1 mg/l	0,1 mg/l
maximum	1,4 mg/l	5,0 mg/l
moienne	0,4 mg/l	0,7 mg/l

Dans ces deux secteurs, on a pu observer également la présence de chlorophylle active à des teneurs significatives dans des piézomètres jusqu'à 40 ou 50m à l'aval de gravières.

Ce phénomène ne paraît pas constant, ni dans le temps ni dans l'espace. De plus, les faibles teneurs en phéopigments (produits de dégradation de la chlorophylle) ou leur absence, excluraient le transfert à partir du sol (*). La chlorophylle viendrait-elle de la gravière ?

Il semble bien que l'action des gravières dans le domaine biologique soit généralement faible sur l'eau de la nappe à l'aval. En dehors des modifications physico-chimiques évoquées en 3.3, les conséquences sur la qualité de l'eau de la nappe restent à préciser, mais paraissent sans caractère de gravité dans la mesure où les teneurs en matière organique observées à l'aval sont toutes inférieures, ou au plus égales dans certains cas particuliers, aux normes de potabilité des eaux (5 mg/l pour l'oxydabilité au permanganate), ou voisinent des teneurs régionales pour le COT (**).

(*) Communication orale

(**) Il n'y a pas de norme quantifiée, les directives européennes recommandent seulement de rechercher les causes d'une éventuelle variation des teneurs.

- *Dans le sens nappe-carrière* (65-257)

La composition des eaux qui lui parviennent peut influencer sur l'évolution biologique du plan d'eau (*). Il s'agit essentiellement des teneurs en nitrates et surtout phosphates qui constituent les nutriments (ou nutriens suivant les auteurs, c'est-à-dire des aliments utilisés par le phytoplancton lors de la photosynthèse (Cf. Annexe 7). Les phosphates apparaissent comme une espèce de catalyseur des réactions d'élaboration de la matière organique qui peuvent conduire au phénomène d'eutrophisation dont nous parlerons plus en détail à propos du vieillissement des carrières en eau. Ces deux éléments sont rejetés en quantités appréciables par l'activité anthropique - agriculture, industrie, assainissement urbain - qui apparaît comme la cause majeure du déséquilibre biologique de plans d'eau artificiels ou naturels.

- *Conclusion*

Dans le domaine hydrobiologique, l'interaction carrières-eaux souterraines se limite aux excavations en eau, ouvertes ou fermées. Les apports minéraux, en azote et phosphore notamment de la nappe et des eaux de ruissellement, commandent en grande partie le développement et l'évolution biologique de la carrière. Un excès peut conduire à des déséquilibres graves.

S'il dépend de l'intensité et de la nature de sa propre activité, il semble que l'impact biologique de la carrière sur la nappe en aval demeure faible car la plupart des êtres qui s'y développent y restent piégés, à l'exception peut-être de certains micro-organismes dont les modalités de survie lors du transfert restent à élucider.

(*) Ceci est également vrai pour ce qui est des eaux de ruissellement.

5 - COLMATAGE ET VIEILLISSEMENT

Le colmatage peut être cerné comme l'ensemble des phénomènes qui conduisent à une diminution de la perméabilité de la matrice solide, du terrain au sens large, au voisinage de la limite eau superficielle/eau souterraine. C'est un phénomène de frange, de bordure, qui commande les échanges de toute nature entre la carrière et la nappe.

Le vieillissement d'une carrière, c'est l'évolution "naturelle" de ses caractéristiques géométriques, physiques, chimiques, thermiques, biologiques, etc, après sa création, son aménagement ou son réaménagement.

4.1 - Le colmatage

Le colmatage, clef des échanges avec l'environnement, participe largement au processus de vieillissement : on peut le considérer comme un filtre qui s'obstrue progressivement.

Il intervient dans tous les types de gravières mais à des degrés divers. Les carrières hors d'eau ne sont concernées que par la sédimentation des matières transportées par les eaux de ruissellement. Il peut s'ensuivre une diminution des apports à la nappe sous-jacente mais l'importance du phénomène reste limitée et le colmatage a surtout été étudié dans le cas des gravières en eau.

Il résulte de phénomènes mécaniques, chimiques et biologiques récapitulés dans le tableau de la figure 12.

S'il joue un rôle hydrodynamique évident avec le contrôle des échanges, il semble susceptible de jouer également un rôle dans le domaine physico-chimique (357).

. *Mécanisme*

La sédimentation des particules fines de toutes tailles produit une oblitération des pores et le milieu poreux se transforme; il s'agit donc d'un processus par essence transitoire au cours duquel la résistance à l'écoulement augmente progressivement.

Nature du processus	Agent(s) responsable(s)	Observations
Mécanique	aïgues, détritux, matières en suspension bulles de gaz piégées	manifestation initiale du colmatage rôle important de la granulométrie des matières en suspension
Chimique	argiles... sels métalliques de Fe, Mn, Cu, Zn... ou alcalino-terreux CO ₃ , SO ₄ ... accumulation de	phase suivante du colmatage gonflement / capacité d'échange en cations précipitation d'hydroxydes précipitation, formation de colloïdes
Biologique	polysaccharides prolifération des bactéries	phase terminale du colmatage ferrugineuses (si O ₂) sulfatoréductrices dégagement gazeux, développement d'un substrat de matière vivante oblitérant les pores

Fig. 12

LA DESCRIPTION DU PHENOMENE DE COLMATAGE

Il en existe deux manifestations :

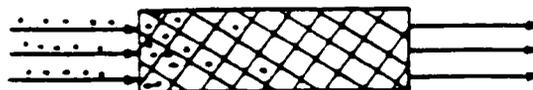
- *le colmatage externe*

On assiste à la formation d'un "gâteau" à la surface du milieu poreux filtrant si les particules en suspension ont un diamètre équivalent du même ordre de grandeur que la taille des pores (arrêt par tamisage);

- *le colmatage interne*

Deux aspects sont à distinguer :

• l'aspect macroscopique



A l'aide du schéma ci-dessus, on peut décrire la capture des particules comme un phénomène aléatoire défini par une densité de probabilité par unité d'épaisseur :

fraction capturée dans une couche
quantité totale entrant dans cette couche

Le colmatage est dit "total" lorsqu'aucune capture n'est plus possible.

• l'aspect microscopique

Les mécanismes de capture ont lieu sous l'effet de deux catégories de forces :

les forces mécaniques : inertie (courbure des lignes de courant), frottements, gravité (sédimentation);

les forces physico-chimiques : lorsque le diamètre équivalent des particules est inférieur à $1 \mu\text{m}$, on assiste à la diffusion Brownienne sous l'effet des forces de Coulomb et de Van der Waals.

Le colmatage interne est donc la conséquence de ces phénomènes qui associent transport et capture de particules et qui définissent la "filtration en profondeur".

Les entités sujettes à ces phénomènes sont variées. Ce peuvent être des matières en suspension dans l'eau de la gravière, des particules fines entrant dans la constitution des alluvions (auto-colmatage), des précipités et colloïdes, des bactéries, des bulles de gaz, ... (357)

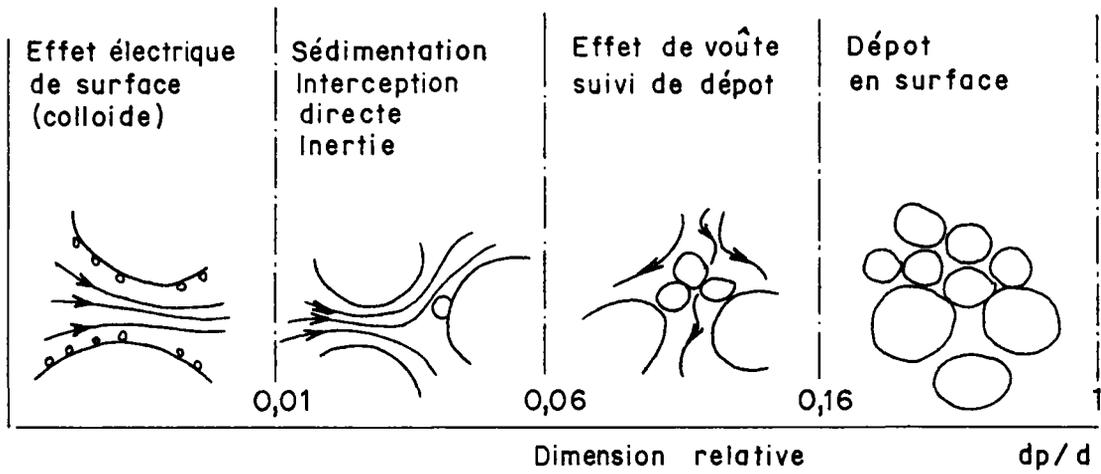


FIG. 13
DIFFERENTS TYPES DE DEPOTS EN FONCTION DU RAPPORT DES DIAMETRES
DES PORES "d" ET DES PARTICULES "dp", D'APRES (357)

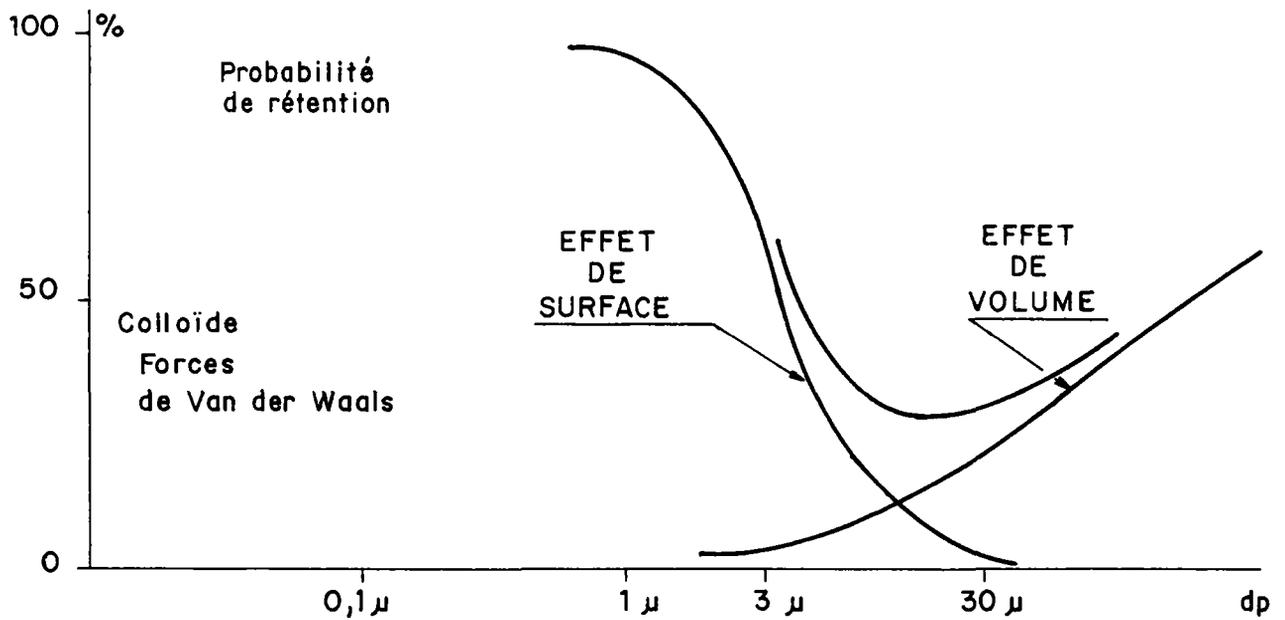


FIG. 14
PROBABILITE DE RETENTION EN FONCTION DE LA TAILLE DES PARTICULES,
D'APRES (357)

L'épaisseur de la tranche d'aquifère concernée par le colmatage, de même que le type d'action qui contrôle le dépôt dépendent du rapport entre la dimension des pores "d" et l'encombrement "dp" des particules, figure 13, ainsi que de "dp" seul au-dessous de 30 μm , figure 14 (357).

. Localisation - Structure

L'élaboration du colmatage résulte de la conjonction d'un phénomène gravitaire, la sédimentation, et d'un phénomène convectif, le transport des particules dans le courant d'eau. C'est pourquoi, il se localise d'abord sur le fond et sur les berges aval de la gravière si leur pente n'est pas trop forte : au-delà de 20% il y a instabilité des dépôts qui migrent alors vers les fonds.

Une étude fine menée sur une gravière abandonnée profonde en Alsace (359) a permis de visualiser les zones d'échanges des gravières avec la nappe et, partant, les secteurs à échantillonner préférentiellement pour l'étude de la couche colmatée. Elle aboutit pour ce secteur aux résultats intéressants suivants :

Dans la zone de batillage

- à l'amont, l'effet de drain sur la nappe phréatique peut arracher du milieu poreux jusqu'à au moins 45cm de profondeur, des particules de diamètre inférieur ou égal à 8 μm ;

- en aval, il y a une proportion plus grande d'éléments très fins (inférieurs à 20 μm) dans la couche colmatante;

- les agents responsables du colmatage sont par ordre d'importance

- la composition chimique des dépôts sur les fines.

Cela comprend la matière organique des sédiments, les oxydes métalliques ou alcalino-terreux, les hydroxydes métalliques ;

- la distribution sédimentométrique de la fraction fine.

- la nature du matériau constituant les fines.

- il existe une zonalité du peuplement de macroinvertébrés, fonction de l'état de colmatage des berges.

Sur le fond

- il ne semble pas y avoir de ségrégation horizontale des sédiments, mais une plus grande richesse en éléments fins dans les couches profondes du colmatage (Fig. 15);

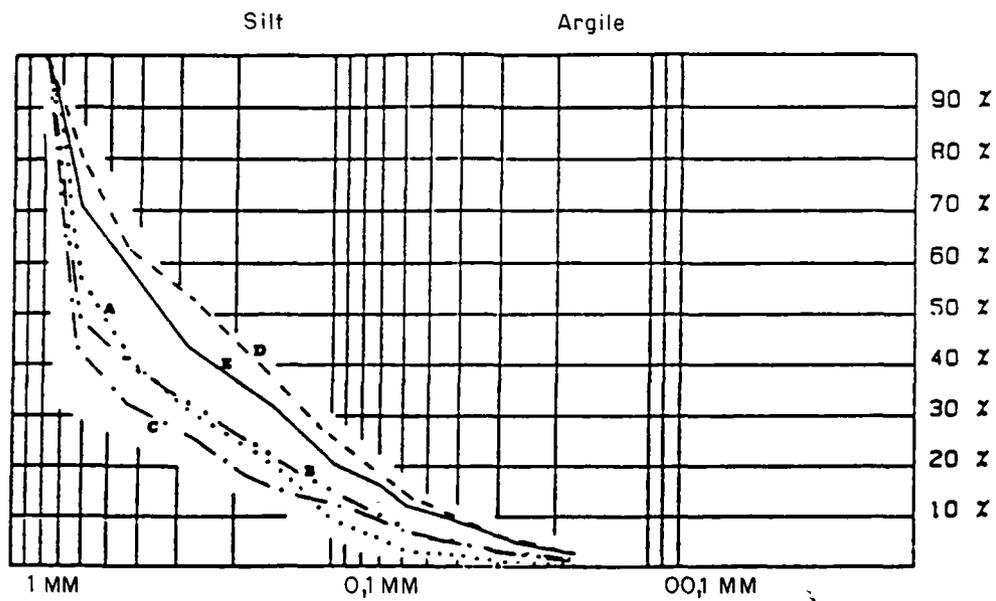


FIG. 15
 CLASSEMENT SEDIMENTOLOGIQUE DES FINES
 D'APRES DURBEC (359)

Les courbes D et E correspondent aux niveaux les plus profonds de la couche colmatée

	Granulo - Sédimento			% M.O. des fines	K. 10 ⁻⁷ m s ⁻¹
	200µm > % > 100µm	100µm > % > 80µm	% fines < 80µm		
FOA	9.2	5.4	85.4	4.6	0.48
FOB	15.4	6.6	78.0	3.5	3.5
FOC	39.7	9.0	51.3	3.0	3.7
FOD	24.7	13.7	61.6	3.4	3.6
FOE	23.7	13.0	63.3	2.3	4.0

Fig. 16a - Conductivité hydraulique et taux de matière organique au point FO

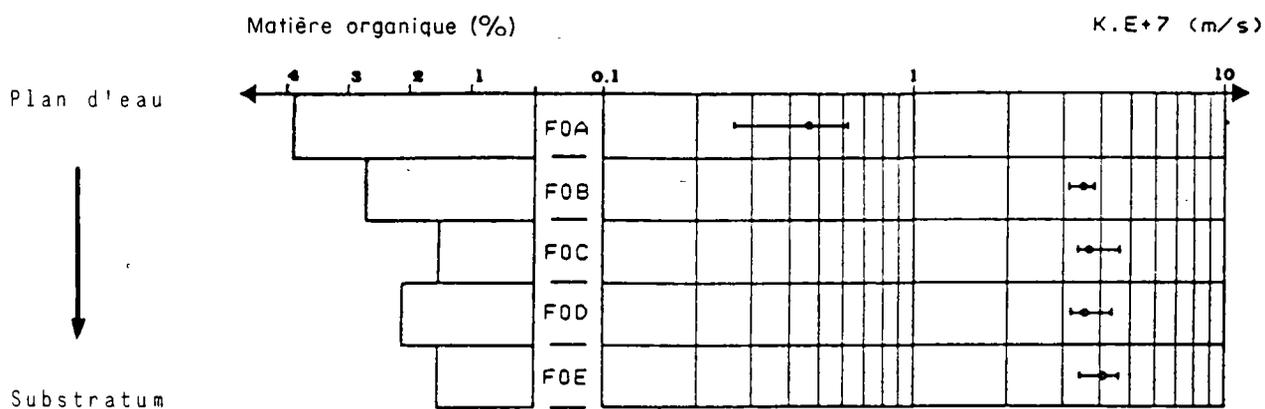


Fig. 16b - Profils comparés de la teneur en matière organique et de la conductivité hydraulique

FIG. 16
EVOLUTION DE LA PERMEABILITE DANS UN SEDIMENT COLMATANT
D'APRES DURBEC (359)

- l'évolution de la perméabilité avec la profondeur dans le sédiment semble plutôt liée à la présence de matières organiques qu'à l'abondance relative des fines : "les dix premiers centimètres de sédiments (côté gravière), riches en matière organique, ont une perméabilité inférieure à celle du reste de la couche (Fig. 16) *.

L'auteur de cette étude propose le schéma de la figure 17a pour la répartition du colmatage et des zones d'échange nappe-gravière.

. Ordre de grandeur des paramètres du colmatage

Concernant le colmatage "externe", la zone colmatée peut se caractériser par deux paramètres : perméabilité et épaisseur.

L'exemple précédent donne une fourchette de valeurs de perméabilité de:

- 0,25 à $0,6 \cdot 10^{-7}$ m/s pour les dix premiers centimètres du colmatage du fond

à

- 3 à $4,5 \cdot 10^{-7}$ m/s pour les couches plus profondes qui ont de 30 à 60cm d'épaisseur au total.

Des épaisseurs de 0 à 1m et plus sont citées dans la littérature, parfois pour une même gravière, car le relief du fond influe sur l'épaisseur des sédiments qui se localisent préférentiellement dans les creux.

Concernant le colmatage interne, on a pu montrer que la pénétration des fines est de l'ordre de quelques centimètres à quelques décimètres dans le cas de berges de rivières suivant leur granularité, l'étude réalisée en Haute Normandie en particulier (371) indique que l'envahissement du terrain par les fines peut s'étendre sur plusieurs dizaines de mètres, à l'aval de la gravière.

(*) Cette idée de la concentration de la "résistance" hydraulique dans les couches superficielles du colmatage est évoquée par d'autres auteurs (357)

. Prise en compte du colmatage dans les modèles

Toutes les solutions retenues, quel que soit le type de modèle, reviennent à interposer entre la gravière et l'aquifère une couche à faible conductivité hydraulique caractérisée par sa perméabilité et son épaisseur (*) soit par l'intermédiaire d'une couche de mailles (183-359), soit par l'intermédiaire d'un "coefficient de colmatage" ** (309).

La représentativité du modèle sera fonction de la connaissance de la distribution des perméabilités et des épaisseurs de la couche colmatée.

A cet égard, les mesures évoquées ci-dessus sont intéressantes mais parfois insuffisantes.

Certains auteurs (168) ont recherché des valeurs globales du "coefficient de colmatage" dans le cas de problèmes en lit mineur. Déterminées à partir de l'interprétation de pompages d'essai (99), elles ont été confirmées par les observations liées aux ondes de crue dans la nappe (169). Les valeurs trouvées oscillent entre 1 et $5.10^{-5} s^{-1}$.

Il semble que ce procédé ne soit applicable qu'au cas de gravières d'extension latérale grande par rapport à la distance du point d'observation.

Dans la mesure où une zonalité verticale du colmatage a pu être mise en évidence dans une gravière, le schéma de la figure 17b est proposée (359).

. Composition chimique et minéralogique du colmatage

Elle sera bien évidemment fonction de celle du matériau exploité et, dans une certaine mesure, du mode d'exploitation (23), de l'âge de la gravière, et de la situation de l'échantillon. A titre d'exemple, la figure 18 donne la composition chimique et minéralogique de sédiments de gravières en Alsace (372). En ce qui concerne les teneurs en éléments traces dans le même secteur, l'auteur note que "les concentrations trouvées dans les sédiments ne présentent pas d'accumulations excessives qui puissent présenter de risques ni pour la santé humaine, ni pour la biotope".

Il est intéressant de noter que les plus fortes teneurs en argile se trouvent sur le fond.

(*) Exception faite dans certains modèles anciens où l'on simulait soit des gravières imperméables, soit des gravières non colmatées.

(**) Quotient de la perméabilité par l'épaisseur de la couche colmatante, c'est l'équivalent d'un coefficient de drainance : plus il est faible, plus le colmatage est important.

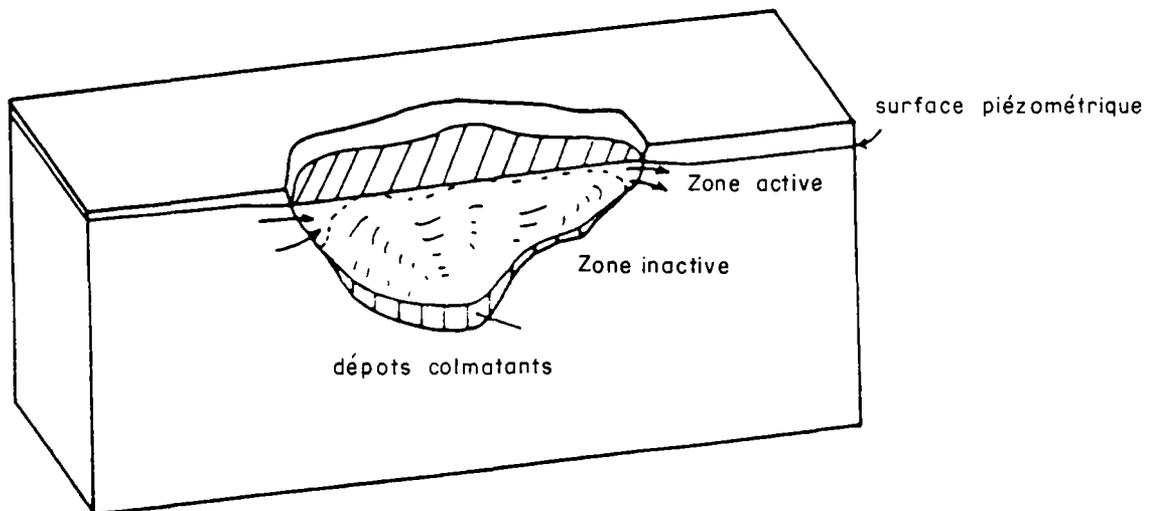


Fig. 17a - Schéma d'échanges hydrodynamiques nappe-gravière
D'APRES DURBEC, 1986)

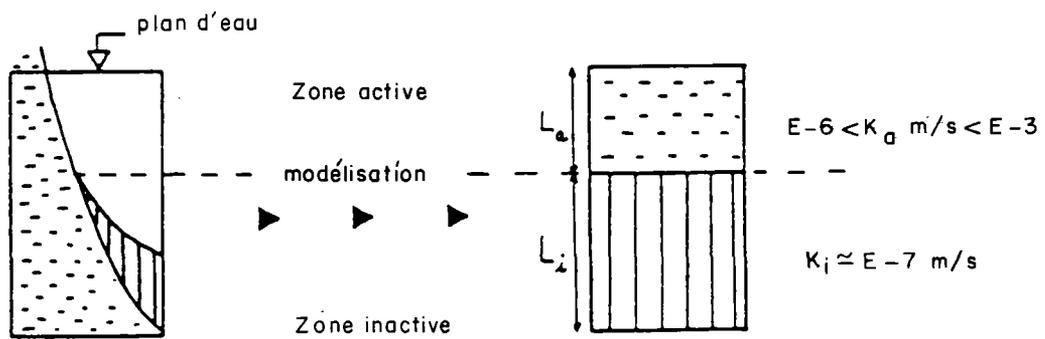


Fig. 17b - Prise en compte de la stratification des échanges
dans une modélisation. D'APRES DURBEC, 1986)

FIG. 17
ZONES DE COLMATAGE ET ZONES D'ECHANGES NAPPE-GRAVIERE

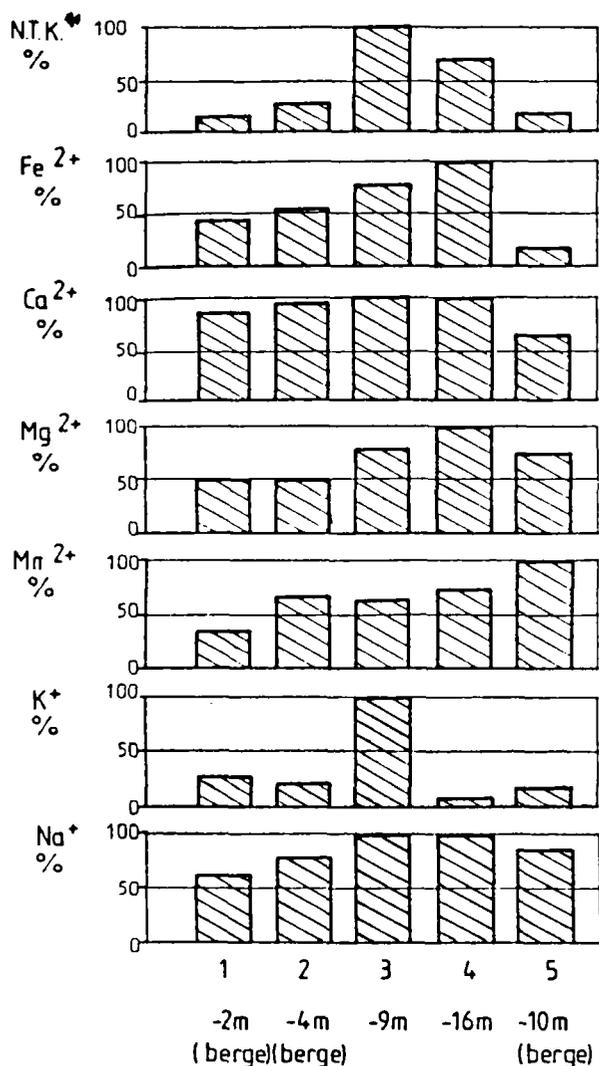


Fig. 18a - Comparaison des résultats d'analyse des vases de la gravière abandonnée. Campagne du 14 mai 1986

(*) Azote organique total (KJELDAHL)

Fig. 18b - Composition minéralogique

Sur les berges et au pied des berges, on trouve des matériaux plus grossiers, de composition comparable à celle des matériaux des berges :

WANTZ		
Argiles	10%	
Silt	30%	0,002-0,04mm
Sable fin	25%	0,04-0,2mm
Sable	35%	0,2-2,0mm

En fond de gravière, l'enrichissement relatif en éléments argileux dans les boues diminue les teneurs relatives en calcite:

	WANTZ 5	WANTZ 7
Argiles	40%	55%
Silt	30%	20%
Sable	30%	25%
Teneur en calcite	45%	35%

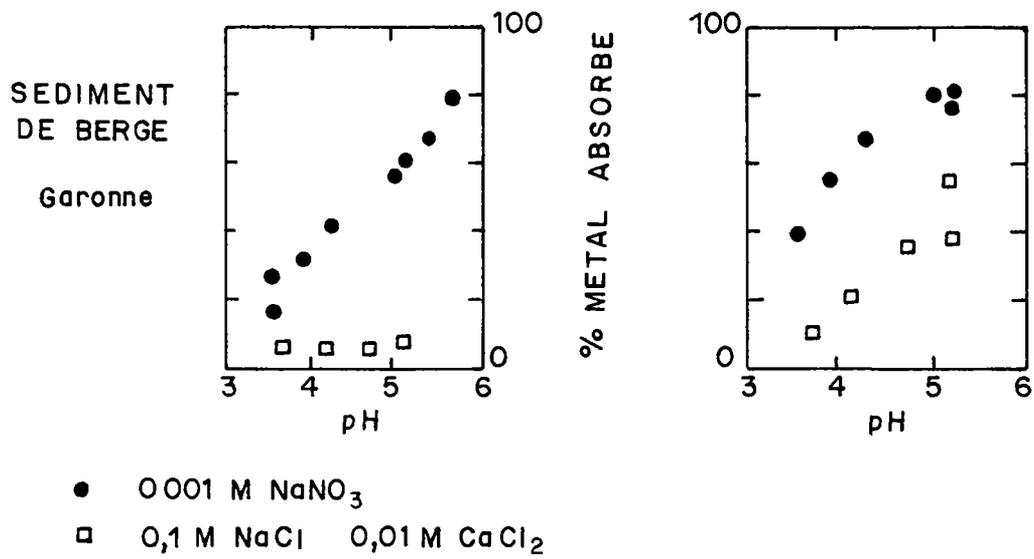


FIG. 19
INFLUENCE DU pH SUR LA RETENTION DE CERTAINS METAUX LOURDS
(BOURG, 1983), D'APRES (357)

. Rôle géochimique du colmatage

Riche en éléments fins et argileux ainsi qu'en matière organique, la couche colmatée est soupçonnée d'avoir un rôle prépondérant dans les échanges cationiques et notamment le piégeage/relargage des métaux lourds, en raison de l'importance des surfaces de contact eau/solide.

Les mécanismes majeurs d'accumulation des polluants mis en jeu (357) relèvent de :

- l'adsorption sur des solides fins
- la précipitation de composés métalliques
- la coprécipitation de métaux sur des oxydes de fer et de manganèse
- la complexation avec des composés organiques
- la diffusion dans les réseaux cristallins (des carbonates par exemple).

Lorsque les conditions du milieu, pH, potentiel rédox, etc, varient, les réactions d'équilibre qui régissent ces phénomènes jouent en sens inverse et il peut y avoir libération par mise en solution des ions toxiques ou indésirables (Fig. 19).

Si les conditions propres à l'eau de la gravière et à l'eau de la nappe sont à peu près connues, on sait peu de chose de leur évolution dans la frange constituée par le colmatage et les capacités de "filtre" ou de piège qui en résultent.

En fait, il semble que le rôle des sédiments vis à vis des métaux soit assez variable comme l'illustre la figure 20 qui montre que pour différents sédiments la capacité de piégeage est fonction de la composition du dépôt.

. Evolution du colmatage

Le colmatage s'élabore dès le début de l'exploitation et la méthode d'exploitation peut avoir une influence considérable sur son importance (23). Ainsi le comblement partiel par les terres de découverte ou le rejet des eaux de lavage dans la gravière sont des facteurs colmatants. Par la suite, il semblerait dans certains cas que la progression du colmatage se ralentisse et devienne insensible : des essais menés dans la vallée de la Garonne (79) n'ont pas montré de différence sensible de colmatage entre des gravières vieilles de 1,5 à 7 ans.

L'interprétation des observations faites en Alsace (Cf. ci-dessus) semble indiquer au contraire une progression non négligeable avec le temps: les niveaux profonds de la couche colmatée, vraisemblablement élaborés au cours de l'exploitation ou immédiatement après, entrent pour 2/3 dans le colmatage total alors que les dix derniers centimètres, résultat probable de l'activité biologique postérieure, sont responsables du dernier tiers.

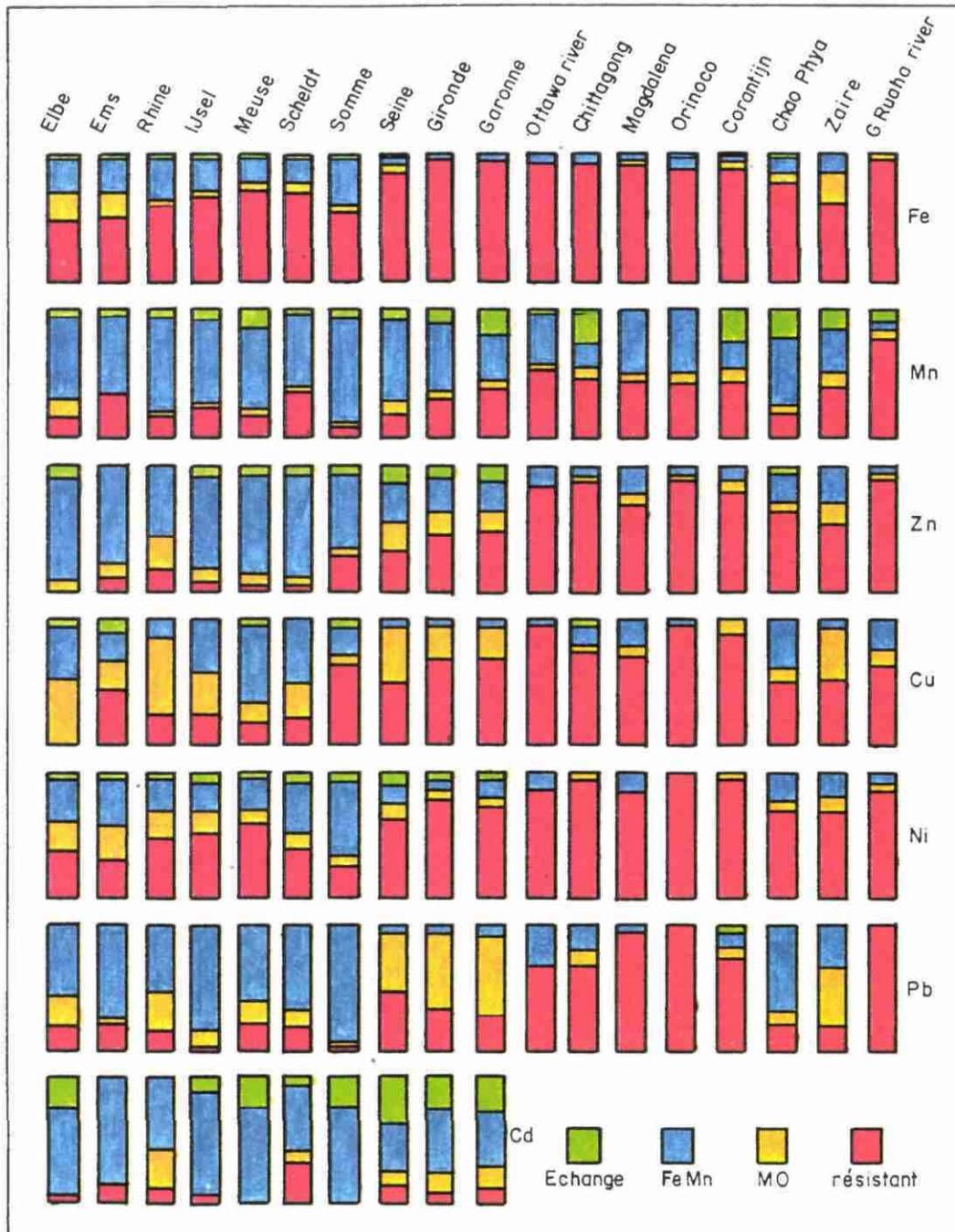


FIG. 20
 DISTRIBUTION DES METAUX PAR RAPPORT AUX DIVERSES PHASES
 DE DIFFERENTS SEDIMENTS DE RIVIERE
 D'APRES (357)

- Echange : phase échangeable
- Fe - Mn : phase réductible
- MO : phase organique
- Résistant : phase détritique

On peut remarquer que, l'évolution du colmatage étant d'allure exponentielle en fonction du temps pour certains auteurs (in 357), au-delà d'une certaine période son accroissement relatif devient imperceptible à nos moyens d'investigation, la différence entre 1 et $1,5 \cdot 10^{-6} s_{-1}$, est malaisée à mettre en évidence avec les méthodes indirectes que sont les pompages d'essais par exemple.

La seule certitude d'ordre général que l'on puisse formuler est l'accroissement inéluctable du colmatage en raison de :

- la sédimentation des matières en suspension apportées par les eaux superficielles et/ou l'atmosphère,
- la sédimentation des précipités résultant de l'activité biologique dans les carrières en eau comme on va le voir au chapitre suivant.

4.2 - Le vieillissement

Nous n'avons pas trouvé de définition précise de ce terme, non plus que d'étude traitant de ce problème en particulier.

Le vieillissement des carrières n'est abordé que par allusion à leur âge dans la littérature et il apparaît que l'on entend par là l'évolution de ses caractéristiques après exploitation et remise en état.

En toute rigueur ce terme s'applique à l'ensemble des carrières, mais plus particulièrement aux carrières en eau, hors du lit des cours d'eau. En effet, en ce qui concerne les carrières hors d'eau, leurs rapports avec les eaux souterraines sont trop distendus pour que le vieillissement les affecte de façon sensible (*); pour les carrières en lit mineur, en l'absence d'aménagements de protection, leur vieillissement affecte principalement le remaniement morpho-dynamique du lit qui a été traité au chapitre 4.2.

Le vieillissement se manifeste par des modifications des caractéristiques de la carrière dans la plupart des domaines.

(*) Hormis les questions de pollution d'origine anthropique qui sortent du cadre de l'évolution naturelle.

. Les modifications de la géométrie seront sensibles sur les berges des carrières en matériaux meubles : remodelage par érosion jusqu'à atteindre un profil d'équilibre avec comblement partiel des fonds (donc colmatage accru).

. Les modifications des caractéristiques chimiques, physiques et thermiques ou de leur rythme d'évolution seront liées à celles des échanges avec la nappe et au développement biologique dans la gravière.

. Les échanges avec la nappe vont décroître à un rythme variable suivant les cas, fonction de l'évolution du colmatage.

. Evolution biologique

La vie naît dans les carrières en eau dès les premiers stades de creusement et s'y développe ensuite durant et après la période d'exploitation pour tendre vers des écosystèmes généralement "originaux" (298) qui obéissent aux mêmes lois que les plans d'eau naturels (65-257).

Les premiers stades de la colonisation sont caractérisés par des populations instables, peu diversifiées (263-296) qui évoluent vers des bioscénoses stables, adaptées, occupant toutes les niches écologiques.

Le fonctionnement biologique d'un plan d'eau est clairement décrit en annexe 5 à laquelle nous renvoyons le lecteur. Nous en retiendrons surtout qu'il est basé sur l'équilibre entre les facteurs :

- trophicité (richesse en nourriture)
- thermicité (valeurs, distribution et fluctuation de la température)
- luminosité (intensité de l'éclairement)
- dynamique des échanges

qui conditionne les rapports entre les maillons successifs de la chaîne alimentaire :

- l'eau chargé de substances minérales, organiques, en suspension, en solution;
- le phytoplancton (végétal) qui transforme le minéral en organique (en produisant de l'oxygène)
- le zooplancton (animal) qui consomme le phytoplancton
- les poissons qui consomment du phytoplancton, du zooplancton ou d'autres poissons
- les décomposeurs qui transforment l'organique en minéral (en consommant de l'oxygène).

Pour une gravière donnée, la thermicité dépend de paramètres relativement immuables qui sont ses dimensions et le climat local. Il y a donc peu de chances qu'elle évolue globalement avec le temps.

La luminosité dépend également du climat et des dimensions de la gravière, mais aussi de la richesse planctonique et végétale des zones superficielles (hipolimnion) éminemment variables dans le temps. La trophicité dépend de la composition des apports, relativement constants, et de la dynamique des échanges qui a tendance à décroître avec le temps en ce qui concerne les échanges avec la nappe, en raison du colmatage progressif des fonds et des berges, lui-même résultant pour partie de l'activité biologique par précipitation de carbonates lors des réactions de photosynthèse (257).

Le vieillissement d'une gravière en eau apparaît donc comme résultant, au moins en partie, du ralentissement de ses échanges avec la nappe associée.

Au cours de ce processus, l'équilibre biologique peut être rompu, parfois dès les premiers stades, en raison d'apports nutritifs en excès, il y a alors "eutrophisation" et asphyxie du plan d'eau qui n'arrive plus à boucler un cycle biologique complet : les apports nutritifs à la gravière ne sont plus compensés par des départs ou des prélèvements équivalents.

La description détaillée du phénomène d'eutrophisation, illustrée par la figure 21, n'entre pas dans notre propos et nous renvoyons le lecteur à l'annexe 5 ou à la littérature (257-274-305).

L'asphyxie des vieilles gravières par eutrophisation est-elle inéluctable ? Il ne semble pas. Des aménagements sont proposés qui visent à améliorer ou rétablir l'équilibre biologique, sachant qu'il dépend dans une large mesure de la diversité des biocénoses et de l'intensité des échanges avec le milieu environnant. Ceci peut être obtenu par extension des zones de bordure de contact entre milieux différents qui sont des lieux privilégiés d'échange.

Ainsi, il est recommandé (257) d'allonger le contour et de varier le profil des berges, de créer des flots et des hauts fonds. On peut imaginer dès lors de laisser des berges noyées abruptes à l'aval hydraulique des gravières de manière à ralentir ou supprimer le colmatage et maintenir le rythme des échanges.

Le marnage résultant des battements de la nappe est également un élément favorable (257-296).

Mais, des études à caractère pluridisciplinaire sont généralement recommandées pour appréhender les phénomènes mis en jeu dans toute leur complexité, et proposer des solutions économiquement valables pour la sauvegarde ou la réhabilitation des anciennes gravières en eau.

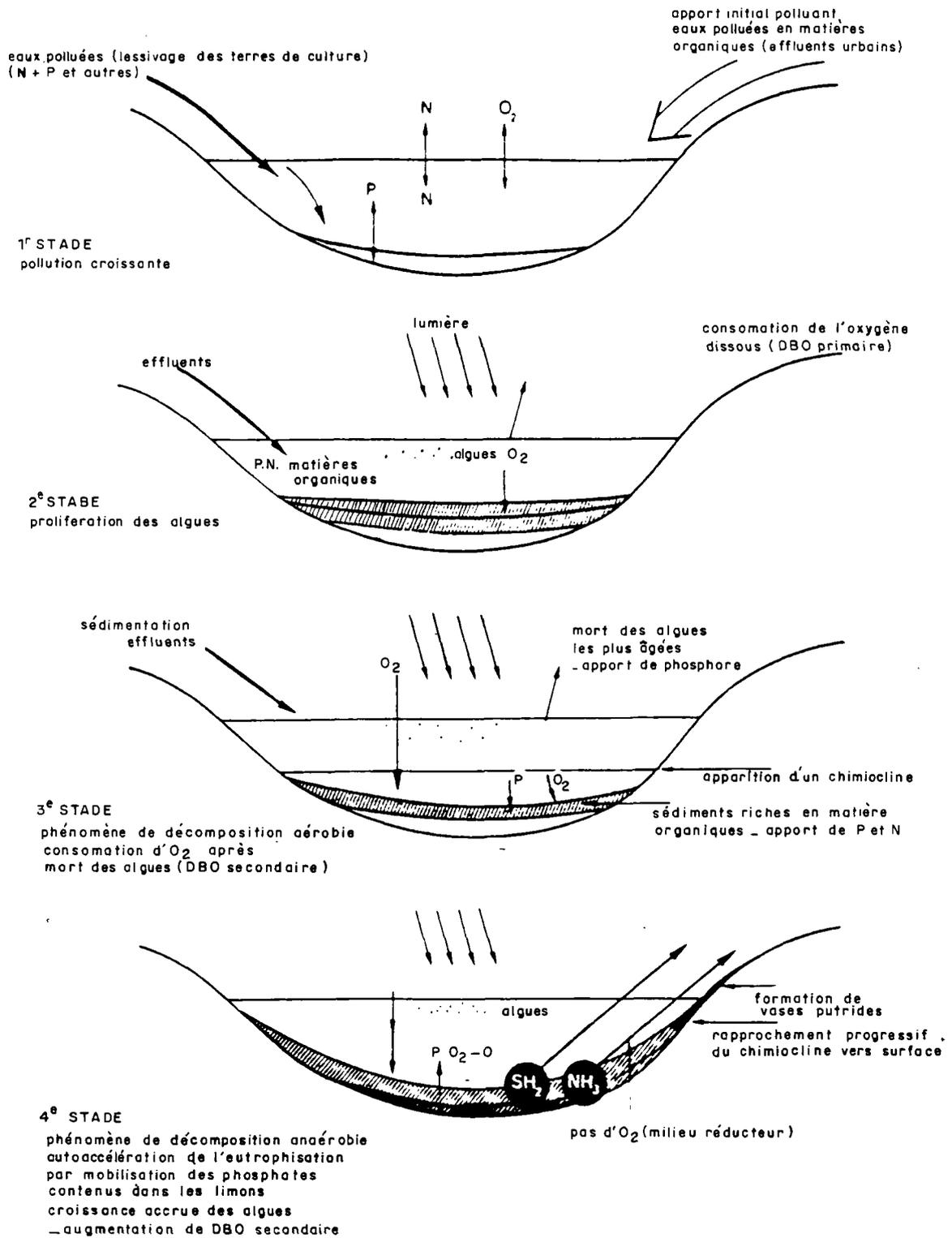


FIG. 21
SCHEMA DES PHASES DE L'EUTROPHISATION EN MILIEU LENTIQUE, D'APRES (359)

4.3 - Conclusion

Le colmatage, des carrières en eau principalement, apparaît comme un phénomène inéluctable qui s'inscrit dans les processus naturels d'évolution morphodynamique des bassins. Il débute, dès les premiers stades de l'exploitation par mise en suspension plus ou moins poussée, piégeage et sédimentation, des fines résultant de l'extraction ou du traitement des matériaux, ainsi que le cas échéant du comblement partiel des excavations par les terrains de découverte. Il se poursuit principalement par sédimentation de débris divers et de précipités chimiques résultant en grande partie de l'activité biologique. Son action limitative sur les échanges nappe-gravière est bien identifiée et quantifiable cas par cas avec une précision fonction des données disponibles. Le rythme de son évolution dans le temps est plus difficilement appréciable car lié à nombre de facteurs tels que les méthodes d'exploitation, le niveau et la nature des échanges avec la nappe, le niveau d'activité biologique dans la gravière, etc.

Son rôle de filtre vis à vis des polluants est mal connu, voire reste à démontrer à terme.

Si, en raison de la limitation progressive des échanges avec la nappe, le colmatage est le facteur déterminant du vieillissement des carrières, c'est-à-dire de leur évolution naturelle, il n'est pas nécessairement responsable des phénomènes d'eutrophisation qui sont plutôt liés à l'équilibre des cycles de l'azote et surtout du phosphore dans l'écosystème constitué par le plan d'eau et son environnement. On a des raisons de penser que, pour peu que l'évolution globale des échanges nappe-carrière soit suffisamment lente cet équilibre, sans être pour autant rompu, pourra voir ses termes modifiés par simple adaptation de l'écosystème.

La question : faut-il ou non colmater une carrière ? ne peut trouver de réponse que par rapport à des objectifs de qualité de l'environnement prédéterminés et adaptés à une réalité bien cernée.

5 - RECOMMANDATIONS ET AXES DE RECHERCHE

La plupart des ouvrages à caractère synthétique soulignent la diversité des cas d'espèce possibles et, partant, la difficulté d'énoncer des règles générales notamment en ce qui concerne les modalités particulières applicables à l'ouverture, l'exploitation et la remise en état ou le réaménagement d'une carrière déterminée. Toutefois, celles-ci seront d'autant plus aisées à établir qu'elles pourront s'appuyer sur une politique de gestion globale de l'espace, définie sur la base d'inventaires réalisés par des équipes pluridisciplinaires, acceptée et appliquée par les collectivités locales, région, département ou commune (221, 265, 288, 364).

Dans la pratique, il est apparu cependant possible de répondre, au moins partiellement, à quelques préoccupations de l'administration telles qu'elles ressortent d'une enquête réalisée dans le cadre de ce travail principalement auprès des Directions régionales de l'Industrie et de la Recherche (*). On trouvera les résultats de l'enquête et les réponses que nous pensons pouvoir y apporter en annexe 8.

Si les connaissances actuelles permettent de mieux apprécier l'interaction entre les carrières et les eaux superficielles et souterraines, des progrès sont encore nécessaires en vue d'affiner les techniques de prévision ou de réaménagement.

Un effort pourrait être consenti dans le domaine hydromécanique pour améliorer la précision des modèles érosion-transport.

Dans les domaines hydrochimique et hydrobiologique, des expérimentations devraient être menées de manière à préciser le potentiel "épurateur" des plans d'eau en fonction de leurs caractéristiques géométriques (superficie, forme, profondeur, alimentation).

Une méthode simple et économique de mesure du colmatage des berges et des fonds reste à découvrir et à mettre au point, tâche ardue face à la complexité du problème.

Enfin, il apparaît indispensable de préciser le rôle épurateur ou retardateur des divers types de terrains saturés (couche colmatante notamment) ou désaturés, vis à vis des diverses catégories de polluants connues, afin de:

- mieux déterminer l'épaisseur de la couche de protection de la nappe à laisser en place dans le cas des carrières en eau,
- d'élargir et d'affiner le choix des réaménagements possibles.

(*) Chargées de la surveillance des carrières et installations classées dans le cadre de la politique de protection de l'environnement.

6 - CONCLUSIONS

Hors les risques de pollution générés par les dépôts qu'elles sont susceptibles de recevoir normalement ou accidentellement, les carrières interfèrent d'autant plus avec les eaux superficielles ou souterraines que leurs domaines s'interpénètrent plus largement et permettent des échanges plus intenses mais, sauf dans le cas des exploitations en lit mineur, ces interactions sont soit faibles ou limitées dans l'espace, soit prévisibles et maîtrisables grâce à des études et des aménagements appropriés.

Ainsi les "*carrières hors d'eau* ne peuvent influencer au pire que sur la *qualité des eaux souterraines* du fait de la modification des terrains qui surmontent la nappe et des dépôts qui peuvent y être faits.

Les *carrières en nappe fermées* accroissent davantage la vulnérabilité des nappes aux pollutions accidentelles, mais leur action sur la *qualité de l'eau* - oxygénation, augmentation des matières en suspension, décarbonatation, dénitrification, déferrisation, etc. - s'avère globalement neutre voire positive même si elle se limite en aval à une frange de 2 à 300m de large au-delà de laquelle elle n'est plus décelable. Cette influence bénéfique peut s'inverser lorsque des apports azotés et phosphatés excessifs conduisent à une évolution biologique particulière, l'eutrophisation, qui entraîne une dégradation de la qualité du plan d'eau.

Dans le domaine *hydrothermique*, les fluctuations de température des plans d'eau peuvent altérer de plusieurs degrés centigrades la sténothermie des nappes, jusqu'à une dizaine de mètres de profondeur, à l'aval immédiat, impact qui s'amortit avec la distance, devient imperceptible à 250m au plus, et ne modifie pas sensiblement la température des cours d'eau qu'elles alimentent.

Elles induisent toujours des influences *hydrodynamiques* qui peuvent être importantes par leurs conséquences - assèchements ou inondations, modification de débit des captages, etc. - mais que l'on sait prévoir et maîtriser de façon plus ou moins précise selon la connaissance que l'on a du terrain.

Les *carrières en nappe ouvertes* sur des cours d'eau interviennent globalement comme les précédentes avec en outre un risque d'impact négatif sur l'équilibre *biologique* de cours d'eau soit par déversement excessif de matières en suspension durant l'exploitation, soit par introduction d'espèces propres à la gravière, impact qui peut être limité ou éliminé par des dispositifs appropriés.

L'impact *thermique* sur les cours d'eau - 0,1 à 0,5°C - globalement, est négligeable en regard des fluctuations naturelles de la température des rivières.

Les *carrières en lit mineur* enfin interfèrent, parfois de façon notable ou insidieuse, dans tous les domaines excepté le domaine hydrothermique.

L'extraction libère des fines qui peuvent détruire l'équilibre *biologique* en aval sur plusieurs centaines voire milliers de mètres, selon des processus très divers, nuisances que l'emploi de méthodes d'extraction particulières ne peut au mieux que limiter.

Les excavations modifient le profil longitudinal et transversal de la rivière qui tend à le rééquilibrer par *érosion des berges et érosion régressive*, menaçant les aménagements riverains. On aboutit généralement très vite à un *abaissement de la ligne d'eau* qui entraîne celui de la nappe alluviale associée avec toutes les conséquences sur les aménagements qui en dépendent.

Ces impacts sont d'autant plus redoutables qu'ils peuvent se *poursuivre de façon insidieuse longtemps après la fin des exploitations* et que les palliatifs classiques - les seuils - n'entraient efficacement à l'échelle du temps humain, que l'érosion régressive.

Les phénomènes de *colmatage* sont inévitables à terme. Ils dépendent bien souvent des méthodes d'exploitation mais se poursuivent ensuite sous l'action de processus chimiques et biologiques, particulièrement dans les carrières en nappe, leur rôle de filtre ou de simple piège temporaire vis à vis des substances, polluantes ou non véhiculées par les eaux, est encore mal cerné mais il est clair que, selon les aménagements prévus après la période d'exploitation, on peut être amené à favoriser ou au contraire chercher à réduire le colmatage.

Ceci souligne tout l'intérêt qui s'attache à ce que les carrières s'inscrivent dans le cadre d'une politique de *gestion de l'espace* promue en concertation avec les pouvoirs publics, les collectivités locales, les producteurs et utilisateurs, les associations.



BRGM

**MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE ET DE LA RECHERCHE
TAXE PARAFISCALE SUR LES GRANULATS**

**MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT
BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES**

**INTERACTIONS ENTRE LES CARRIÈRES ET
LES EAUX SOUTERRAINES
ET SUPERFICIELLES**

Bilan des connaissances techniques

ANNEXES

**Novembre 1988
87 SGN 391 PAC**

**BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
Service Géologique Régional Provence - Alpes - Côte d'Azur
Domaine de Luminy - Route Léon-Lachamp - 13009 Marseille
Tél.: 91.41.24.46 - Télex : BRGM 401585 F**

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1

Effets des gravières sur le comportement hydrodynamique des nappes d'eau souterraines (52)

ANNEXE 2

Impact des extractions de granulats en rivière sur la morphologie des lits
Extraits rapport 84 SGN 049 EAU (326)

ANNEXE 3

Incidences des extractions de granulats alluvionnaires dans le lit mineur des cours d'eau. Résumé étude L. TROLEZ (354)

ANNEXE 4

Carrières et pollution des eaux de surface (102)

ANNEXE 5

Illustrations de l'impact hydrobiologique sur les cours d'eau (149)

ANNEXE 6

Evolution des teneurs en nitrates des lacs de gravières. Effets sur les eaux souterraines dans le département de la Haute-Garonne
Extrait du DEA de B. DONVILLE (356)

ANNEXE 7

L'eutrophisation des lacs - Causes et conséquences (65)

ANNEXE 8

Réponses aux préoccupations courantes en matière d'interactions eaux-carrières

ANNEXE 1

**EFFETS DES GRAVIERES SUR
LE COMPORTEMENT HYDRODYNAMIQUE
DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINES**

(52)

Effets des gravières sur le comportement hydrodynamique des nappes d'eau souterraines

PAR

P. Peaudecerf

Ingénieur au B.R.G.M.

Les énormes besoins en matériaux de construction et de remblai ont transformé bien des plaines alluviales de notre pays en une succession d'excavations. Dans la plupart des cas, ces formations alluviales constituent des aquifères de bonnes caractéristiques et les excavations atteignent le niveau de la nappe. Elles constituent alors autant de plans d'eau.

En règle générale, dans les années passées, on a tenté de maintenir ces extractions de graviers hors des zones où les eaux souterraines étaient exploitées. Les ressources en matériau s'amenuisant au cours des années, la pression des besoins fait que les exploitants des sablières et des gravières tentent de s'implanter bien plus près des captages d'eau. Ce voisinage, cette exploitation simultanée de l'eau et du gravier sont-ils compatibles ? Avant d'avancer une réponse, il convient de bien mesurer les effets positifs ou négatifs de la présence des gravières au sein des nappes. Elles peuvent influencer sur le comportement hydrodynamique des eaux souterraines, sur les niveaux et les écoulements. Suivant leurs positions par rapport au système aquifère, elles tendent à augmenter l'alimentation ou le drainage des nappes. Par leurs éventuelles communications avec les cours d'eau, par le colmatage de leurs berges, elles peuvent constituer un cheminement privilégié ou, au contraire, un obstacle à l'écoulement des eaux souterraines.

Mais ce sont les effets des gravières sur la qualité des eaux qui viennent le plus naturellement à l'esprit. En contact avec l'atmosphère et sous l'influence du rayonnement solaire, les eaux des gravières se peuplent d'organismes animaux ou végétaux. Leurs caractères chimiques ou

biologiques peuvent être notablement modifiés. Ces phénomènes ont fait l'objet d'études pleines d'intérêt.

D'autre part, véritable mise à nu de la nappe, les carrières constituent au sein des aquifères une zone très vulnérable à la pollution. Même dans les cas où le dépôt des matières polluantes, comme les déchets industriels ou ménagers, est officiellement interdit, il est en pratique très difficile de l'empêcher totalement. La présence de gravières en eau multiplie les risques de pollution des eaux souterraines.

Or, si l'on fait appel en priorité aux eaux souterraines pour l'alimentation des populations urbaines ou rurales, c'est principalement à cause de leurs qualités biologiques et chimiques.

Mais ces pollutions tant redoutées ne sont à craindre que si des transferts notables peuvent avoir lieu entre le plan d'eau libre et la nappe.

Ainsi, que ce soit pour évaluer les perturbations des niveaux et des écoulements de la nappe consécutives au creusement de gravières, ou encore pour prévoir la vulnérabilité des réserves en eau souterraine à une éventuelle pollution, il est nécessaire de bien connaître l'hydrodynamisme des systèmes gravière-nappe.

Dans les lignes qui suivent, nous nous proposons de passer rapidement en revue les facteurs les plus importants qu'il faudra prendre en compte pour cette étude. A cette occasion, nous évoquerons leurs effets principaux. Ensuite, nous étudierons les moyens dont dispose l'hydrogéologue pour évaluer ces paramètres et prévoir leurs effets. Nous illustrerons notre propos par des références à des études récentes ou actuelles.

Les paramètres principaux du système nappe-gravière

Les effets du creusement d'une gravière sur les niveaux de la nappe, les perturbations apportées à son écoulement ou encore les débits d'échange entre gravière et nappe dépendent des facteurs géométriques ou physiques suivants :

IMPORTANCE DU COLMATAGE DES BORDS ET DU FOND

Ce premier paramètre évoqué constitue un facteur essentiel de l'influence d'une gravière sur une nappe. Habituellement, seuls le fond et les berges avales connaissent un colmatage durable. Ses effets sont évidents comme nous l'avons schématisé à la figure 1 :

- une carrière non colmatée accroît les écoulements souterrains : la partie de l'aquifère à son amont est rabattue, à l'aval les niveaux sont relevés. Il se produit une convergence des filets fluides vers l'excavation. Les débits d'échange vers la nappe sont maximaux;
- au contraire, si les berges sont colmatées, la carrière constitue pour les écoulements souterrains un obstacle qui doit être contourné. Les niveaux de la nappe s'élèvent à l'amont, ils sont rabattus à l'aval. Il peut même y avoir un débordement du plan d'eau de la gravière. Les débits d'échange vers la nappe et les risques de pollution sont donc minimales.

Le colmatage est le résultat de phénomènes divers et mal connus. Il peut être provoqué par le dépôt des matériaux les plus fins lors de l'extraction des sables et graviers, par un processus physico-chimique ou même biologique. Dans l'état actuel des connaissances, et en attendant des études poussées de ces phénomènes, il est très difficile de prévoir son intensité et ses variations au cours des années à venir. En cas de besoin, on peut tenter d'accélérer ce colmatage par des procédés mécaniques.

PÉNÉTRATION DE L'EXCAVATION

On ne s'intéresse qu'aux gravières atteignant le niveau de la nappe. On peut considérer les deux cas de la figure 2. Si les berges et le fond ne sont pas colmatés, la profondeur de pénétration n'aura pratiquement pas d'effet car les écoulements dans les formations restées en place en dessous seront négligeables par rapport à ceux passant dans la carrière. Au contraire, pour les carrières colmatées, les écoulements ne seront possibles que dans la tranche des matériaux restés en place et la transmissivité effective sera diminuée en proportion de la pénétration de l'excavation.

EMPLACEMENT DES GRAVIÈRES PAR RAPPORT AU SYSTÈME AQUIFÈRE

La position de ce plan d'eau libre importe bien évidemment. En amont de la zone aquifère considérée, il améliore son alimentation ou la diminue suivant le degré du colmatage des bords. A cet emplacement les risques de pollution sont les plus importants. Au contraire, à l'aval de la nappe,

c'est son drainage qui est augmenté ou diminué suivant ce colmatage.

RELATIONS AVEC LES COURS D'EAU

Les relations des plans d'eau des excavations avec les cours d'eau permettent de maintenir, au milieu du système aquifère, un niveau imposé avec tout ce que cela entraîne comme conséquences sur les écoulements et, notamment, l'augmentation du drainage ou de l'alimentation de la nappe.

La position même de ces relations peut avoir un effet important. Considérons, par exemple, le cas schématisé à la figure 3, d'une sablière allongée parallèlement à un cours d'eau de pente non négligeable. On suppose qu'il existe une nappe dont l'écoulement général est approximativement parallèle à celui du cours d'eau. Suivant que le canal de liaison sera situé à l'amont ou à l'aval, les débits d'échange se feront de la gravière vers la nappe ou le contraire et, en conséquence, on observera une alimentation ou un drainage accru de la nappe.

FORMES ET DIMENSIONS DES EXCAVATIONS; ORIENTATION PAR RAPPORT A L'ÉCOULEMENT DE LA NAPPE

Une carrière en eau impose, au milieu de la nappe, un niveau pratiquement horizontal sur toute sa surface. On conçoit que son influence dépende de sa forme et de ses dimensions.

Une excavation de forme allongée (cf. fig. 4), dont la plus grande dimension est perpendiculaire à l'écoulement naturel des eaux souterraines, aura peu d'effet sur les écoulements. Au contraire, si elle est creusée parallèlement à ces écoulements, les rabattements provoqués à l'amont et les élévations du niveau à l'aval (ou les risques de débordements du plan d'eau en cas de berges colmatées) seront très importants.

Dans cette dernière configuration, et comme l'expliquent les figures 5 et 6, le morcellement de l'exploitation peut permettre d'éviter ces débordements même si le colmatage des berges et la topographie ont tendance à les provoquer.

CARACTÉRISTIQUES DU SYSTÈME AQUIFÈRE

Le comportement de la nappe sous l'influence d'éventuelles gravières dépendra bien évidemment de ses caractéristiques propres.

Il nous suffira d'énumérer quelques-uns de ces paramètres omniprésents dans les études hydrogéologiques : la piézométrie, l'extension de la nappe, ses limites et leurs natures, les paramètres hydrodynamiques dont l'hétérogénéité peut jouer un rôle important. Il faut souligner que la propagation d'une pollution à partir d'une gravière peut être influencée par les éventuelles différences des perméabilités de chaque horizon. Ce phénomène est d'ailleurs commun à tous les transferts de masse dans les milieux poreux stratifiés.

Nous pouvons aussi noter qu'il faudra évidemment considérer la profondeur de l'eau et la topographie pour évaluer les risques de débordement.

Enfin, l'implantation d'un plan d'eau est la cause de pertes par évaporation, mais celles par l'évapotranspiration,

due aux végétaux qui croissaient sur le sol disparu, peuvent être plus importantes. D'autre part, le décapage de couches superficielles imperméables peut favoriser l'alimentation par les pluies, et la création de bassin peut accroître l'infiltration d'eaux de ruissellement. Ces phénomènes dépendent de la surface des exploitations. Ils sont habituellement de faible importance.

Moyens disponibles pour évaluer ces paramètres et prévoir leurs effets

Pour apprécier les effets de ces facteurs sur le comportement de la nappe, nous avons à notre disposition des méthodes de mesure et d'interprétation. Sur certains points cependant, il apparaît nécessaire d'approfondir la méthodologie.

MÉTHODES DE MESURE

Il n'est pas utile d'évoquer les paramètres géométriques. Quant aux paramètres hydrogéologiques, leurs relevés et mesures sont tellement utilisés, qu'on peut ne pas les rappeler ici. Il faut cependant faire une mention spéciale pour la mesure des perméabilités : répartition verticale des perméabilités des différents horizons et surtout évaluation du colmatage.

— Le relevé systématique des perméabilités sur une même verticale est habituel en géotechnique. Les méthodes de mesure dans les forages, basées sur l'injection ou le pompage d'eau, sont relativement coûteuses. Ces coûts peuvent ne pas être acceptables dans les études des influences gravière-nappe. Dans les forages adéquats, un relevé des vitesses au micromoulinet pourra donner des résultats suffisants pour évaluer l'hétérogénéité verticale des perméabilités. Il s'agit sans doute de la méthode la plus appropriée.

— On a vu plus haut combien le colmatage des berges et du fond de la gravière était le paramètre essentiel. A défaut de bien connaître le processus de sa formation, il apparaît au moins nécessaire de savoir le mesurer, sur la gravière elle-même ou sur des gravières plus anciennes, pour connaître son évolution dans des conditions comparables. Or, nous avons comme moyens pratiques de mesure :

- le pompage d'essai dans un forage proche du bord du plan d'eau que l'on veut tester;
- l'interprétation de la propagation dans la nappe d'une onde de pression à partir d'une variation du plan d'eau;
- le prélèvement d'échantillons et leur analyse en laboratoire.

Disons tout de suite que cette dernière technique est très délicate, car elle consiste à prélever des échantillons non consolidés en milieu aqueux. Elle présente l'inconvénient d'être très localisée. La seconde méthode est rarement utilisable car les fluctuations de la nappe ne dépendent pas directement de celles du plan d'eau libre voisin, mais le plus souvent elles ont les unes et les autres la même cause, les précipitations. Seuls les cas où la carrière est en relation avec un cours d'eau de quelque importance peuvent

être traités ainsi. On obtient la diffusivité moyenne de la partie du milieu poreux située entre le forage de mesure et le plan d'eau libre.

Enfin, les pompages d'essai constituent la base de la méthode la plus générale et la plus sûre. Leur interprétation n'est pas toujours aisée. Un colmatage très poussé se détectera bien évidemment par l'apparition des effets d'une barrière étanche. Dans le cas contraire, on observera une stabilisation des niveaux. Le temps d'apparition de cette stabilisation nous permettra de calculer la « distance fictive » du plan d'eau si l'on suppose le milieu aquifère homogène. S'il n'y a pas de colmatage, cette distance est exactement égale à la distance séparant le plan d'eau du forage. L'intensité du colmatage sera donc matérialisée par cette « distance fictive ». Au cours des interprétations ultérieures sa valeur sera directement utilisable dans les calculs ou les modèles.

Il n'en demeure pas moins qu'un effort important doit être effectué pour connaître le processus de formation du colmatage et pour mettre au point des méthodes pratiques pour le mesurer.

MÉTHODES D'INTERPRÉTATION

Il s'agit d'évaluer le comportement du système gravière-nappe. Suivant la complexité du problème un simple calcul suffira ou il faudra faire appel à un modèle de simulation. La gamme importante des modèles en hydrogéologie permet de simuler toutes les conditions possibles.

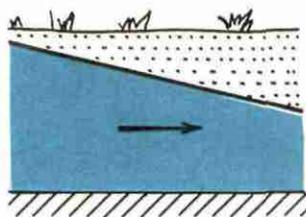
On peut souligner les grands services que peuvent rendre dans ce but les modèles analogiques par la technique du papier conducteur. Leur simplicité d'emploi, leur coût très faible, la faculté de reproduire aisément les formes géométriques des gravières et des limites, en font des outils très appropriés à ce problème. Localement l'homogénéité des transmissivités peut être souvent acceptée. Mais la simulation des colmatages manque évidemment de finesse. Ces paramètres restent pour la plupart des cas mal connus et la simulation des conditions extrêmes est parfois suffisante.

Si on recherche plus de précision, pour un aménagement plus important par exemple, on peut mettre en œuvre des techniques plus sophistiquées. On peut citer les modèles mathématiques à mailles régulières ou de dimensions variées pouvant tenir compte des effets éventuels de nappe libre. Ils peuvent simuler des débordements de la nappe et du plan d'eau. Les données géométriques et hydrogéologiques à rassembler sont évidemment plus nombreuses.

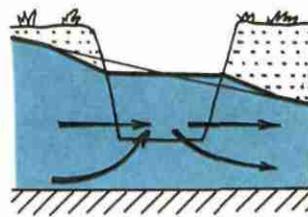
Les simulations peuvent être limitées au régime permanent. Elles peuvent être suivies de la simulation de la propagation d'un front de pollution à partir d'un point quelconque de la nappe.

Ces modèles permettent de répondre complètement aux questions telles que les suivantes :

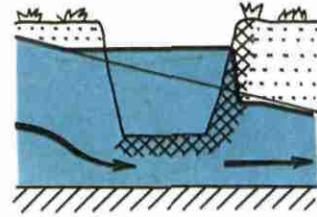
- Quel sera le rabattement de la nappe à l'amont du plan d'eau ? L'élévation du niveau à l'aval ?
- Quelle sera l'influence de la gravière en eau sur tel captage, sur son niveau ou son débit ?
- Y a-t-il des risques de débordement du plan d'eau ?
- Quelle sera la proportion du débit de captage provenant du plan d'eau ? Quel est le temps de cheminement de l'eau entre la gravière et le captage ?
- Etc.



Transmissivité naturelle
 T_0

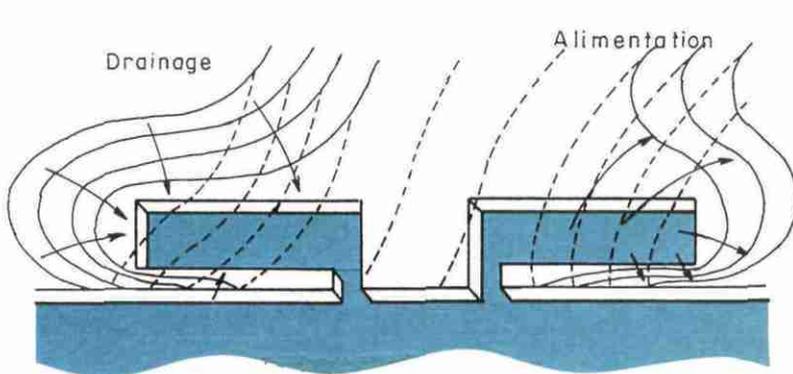


Carrière non colmatée
 $T = \infty$

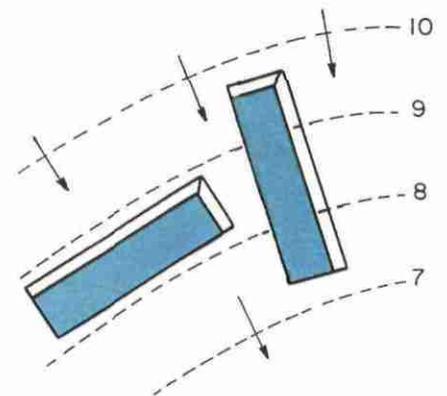


Carrière colmatée
 $T < T_0$

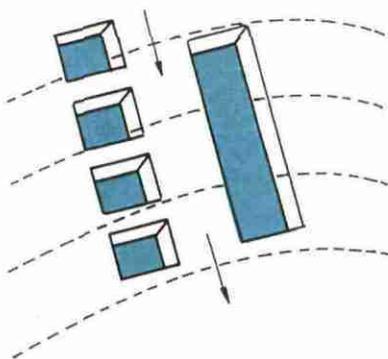
2 / Effet de la pénétration de l'excavation



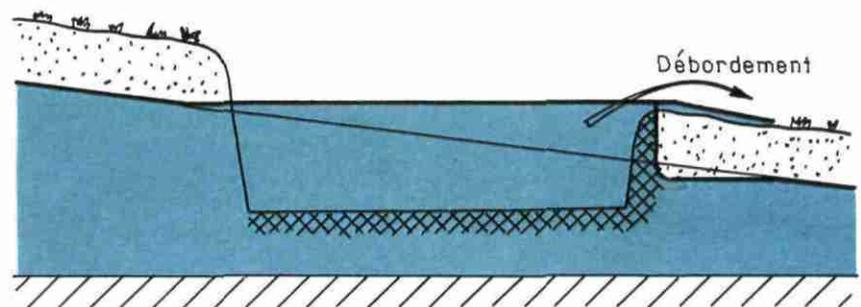
3 / Effets des relations avec les cours d'eau



4 / Exemple d'orientation des gravières



5 / Exemple de morcellement des excavations



6 / Effets du morcellement des gravières colmatées

ANNEXE 2

**IMPACT DES EXTRACTIONS DE GRANULATS EN RIVIERE
SUR LA MORPHOLOGIE DES LITS**

Possibilités d'intervention du B.R.G.M.

EXTRAITS RAPPORT BRGM N° 84 SGN 049 EAU

(326)

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

Département « EAU »

- 1 -

POSITION DU PROBLEME - RAPPELS

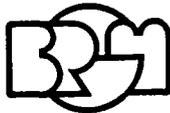
* * *

IMPACTS DES EXTRACTIONS DE GRANULATS EN RIVIÈRE SUR LA MORPHOLOGIE DES LITS

Possibilités d'intervention du B.R.G.M.

par

R.E. QUÉLENNEC



ATELIER « ÉROSION-TRANSPORTS SOLIDES »

Domaine de Luminy - Route Léon-Lachamp, 13009 Marseille - Tél.: (91) 41.24.46

Rapport du B.R.G.M.

84 SGN 046 EAU

Janvier 1984

1.1. MODES DE TRANSPORTS HYDRAULIQUES DES SÉDIMENTS

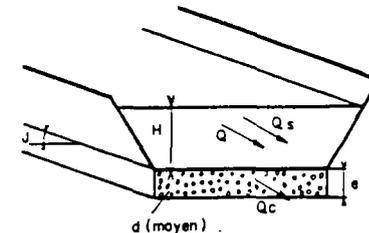
Toute rivière naturelle dans laquelle transite un débit Q est le siège de transports de sédiments.

On distingue deux modes fondamentaux de transports solides (charriage et suspension) qui ont lieu essentiellement pendant les crues.

Le transport en suspension concerne les sédiments fins en provenance des bassins amont, des berges, ou stockés provisoirement dans le lit. Le flux Q_s de sédiments transportés par suspension concerne, en général, assez peu le renouvellement des stocks d'agrégats exploités dans le lit des rivières. Par contre, ces sédiments participent généralement au phénomène de colmatage-sédimentation des souilles et retenues.

Le transport des sédiments de fond par charriage, à travers une section donnée d'une rivière, a lieu pour une gamme de débits supérieurs au débit critique d'entraînement des sédiments, qui est fonction de H , j et d . Le charriage s'effectue par translation du lit (fond plat) ou par dunes, rides et anti-dunes.

H = hauteur d'eau
 j = perte du lit
 d = diamètre moyen
des sédiments



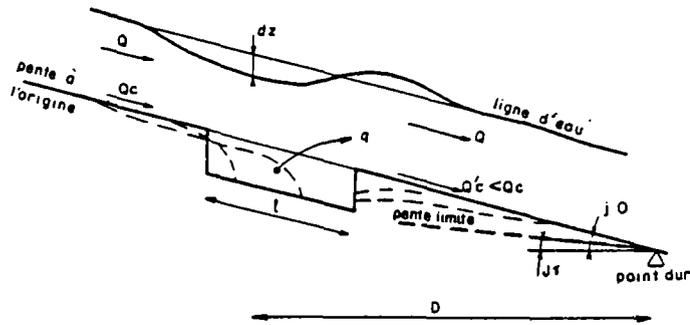
L'épaisseur "e" des sédiments remaniés par une crue est fonction de Q, H et d. Sur le Petit-Rhône, $e \approx 1,5$ m pour $Q = 550$ m³/s.

Le débit solide de charriage Q_c s'estime généralement à partir de modèles semi-empiriques basés sur les lois d'écoulement et de transport des sédiments en régime uniforme et permanent : modèles de Meyer-Peter-Müller et Einstein-Brown.

Ces estimations peuvent être vérifiées, dans certaines conditions, par des mesures in situ (échantillonneur de charriage pour les sables et graviers fins, marquage) et des observations de terrain (comblement de souilles et de retenues).

La connaissance du débit de sédiments charriés Q_c est essentielle pour les études d'impact de gravières en rivière, ainsi que pour le dimensionnement des ouvrages de protection des lits et aménagements hydrauliques.

1.2. INFLUENCE DES DRAGAGES EN RIVIERE SUR L'EVOLUTION MORPHOLOGIQUE DES LITS



Du fait de la souille d'extraction de longueur l , la ligne d'eau s'abaisse en amont d'une quantité dz , fonction de la profondeur de la souille, de la longueur l et de la pente du lit J_0 . Cela a pour effet d'augmenter les vitesses d'écoulement en amont de la souille ce qui produit une érosion régressive (vers l'amont) d'autant plus sévère que dz est important et que le dragage est permanent.

Les apports solides charriés Q_c de provenance de l'amont sont stockés plus ou moins complètement dans la souille où sont extraits qm³ de sédiments en moyenne. Pour simplifier, on peut considérer que tout se passe comme si le débit solide Q_c à l'aval de la souille prenait la valeur ($Q_c - q$).

Le débit liquide restant inchangé, le lit de la rivière à l'aval de la souille va s'adapter progressivement pour écouler un débit solide réduit $Q_c < Q$. La saturation en débit solide n'étant pas atteinte, la rivière qui possède alors un pouvoir érosif élevé, rétablira l'équilibre hydrosédimentaire en érodant les fonds à l'aval de la souille, ce qui abaissera le niveau du lit.

Ces phénomènes reconnus sont ceux auxquels on assiste dans le cas de dragages temporaires. Quand les dragages cessent, on assiste progressivement à un rétablissement d'un état voisin de l'état initial, pour peu que les dragages n'aient pas affecté significativement la géométrie du lit et des berges, ce qui sera à vérifier.

Dans le cas de dragages permanents, on assiste au contraire au développement des processus précédents : érosion régressive vers l'amont et modification du lit à l'aval de la souille d'extraction, qui se traduit dans tous les cas par une diminution de la pente aval : $J_1 < J_0$.

Cette diminution de la pente à l'aval résulte, soit en un développement de méandres si les berges aval ne sont pas protégées, avec attaque des berges et augmentation de la largeur du lit majeur (divagation du lit), soit en un abaissement progressif du lit à l'aval qui, en situation asymptotique, s'établira jusqu'à ce que le lit s'encaisse jusqu'au niveau du premier point dur (seuil naturel ou artificiel) situé à l'aval à une distance D de la souille d'extraction.

Dans ces conditions, où le lit retrouve une nouvelle pente d'équilibre, l'abaissement ΔZ prévisible du lit au droit de la souille est estimé d'après $\Delta Z = (J_0 - J_1) D$. Cet abaissement est d'autant plus important que l est grand et que J_1 est petit devant J_0 . Pour $(J_0 - J_1) = 2.10^{-4}$ et $D = 5$ km, $\Delta Z = 1$ m.

La nouvelle pente du lit J_1 peut s'estimer notamment en fonction :

- des caractéristiques géométriques (dimension du lit, pente initiale J_0), hydrauliques (débit dominant, rugosité du lit) et sédimentologiques (densité et granulométrie des sédiments) du lit ;
- du débit solide moyen charrié Q_c et du volume moyen des sédiments prélevés q (m³/an) dans la souille.

J_1 est d'autant plus petit devant J_0 , pour un lit donné, que q/Q_c est voisin de 1.

ANNEXE 3

**INCIDENCES DES EXTRACTIONS DE GRANULATS
ALLUVIONNAIRES DANS LE LIT MINEUR DES COURS D'EAU**

**Synthèse bibliographique
Application à la Basse-Loire,
Loire-Atlantique et Maine-et-Loire**

RESUME ETUDE L. TROLEZ

(354)

La production de sable de Loire en Loire Atlantique et Maine et Loire représente annuellement plusieurs millions de tonnes (6 000 000 t en 1978), dont 75 % sont extraits dans le lit mineur.

Les consommateurs sont essentiellement l'industrie du bâtiment, les travaux publics, les centrales à béton, la préfabrication et les maraichers.

En 1975, un bilan des ressources en sable de Loire donnaient les chiffres de 145 millions de m³ pour le lit mineur, de Nantes à Montsoreau,

522 millions de m³ pour le lit moyen,
1 500 millions de m³ pour le lit majeur.

C'est un sable pratiquement fossile car les apports annuels de sable nouveau sont très faibles : 500 000 t/an pour l'ensemble du bassin de la Loire.

Le sable exploité en lit mineur présente l'avantage d'être pratiquement prêt à l'emploi et facilement exploitable pour engins flottants, mais l'épuisement des ressources pose de graves problèmes de déséquilibres hydrodynamiques et sédimentologiques du fleuve. C'est pourquoi depuis 1976, plusieurs séries de décisions administratives ont précisé les conditions d'extraction en limitant le plus souvent les quotas et les sites. Des études d'impact doivent accompagner les nouvelles demandes d'extraction. L'application de toutes ces mesures est parfois mal acceptée. Il faut cependant signaler que dans plusieurs pays développés (Canada, RFA) l'exploitation de sablière dans les cours d'eau est généralement interdite.

INCIDENCES DES EXTRACTIONS DE GRANULATS
ALLUVIONNAIRES DANS LE LIT MINEUR DES COURS D'EAU

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE
APPLICATION À LA BASSE-LOIRE
(LOIRE-ATLANTIQUE MAINE-ET-LOIRE)

RÉSUMÉ DE L'ÉTUDE DE LOÏC TROLEZ
ÉLÈVE INGÉNIEUR ENSA RENNES
AOÛT-SEPTEMBRE 1985

I - LES MODIFICATIONS DU MILIEU NATUREL AQUATIQUE ENGENDREES PAR LES EXTRACTIONS

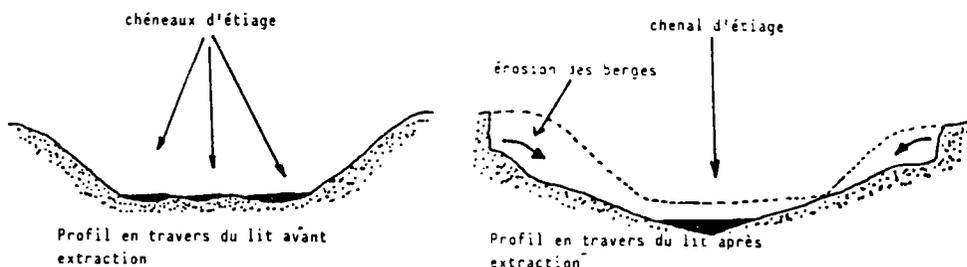
Elles sont de deux ordres :

- 1) Perturbations hydrodynamiques
- 2) Rejets de matières en suspension

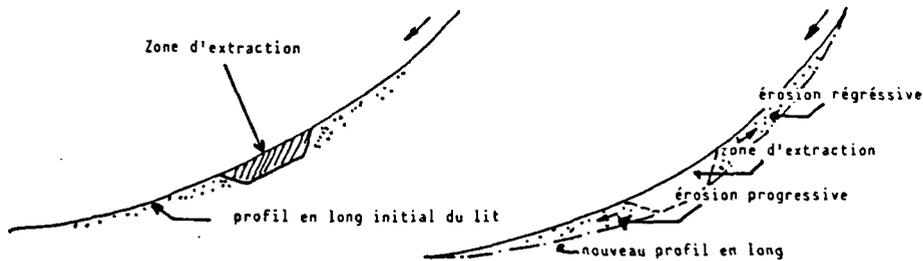
1) Perturbations hydrodynamiques

Ce sont les plus importantes dans leurs effets et leur durée. Le creusement entraîne :

- un abaissement du fil d'eau. En Loire on considère que le lit s'est enfoncé de 0,60 m à 1,20 m en Maine-et-Loire.
- une modification de la pente. Elle est passée de 16/20 cm/km à 35 cm/km sur la basse Loire près des zones d'extraction.
- une augmentation des vitesses du courant, qui ont doublé en certains endroits de la Loire.
- un rétrécissement du lit d'étiage : l'augmentation des pentes et des vitesses donne au lit un profil en V avec formation d'un sillon fluvial. alors que la Loire a surtout un écoulement d'étiage en tresses (multitude de lits secondaires très étalés).



- la création de fosses qui peuvent dépasser 10 m. Ces fosses sont liées aux points d'extraction mais apparaissent aussi à l'aval de points singuliers tels que seuils naturels, radiers d'ouvrages piles de pont. A l'aval du Pont de Thouaré les fosses d'érosion atteignent 10 m à 15 mètres.
- le court-circuitage de méandres.
- une uniformisation du milieu par un phénomène de chenalisation du lit.
- un assèchement des réseaux hydrauliques annexes (bras mort, marais, ruisseaux, boires) qui se retrouvent surélevés par rapport au niveau du lit.
- un abaissement des nappes phréatiques du lit moyen et majeur
- un meilleur écoulement des crues (les inondations sont de plus faible amplitude et de plus courte durée par amélioration et abaissement de la section d'écoulement).
- une remontée plus forte de la marée vers l'amont. Elle se fait actuellement ressentir sur une quarantaine de km à l'amont de Nantes.
- des actions d'érosion :
 - sur les berges, les îles et les grèves sur tout le cours de la Loire.
 - sur le lit - érosion régressive vers l'amont.
 - érosion progressive ou de compensation vers l'aval lié au déficit du débit solide en aval des zones d'extraction



2) Matières en suspension (MES)

Elles ont deux origines :

- remise en suspension directe lors du dragage du lit mineur
- rejet des MES par les eaux de lavage.

Ces MES, sont des particules fines (0 inférieurs à 200µ) minéralo-organiques. Elles occasionnent plusieurs types de nuisances une turbidité de l'eau sur plusieurs kilomètres, un colmatage des fonds et parfois une pollution organique. Ceci entraîne des conséquences sur le milieu : réduction de pénétration de la lumière, perturbation des échanges eau-sédiments-nappe avec desoxygénation du sous écoulement alluvial, uniformisation de la nature du fond du lit.

II - INCIDENCES DES EXTRACTIONS SUR LA FLORE ET LA FAUNE

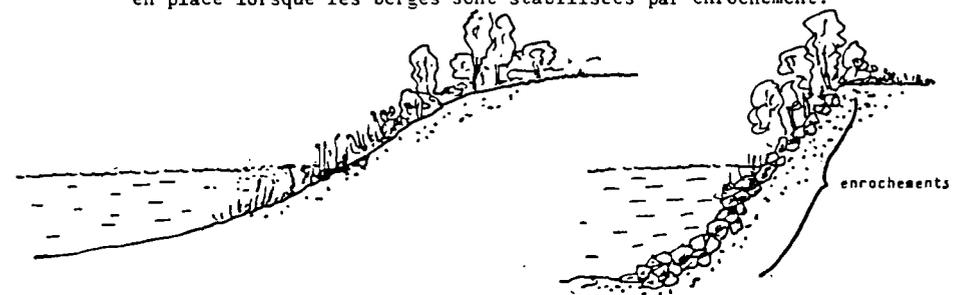
La Vallée de la Loire présente une richesse floristique et faunistique qui n'est plus à démontrer.

Les extractions de sable en lit mineur apportent des modifications à tous les niveaux de la chaîne écologique. Nous les énumérerons brièvement :

1 - Impact sur la végétation aquatique

Cette végétation est surtout présente sur les faux bras et les pièces d'eau annexes. L'instabilité des substrats liée entre autres aux extractions, gêne l'implantation de certains peuplements végétaux.

La turbidité limite le développement des algues par manque de lumière. Le dépôt de MES sur les tissus des plantes nuit à leur développement. L'impact majeur pour la Loire est surtout lié à l'abaissement du fil d'eau, qui entraîne un assèchement des zones humides riveraines, un abaissement de la nappe et une érosion des berges. Ceci a pour conséquence écologique une disparition parfois importante des associations végétales, l'assèchement, l'effondrement puis la disparition progressive de la ripisilve herbacée, arbustive et arborescente des berges. Une recolonisation appauvrie se remet en place lorsque les berges sont stabilisées par enrochement.



2 - Impact sur la faune invertébrée des fonds

Autour des sites d'extractions on observe une diminution de la biomasse sur plusieurs kilomètres, sans réduction de la diversité des espèces. En fait, certaines espèces d'eaux claires aérées à fond sableux disparaissent, au profit d'espèces fouisseuses adaptées aux fonds vaseux et peu oxygénés (oligochètes, diptères chironomidés...). L'envasement, le colmatage des fonds et des supports, l'instabilité des fonds en sont les principales causes.

Globalement, la capacité biogénique (indice regroupant les paramètres de richesse et de diversité d'un milieu) est nettement altérée sur un cours d'eau sujet à des extractions de granulats.

3 - Impact sur les poissons

Il est pour le moment assez mal connu sur la Loire aval. Ailleurs, on constate une baisse du nombre d'espèces de poissons et de leur quantité. On a d'abord une régression des espèces d'eaux vives (truites, ombres, chabot, vairons, loches, goujon, ablettes...) puis extension des espèces d'eau calme, limitée parfois aux animaux les plus résistants (chevesnes, brèmes, gardons, sandres, poissons chat, anguilles). Les pyramides d'âges dans les populations piscicoles sont souvent perturbées dans les zones d'extraction. Les raisons seraient en partie liées au bouleversement de l'habitat. Le poisson ne retrouve pas la diversité des zones (abri, lieux de nutrition, zones de rapides...) dont il a besoin au cours de sa vie.

L'excès de MES dans l'eau affecte l'état physiologique des poissons (obstruction des branchies, lésions...).

L'impact le plus pénalisant pour l'avenir piscicole de la Loire concerne surtout l'inaccessibilité des zones humides, lieu privilégié de frayères, pour des espèces comme le brochet, et due à l'abaissement du lit.

Dans les herbiers situés en lit mineur, le dépôt de matières en suspension colmatent les oeufs et gênent le développement des alevins. Sur les fonds envasés par les dépôts de MES ou par la remontée des eaux turbides de l'estuaire, les poissons frayant sur sol sableux sont particulièrement handicapés (cas des frayères à barbeaux, sandres, goujons, hotu, aloses, lamproie marine).

Enfin une réduction des frayères peut être causée par destruction directe lors des dragages, mais aussi par les érosions régressives et progressives qui se développent de part et d'autre d'un site d'extraction.

4 - Impact sur les oiseaux

La Loire est un couloir de migration (94 % des oiseaux aquatiques de la Loire sont migrateurs). La diversité du milieu (îles, grèves, marais, boires...) est essentielle pour maintenir la diversité et l'abondance des espèces. L'altération directe ou indirecte de ces milieux par extraction (ou toute autre activité et aménagement), par dérangements liés aux chantiers, sont autant de facteurs limitants pour le stationnement, la reproduction des oiseaux en Loire, où de nombreux sites sont classés d'intérêt ornithologique national et international.

III - INFLUENCE DES EXTRACTIONS SUR LES ACTIVITES HUMAINES

Les impacts sont assez bien connus et nous les énumérerons simplement :

- déchaussement et fragilisation des digues et ouvrages d'art liés à l'assainissement du fil d'eau et à l'augmentation des vitesses de courant.
- difficultés d'alimentation en eau par abaissement des nappes, réduction des échanges eau-nappe due au colmatage des vases sédimentées, montée des eaux saumâtres de l'estuaire en étiage.
- gêne à la navigation lors des étiages.
- assèchement des terres agricoles à l'effet tantôt positif tantôt négatif.
- grignotage des terres riveraines par érosion.
- pénalisation de la pratique de la pêche qu'elle soit amateur ou professionnelle.

- modification du paysage de Loire (l'enrochement systématique des bergés fait perdre à la Loire son image traditionnelle).

IV - QUELQUES ORIENTATIONS DESTINEES A LIMITER LES IMPACTS DES ACTIVITES D'EXTRACTION

L'activité d'extraction de sable en Loire revêt une importance humaine et économique indiscutable. Une forte limitation des extractions entraînerait au travers d'une reconversion difficile des entreprises concernées, une reconsidération de cette activité économique d'intérêt régional.

Quelques orientations d'évolution peuvent être évoquées :

1) limitation des extractions en lit mineur en calant les tonnages autorisés sur les apports solides venant de l'amont. Le sable ne serait plus réservé qu'aux usages les plus nobles (béton, maraichage).

2) limitation de l'extraction à quelques zones aménagées à cet effet (seuil amont, seuil aval, protection forte des rives). L'extraction pourrait alors être faite sur une grande profondeur.

3) Trouver des solutions de remplacement :

- extractions en lit majeur,
- développer des matériaux de substitution :
 - ouverture de carrières de roches massives concassées.
 - développement de matériaux nouveaux (argiles traitées : cela se fait déjà en RFA, USA et URSS).
 - extraction de sable marin. Cette dernière solution est actuellement pratiquée en Loire.

ANNEXE 4

CARRIERES ET POLLUTION DES EAUX DE SURFACE

(102)

C. F. D. E.

Carrières
et pollution des eaux de surface

M. R. PANEL

Ingénieur hydrogéologue
Service de l'Industrie et des Mines de Haute-Normandie

Stage : NUISANCES ET CARRIERES

	PAGES
INTRODUCTION	
1)- EXIGENCES de la FAUNE PISCICOLE des EAUX COURANTES	2
1.1.) - Clarté des eaux	2
1.2.) - Température des eaux	3
1.2.1. - Incidence sur le poisson	3
1.2.2. - Incidence sur la reproduction	3
1.2.3. - Incidence sur les activités vitales	5
1.2.4. - Influence directrice de la température	5
1.2.5. - Influence de la température sur les toxicités	6
1.2.6. - Influence de la température sur les maladies	6
1.2.7. - Influence de la température sur la structure des populations piscicoles	6
1.3) - Besoins d'oxygène	7
1.4.) - Nature du fonds	9
2)- EFFETS PHYSICO-CHIMIQUES et ECOLOGIQUES des EXPLOITATIONS DE CARRIERES SUR LES COURS d'EAU	10
2.1.) - Effets de l'exploitation des carrières sur la qualité chimique des eaux	10
2.2.) - Actions mécaniques	11
2.3.) - Action thermique	12
2.4.) - Effets biologiques et écologiques des exploitations de carrières sur les cours d'eau	14
3) - CONSEQUENCES A TIRER DES EFFETS DES EXPLOITATIONS DE CARRIERES SUR LES COURS d'EAU	19
4) - REMEDES AUX POLLUTIONS DES EAUX DE SURFACE PAR l'EXPLOITATION DE MATERIAUX	20
4.1.) - Réduction de la charge en turbidité	20
4.2.) - Réduction des effets thermiques	22
4.3.) - Réduction des apports de poissons concurrents des salmonidés	23
BLBLOGRAPHIE	25

INTRODUCTION -

Comme toute autre forme d'activité d'échelle comparable, l'industrie extractive apporte à son milieu d'implantation plusieurs types de perturbations.

L'opinion est déjà depuis longtemps sensibilisée aux nuisances directement perceptibles : transformations et dégradations des paysages, difficultés de circulation, bruits et poussières etc... mais d'autres formes de nuisances sont également de plus en plus souvent soulignées, notamment celles qui intéressent les milieux aquatiques et en particulier les cours d'eau.

L'éventualité d'impacts de la part d'exploitations de carrière sur les eaux superficielles suppose bien évidemment l'existence d'une relation physique avec des cours d'eau.

+ Relation directe :

- cas d'exploitations implantées dans le lit d'un cours d'eau
- et cas d'exploitations en liaison hydraulique avec un cours d'eau par un rejet d'eaux de lavage, de pompage ou de traitement plein des fouilles noyées...

+ Relation indirecte par l'intermédiaire des eaux souterraines qui est le cas de carrières noyées ouvertes dans des formations aquifères proches d'un cours d'eau.

Lorsqu'il existe de telles relations, ce qui dans les faits est très fréquent puisque plus de 70 % de la production de granulats en France est issue des milieux alluviaux, les risques encourus par le milieu aquatique concernent des modifications :

- du régime d'écoulement des eaux,
- de la qualité des eaux.

qui se répercutent évidemment sur les organismes vivant dans les cours d'eau, notamment la faune piscicole dont la qualité conditionne en grande partie l'intérêt marqué par une fraction importante de la population pour la protection des eaux de surface.

Les exigences de qualité de la faune aquatique sont assez bien connues. Après les avoir rapidement définies, un compte-rendu des observations faites à propos des modifications apportées aux cours d'eau par l'exploitation de carrières permettra de dégager quelques conclusions que suivra l'énoncé rapide de solutions envisageables pour atténuer et, si possible, supprimer les nuisances occasionnées par l'extraction de matériaux au voisinage de cours d'eau.

1) - EXIGENCES de la FAUNE PISCICOLE des EAUX COURANTES -

Etant donné que les nuisances dues aux exploitations de carrières sont évidemment plus vivement ressenties dans les cours d'eau de meilleure qualité piscicole, c'est ceux classés en première catégorie piscicole qui doivent être pris pour référence. Il s'agit de cours d'eau aptes à accueillir les salmonidés, truites et saumons qui réclament des eaux claires, bien oxygénées, relativement froides et des fonds de nature adaptée.

1.1) - Clarté des eaux -

- Les turbidités élevées (> 200 mg/l) peuvent engendrer directement des taux de mortalité élevés chez les alevins. Il y a asphyxie par colmatage des branchies.

- A des teneurs moindres, des effets nuisibles sont encore observés sur la densité, la production et la constitution des populations selon deux mécanismes principaux.

- a) - La turbidité réduit la pénétration de la lumière et donc les capacités photosynthétiques de la végétation aquatique. Elle freine les capacités autoépurations du cours d'eau et aggrave le déficit en oxygène.

Selon la F.A.O. au delà de 80 mg/l, la production piscicole ne peut-être bonne. (DBO+CCO)?

- b) - Les fines responsables de taux élevés de turbidité, en sédimentant viennent colmater les interstices entre graviers et cailloux au fond du cours d'eau et éliminent ainsi des zones de fraie et l'habitat de la majeure partie des invertébrés qui entrent dans la chaîne alimentaire des poissons.

Les troubles liés aux périodes de crue que connaissent tous les cours d'eau sont jugés moins dommageables dans la mesure où ils entraînent moins de colmatage que les troubles artificiels dus à diverses activités ou travaux et notamment dragages et lavages d'alluvions (les eaux en crue ont une vitesse d'écoulement supérieure à la normale, la sédimentation des fines est donc moindre).

A titre d'exemple, on a observé une réduction de 85 % du peuplement d'insectes aquatiques d'un cours d'eau dont le taux de matières en suspension était porté de 2 mg/l à 103 mg/l du fait d'un dragage de sable.

Enfin en décantant, les matières responsables de la turbidité des eaux peuvent étouffer et finalement anéantir toute végétation aquatique en dehors des zones bien courantes.

1.2) - Température des eaux -

Les poissons, animaux poecilothermes (dont la température est variable, proche de celle du milieu) sont très sensibles à la température du milieu aquatique. Elle agit directement sur leur métabolisme et leur comportement. C'est l'un des facteurs les plus déterminants quant à l'abondance et la répartition des espèces.

Il exerce une influence prépondérante sur l'action d'autres facteurs du milieu, taux d'oxygène dissous et de gaz carbonique, substances toxiques etc... et sa modification entraîne donc des variations de qualité physique ou chimique qui affectent le milieu ou habitat ou biotope et des modifications biologiques qui affectent les communautés d'êtres vivants ou biocénoses qui peuplent le milieu.

G. LEYNAUD a étudié les effets des pollutions thermiques sur la vie aquatique, les incidences du réchauffement des eaux sont multiples.

1.2.1. - Incidence sur le poisson -

Pour chaque espèce de poisson la vie et ses principales manifestations ne sont possibles que dans des plages de température bien définies. Passé certains seuils inférieurs et supérieurs, la capacité de reproduction, de croissance, puis simplement de vie est affectée. (exemple: figure 1 pour le saumon du Pacifique).

Selon CHARLON (1964) la température létale supérieure maximum, c'est-à-dire à laquelle 50 % des poissons meurent en un temps donné sans qu'il n'y ait plus de possibilité d'acclimatation préalable par un séjour à une température supérieure à la température habituelle de vie, atteint pour les espèces suivantes :

truite arc-en-ciel	= 26° C
goujon	= 28 °C
gardon	= 31° C
rotengle	= 31° C
perche	= 31° C
tanche	= 33° C
carpe et black bass	= 35° C

1.2.2. - Incidence sur la reproduction -

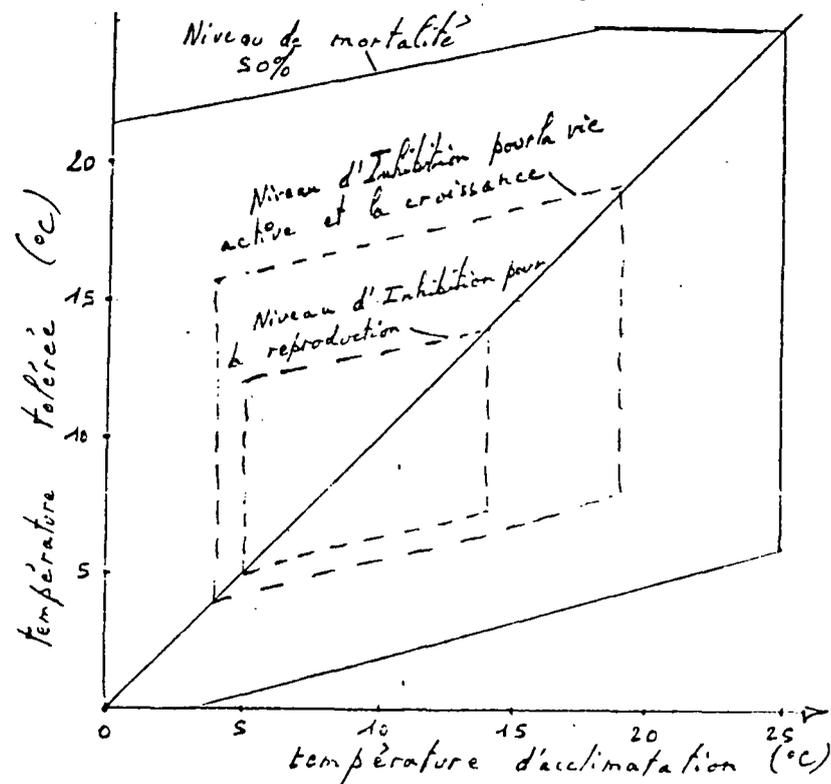


Fig. 1.

Diagramme des réactions thermiques pour le saumon du Pacifique (*Oncorhynchus nerka*) avec indication des zones d'Inhibition pour la reproduction et le ralentissement de la croissance d'après Jones (1964) après Brett (1960).

La reproduction ne peut s'effectuer que dans des plages étroites de température (cité par CUINAT).

truite commune et saumon	(1 - 10° C)
brochet	(6 - 14° C)
perche et sandre	(12- 18° C)
goujon	(16- 17° C)
gardon	(5- 20° C)
carpe	(17- 20° C)
rotengle	(18- 24° C)

1.2.3. - Incidence sur les activités vitales -

L'élévation de température diminue la capacité du sang à s'oxygéner pour une pression d'oxygène donnée et par ailleurs, accélère le rythme respiratoire elle entraîne une régression du pourcentage d'utilisation effective de l'oxygène de l'eau.

Ces effets sont particulièrement nets chez les embryons dont les besoins en oxygène augmentent très vite avec la température. Même en milieu très oxygéné, de fortes mortalités sont observées car l'utilisation de l'oxygène est encore limitée en ce qui les concerne par la surface de l'oeuf et la perméabilité de celui-ci au point qu'elle peut se révéler insuffisante face aux besoins de l'embryon augmentés par une élévation de température.

1.2.4. - Influence directrice de la température -

A chaque espèce correspond une température optimale ou température préférée. Elle varie selon les températures d'acclimatation ou températures habituelles du milieu mais atteint un niveau optimal.

Pour la truite arc-en-ciel, selon GARSIDE et TAIT (1953) ce fi preferendum est de 13° C.

Il détermine en partie le comportement des populations qui occupent le milieu aquatique en cherchant à satisfaire ces préférences

(accumulation d'espèces à préferendum thermique élevée dans les zones de rejets d'eaux de refroidissement de centrales thermoélectriques par exemple).

1.2.5. - Influence de la température sur les toxicités -

La nocivité des produits toxiques vis-à-vis des poissons augmente avec la température d'une manière générale :

- pour le cyanure de potassium une élévation de température de 10° C la multiplie par 2;
- pour l'orthoxyène 8° C d'augmentation la multiplie par 3 ;
- et pour le sulfate de zinc, à 5° C d'augmentation correspond un facteur de multiplication de 4.

La nocivité est en outre fonction inverse du taux d'oxygène dissous.

Les élévations de température aggravent en définitive les conséquences des pollutions existantes.

1.2.6. - Influence de la température sur les maladies -

La température agit sur la vitesse d'évolution du cycle parasitaire donc sur le nombre d'éléments pathogènes produit par unité de temps.

Par ailleurs, elle diminue les capacités de résistance des poissons.

On a observé à 20 - 22° C un développement important des maladies bactériennes chez les salmonidés.

1.2.7. - Influence de la température sur la structure des populations piscicoles -

Certaines espèces résistent mieux que d'autres aux augmentations de température, il y a déséquilibre de la faune aquatique.

A propos des rivières de la première catégorie piscicole (salmonidés dominant) de basse et moyenne altitude, un réchauffement de quelques degrés suffit à éliminer les salmonidés. Aux "espèces d'accompagnement" normales de la truite (chabot, vairon) se substituent des espèces plus thermophiles compétitrices (chevaines) ou prédatrices d'oeufs (barbeau, hotu) ou d'alevins (brochets, perches).

Vers l'aval des cours d'eau, les peuplements basculent donc vers des espèces de moindre valeur halieutique.

Pour le maintien des populations de salmonidés et spécialement de la truite commune on considère que la température ne devrait pas excéder en été 21° C (optimum 14 à 18° C)

1.3.) - Besoins d'oxygène -

Le seuil limite du taux d'oxygène dissous pour la truite commune et le saumon se situe de 4 à 5 mg/l.

Il n'est admissible que durant les heures critiques des périodes de canicule et doit se situer normalement à 8 - 9 mg/l. (cf. fig.2).

Comme on l'a vu précédemment, les oeufs de truite sont encore plus exigeants.

Les besoins importants sont dus à ce que pour être à demi-saturation l'hémoglobine de la truite nécessite une pression partielle d'oxygène largement supérieure (3 à 4 fois) ce que nécessite, dans les mêmes conditions, l'hémoglobine de la carpe par exemple dont les besoins normaux en oxygène sont de l'ordre de 2 à 3 mg/l comme ceux de la tanche. L'anguille est encore moins exigeante avec 1 mg/l.

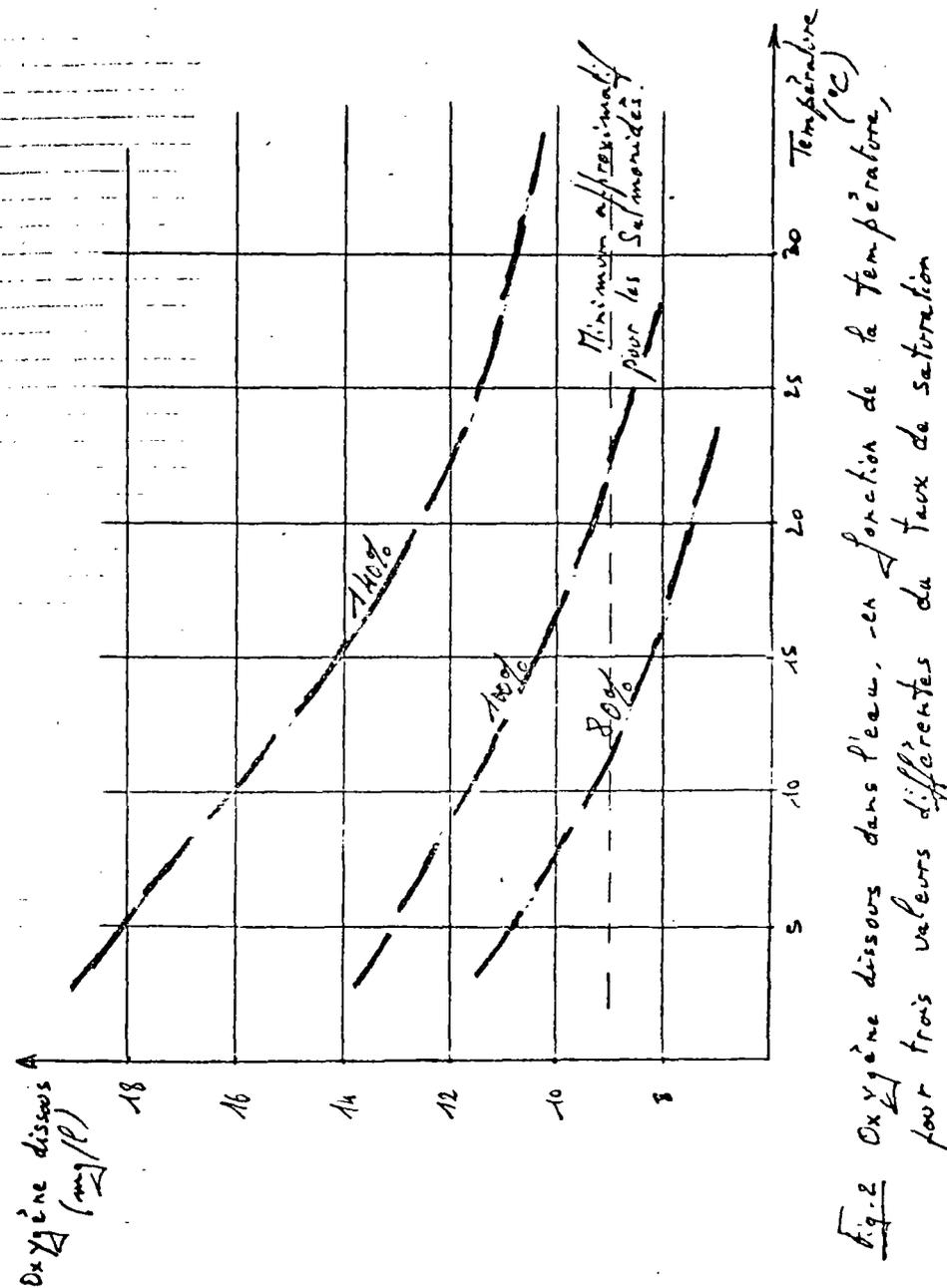


Fig.2 Oxygène dissous dans l'eau, en fonction de la température, pour trois valeurs différentes du taux de saturation

1.4. - Nature du fond -

La nature du fond joue d'abord sur les possibilités de reproduction de certaines espèces, parfois sur la survie des jeunes, et enfin comme support pour la nourriture.

Pour la reproduction, les exigences des salmonidés sont particulièrement strictes. Ces poissons doivent pouvoir enfouir leurs oeufs dans des zones de granulométrie bien déterminée (1 à 8 cm). Tout apport colmatant est donc susceptible de détruire des zones de fraie ou dans les 2 ou 3 mois suivant la ponte, d'asphyxier les oeufs dont les besoins respiratoires importants ne peuvent être assurés que par percolation au travers du lit de graviers dans lequel ils ont été déposés.

Par ailleurs, l'existence de fonds irréguliers multiplie les possibilités d'abris nécessaires aux jeunes car ceux-ci ne peuvent continuellement nager contre le courant, il est donc indispensable que ces fonds ne soient pas menacés d'envasement pour garantir la croissance normale des populations piscicoles et par conséquent leur renouvellement.

Enfin, l'espace entre agrégats du fond des cours d'eau est très important quant à la biomasse d'invertébrés, nourriture des poissons. Les fonds "propres" contiennent 2, 5 fois plus d'invertébrés que les fonds vaseux.

A titre d'exemple, CUINAT indique que dans les rivières normales, les biovolumes d'invertébrés au mètre carré en fin d'été sont en moyenne de 6,6 cm³ en fonds vaseux, 16 cm³ en fond propre et 21,3 cm³ dans les herbiers. Ces derniers, outre l'intérêt qu'ils représentent par leur fonction chlorophyllienne (photosynthèse) sont donc également très intéressants en tant que réserves de nourriture.

Les caractéristiques des bassins versants, la qualité chimique des eaux, la diversité du lit des cours d'eau, leur débit et ses variations sont autant d'autres facteurs d'importance pour les populations piscicoles mais étant donné que l'exploitation des carrières n'est susceptible d'influer directement sur eux que de façon fort éloignée ; il suffit qu'ils soient simplement cités.

2) - EFFETS PHYSICO-CHIMIQUES, BIOLOGIQUES et ECOLOGIQUES des EXPLOITATIONS de CARRIERES sur les COURS d'EAU -

Tous les auteurs s'accordent à admettre deux types d'actions néfastes de l'industrie extractive :

- Actions mécaniques,
- Actions thermiques.

dont résultent des modifications des équilibres biologiques et écologiques des cours d'eau.

L'idée très répandue dans l'opinion que les gravières sont sources de pollutions chimiques mérite par ailleurs un rapide examen.

2.1.) - Effets de l'exploitation des carrières sur la qualité chimique des eaux -

D'une manière générale, les études réalisées sur les interactions entre carrières et nappes souterraines ont montré que la mise à nu d'une nappe phréatique lors de l'extraction de matériaux n'altérerait pas la qualité chimique de l'eau souterraine.

On observe certes quelques effets mais ceux-ci iraient plutôt dans le sens d'une amélioration de la qualité.

Le contact avec l'atmosphère et par ailleurs l'action photosynthétique de la végétation aquatique enrichissent en effet les eaux en oxygène dissous, il s'ensuit une augmentation du pH et une diminution de la

concentration en gaz carbonique qui provoque la précipitation des carbonates de calcium et de magnésium donc une diminution de la dureté de l'eau (titre hydrotimétrique) et une augmentation de la résistivité. Par ailleurs, l'oxydation du fer et du manganèse provoque leur précipitation sous forme d'oxydes.

Les gravières récentes forment en définitive des milieux oxydants. Elles sont de ce point de vue favorables à la qualité des eaux.

En contre-partie les carrières en eau augmentent l'exposition des eaux aux pollutions et c'est là qu'il y a problème. On relève en effet trop souvent dans les plans d'eau de carrières des indices de pollution chimique. Ceux-ci ne résultent pas directement de l'exploitation mais de divers rejets (ordures, déchets multiples, huiles de vidange, etc) qui tous pourraient être évités par l'application de mesures simples de protection des plans d'eau.

Le vieillissement des plans d'eau est marqué par un développement très conséquent de la flore aquatique, l'action des microorganismes et l'envasement des fonds qui conduisent à la réalisation de conditions anaérobies au fond des gravières. Cette évolution s'accompagne du colmatage progressif des plans d'eau. Ceux-ci constituent peu à peu des milieux de plus en plus individualisés par rapport aux cours d'eau et aux eaux souterraines avoisinants. Les interactions possibles sur ces milieux sont alors très limitées.

2.2. - Actions mécaniques -

A l'extraction des matériaux, d'importantes masses de fines particules sédimentaires sont libérées et mises en suspension dans l'eau.

Par ailleurs, du lavage des matériaux, résulte une production d'eaux très turbides.

L'évacuation dans le cours d'eau des eaux issues du lavage ou des fouilles exploitées provoque évidemment une pollution par accroissement des matières en suspension.

Ce type de pollution a été maintes fois observé.

En Normandie, les études réalisées par le Service Régional de l'Aménagement des Eaux de Haute-Normandie sur plusieurs cours d'eau de première catégorie piscicole concluent que ces rejets sont de loin les causes de pollution les plus importantes de ces cours d'eau.

Dans le cas de la Bresle notamment qui marque la frontière entre Picardie et Normandie le cours d'eau, normalement en classe 1A de qualité piscicole passe en classe 3 pratiquement du seul fait de ces rejets. Ceux-ci amènent le taux de matières en suspension, au plus égal à 20 mg/l en situation normale à parfois, plus de 70 mg/l.

En ce qui concerne les extractions de matériaux pratiquées dans le lit même des cours d'eau, à l'augmentation de la turbidité s'ajoutent d'autres effets.

Les modifications apportées à la ligne d'eau des rivières par l'extraction occasionnent des perturbations dans l'écoulement des eaux qui se traduisent :

- en amont, par une augmentation de la pente de la ligne d'eau d'où une érosion régressive du lit et son enfoncement. On cite pour exemple dans le cours de l'Allier un affouillement de l'ordre de 2m au pied de la pile d'un pont.
- en aval, par une réduction de la pente due à la diminution brutale de la capacité de transport solide du cours d'eau, il s'ensuit la constitution d'un piège à sédiments.
- sur les berges, par l'érosion de celles-ci.

2.3.) - Action thermique -

Excepté quelques situations particulières qui résultent d'aménagements hydrauliques, les cours d'eau sont en général alimentés par les nappes d'eaux souterraines de leur vallée.

L'ouverture d'une ballastière ne modifie pas en général cette

situation mais elle met en contact avec l'atmosphère un certain volume d'eau de nappe. Ceci a pour effet d'augmenter les échanges thermiques en nappe et atmosphère, il s'ensuit que les eaux qui se dirigent vers la rivière soit au travers de la masse d'alluvions, soit directement par un canal de liaison sont à certaines périodes à une température assez élevée de sorte qu'il peut en résulter une élévation de température du cours d'eau.

Dans le cas d'une liaison directe avec le cours d'eau, l'élévation de température est fonction des températures et des débits respectifs du plan d'eau de la carrière et de la rivière. Dans l'autre cas, le problème est plus complexe. Une étude réalisée en Haute-Normandie par le Service Géologique Régional du B.R.G.M. a tenté de l'appréhender.

Vingt sites ont été choisis sur lesquels ont été pratiquées des mesures de température et de débit au cours de la période de canicule de l'été 1975. L'étude a montré que l'élévation de température subie par le cours d'eau était au plus de :

- 0,2 °C dans 25 % des cas,
- 0,4 °C dans 50 % des cas,
- 0,8 °C dans 75 % des cas,

et des valeurs maximales enregistrées de 1,8 °C.

Une relation semble pouvoir être établie entre l'élévation de température subie par la rivière et, dans l'ordre d'importance, les facteurs suivants :

- débit de la rivière,
- distance de la ballastière à la rivière
- surface de la ballastière
- longueur de la ballastière dans le sens parallèle à la rivière,
- degré de colmatage de la rivière.

Au-delà de 50 m de distance entre ballastière et rivière l'effet thermique est nul.

Selon certains spécialistes des questions piscicoles, il y a

.../...

lieu de craindre un certain effet cumulatif des effets thermiques dus à chaque ballastière. L'étude n'a pas permis d'en rendre compte dans la mesure où entre les sites de mesures se situent très souvent des aménagements hydrauliques du type barrages qui provoquent indirectement eux-mêmes un certain échauffement du cours d'eau.

Dans le cas d'exploitations dans le lit du cours d'eau, il est probable que les effets thermiques sont nuls, sinon parfaitement négligeables.

2.4.) - Effets biologiques et écologiques des exploitations de carrières sur les cours d'eau -

En rompant la stabilité des fonds qui constitue l'un des facteurs primordiaux de l'installation de la vie en eau courante, les travaux d'extraction dans le lit des cours d'eau sont à l'origine d'importantes dégradations des habitats et notamment des frayères de la faune aquatique qui disparaissent soit par érosion soit par colmatage.

On signale dans les zones d'eau calme, à proximité des zones draguées, la disparition, sinon la raréfaction des plantes aquatiques et des réductions importantes du nombre d'espèces et de la biomasse d'invertébrés ainsi que des modifications de composition de la biocénose préjudiciables au maintien de la vie aquatique dans les formes jugées les plus intéressantes (cf § 1.1.).

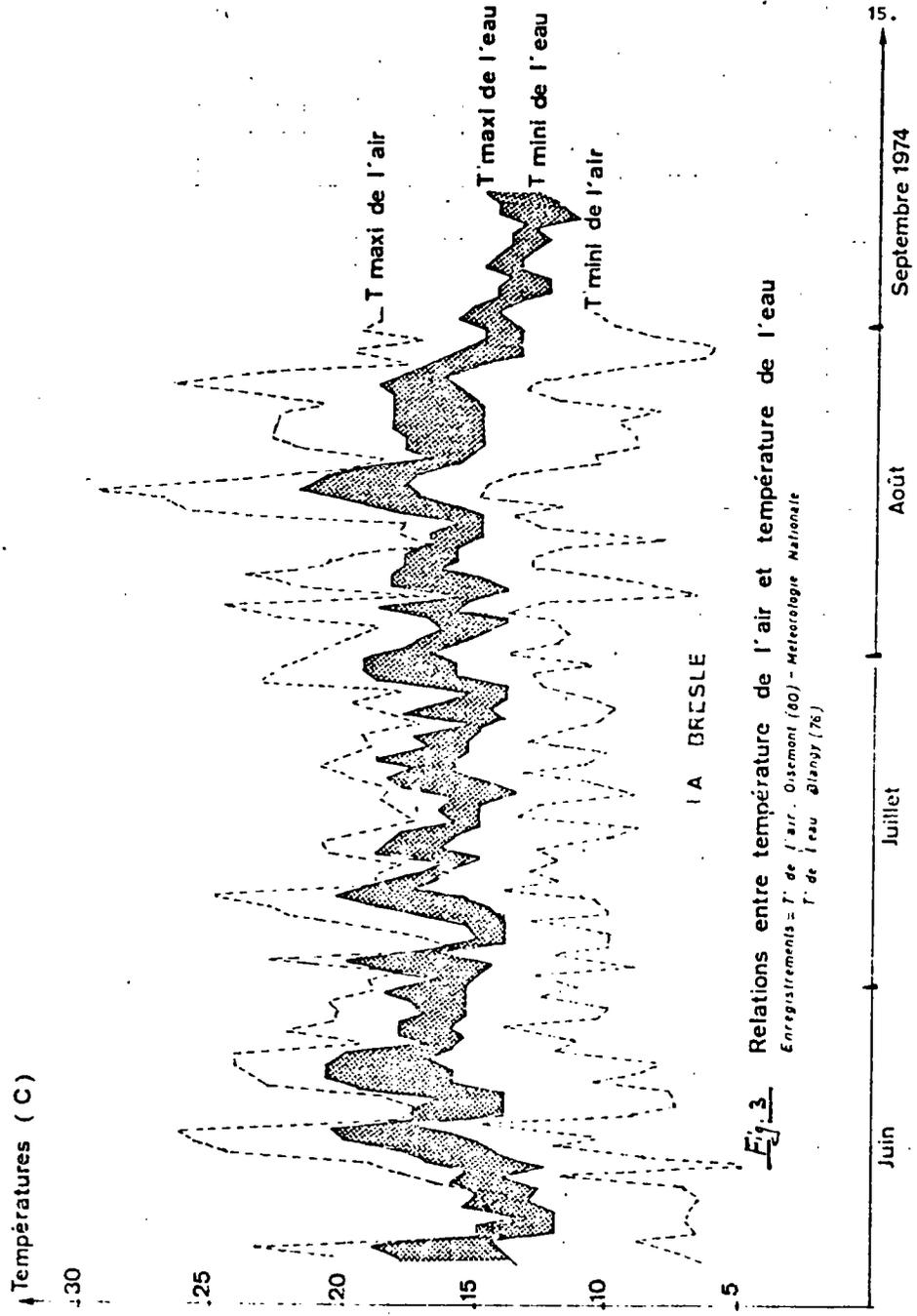
En ce qui concerne les exploitations de carrières voisines des cours d'eau, il est difficile de partager les conséquences liées aux rejets d'eaux chargées de matières en suspension de celles dues aux influences thermiques.

A propos du premier facteur, il est probable que ces conséquences sont moindres que dans le cas des extractions dans le lit des cours d'eau.

Quant au second on peut remarquer que les eaux des rivières de première catégorie atteignent parfois des températures proches des limites admissibles par les salmonidés.

L'exemple de la Bresle en été 1974 (cf. fig.3) en est une bonne illustration.

.../...



Le débit cumulé des exutoires des quelques 330 hectares d'étangs et ballastières anciennes ou en cours d'exploitation représenterait selon certains auteurs environ 30 % du débit total de cette rivière. Si tel est bien le cas, ce qui n'est pas aisé à établir, on doit admettre que ceux-ci prennent une part importante dans les températures atteintes. Cela serait d'autant plus sûr qu'en général parviennent plutôt aux exutoires des plaques d'eau, des eaux de surface dont la température peut atteindre, d'après les résultats des mesures effectuées en été 1975, plus de 27 °C.

Dans la Vallée de la Charentonne il a été enregistré une température maximale de 30°5 C de ces eaux de surface de ballastière. La médiane des mesures se situe aux environs de 26°5 C, c'est-à-dire au-dessus de la température létale des salmonidés (cf. § 1.2.1.) et bien au-delà des seuils admissibles pour une vie normale de ces poissons. Il s'ensuit que les populations piscicoles des ballastières ne peuvent être que de nature différente. Il s'agit essentiellement de poissons omnivores ou carnassiers représentés par la perche, le gardon, le rotengle, le brochet, l'anguille etc...

L'existence de communications avec la rivière favorise l'introduction dans les cours d'eau de ces espèces compétitrices ou prédatrices des salmonidés. Le fait a été nettement observé dans la Bresle en 1974. Au niveau des exutoires les plus importants s'accroît la masse de ces poissons indésirables (cf fig. 4).

Les trois facteurs, pollution mécanique par des eaux turbides, pollution thermique et pollution biologique s'additionnant, les conséquences précédemment citées (cf. § 1) se cumulent et la qualité des cours d'eau de première catégorie s'amenuise vers l'aval.

Les biocénoses se modifient et les équilibres biologiques se déplacent dans le sens d'une régression (cf. tableau de R. CUINAT page suivante).

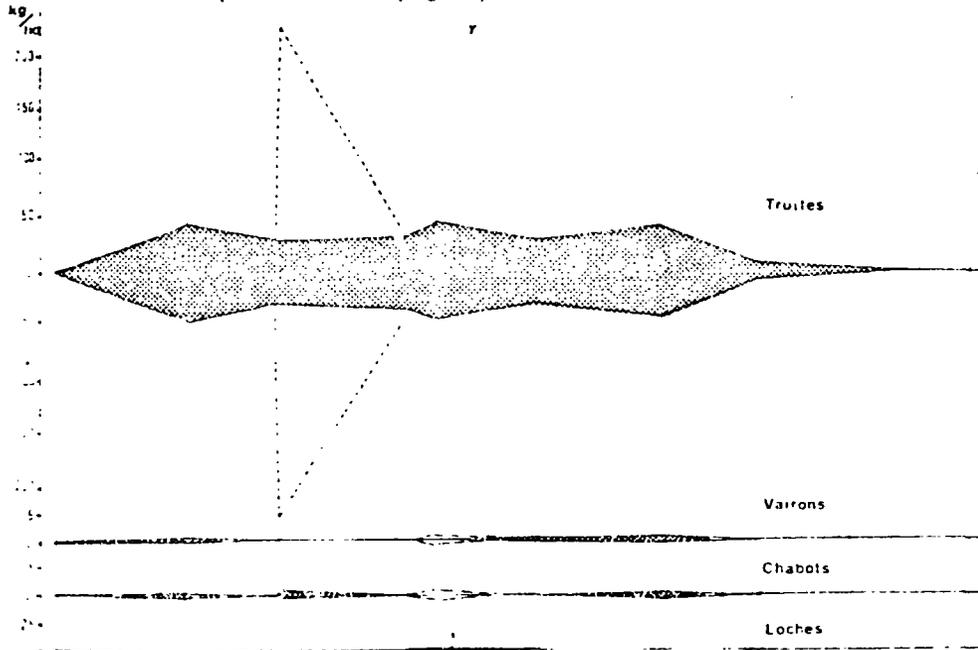
Fig 4 Biomasse des différentes espèces de poissons

--- Bras principal

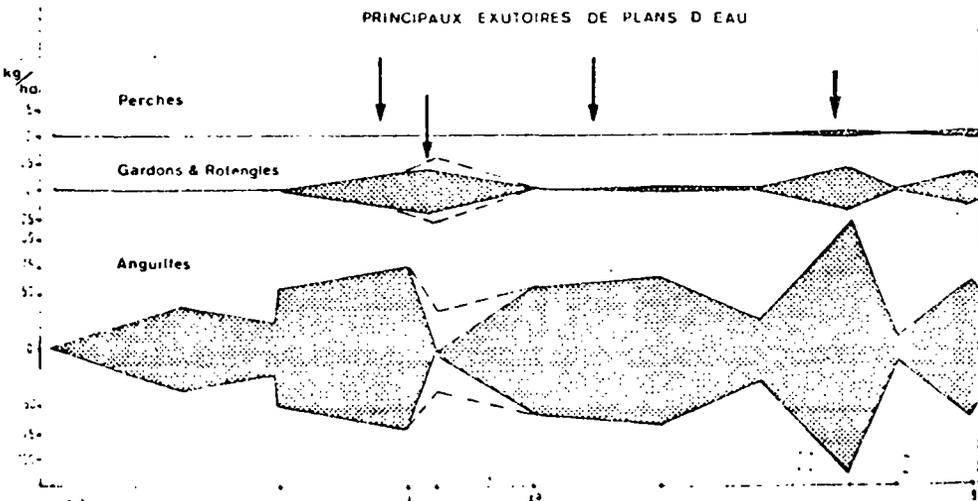
 - - - - - Bras secondaire

 Population surastimée suite à un déplacement artificiel des truites (carage)

Truite et espèces d'accompagnement



Espèces compétitrices



ESPECES DE POISSONS D'EAU DOUCE EN FRANCE, SELON LA PENTE, LA TEMPÉRATURE, et d'AUTRES PRINCIPAUX FACTEURS ÉCOLOGIQUES. - R. CUISINAT

Température élevée > 20°C		S* An	G PS	S* An	G B AB P Ps	S* An B S T B P C	G B AB P S K	An B.b PS T B P C	G B AB P S K
Température moyenne 12 à 20°C	An	H* S* V Ch. Gj. B* An		H* S* V* Ch Gj B* An	G AB S	H* S* V* Ch. Gj B* An	G B AB P S K	An B.b PS T B P C	G B AB P S K
Température moyenne 16 à 22°C	O.f* T.c* An.	T.c* O.c* Gj. An.		T.c.* O.c.* V* Ch. Gj. An.		O.c.* H* V* Ch. Gj. An.	G B AB P S K	An T B	G B AB P S K
Température basse < 16°C	O.f* T.c* An	O.f* T.c* An		O.f* T.c* O.c* An		T.c* O.c* An			
		2.2.5%	48.05%	43.0.17%	42.0.12%				
		Z. à truite inférieure	Z. à truite inférieure	Z. à truite	Z. à barbeau	Z. à barbeau			

ZONE PISCICOLE : PENTE corrigée par largeur (HUC 19)

ACTION POSSIBLE D'AUTRES FACTEURS :

Végétation aquatique submergée abondante → décalage d'une zone possible vers la droite
 Pollution mécanique (liners) → décalage d'une ou deux zones vers la gauche

Eutrophication (abondance de matière organiques) → décalage d'un ou deux degrés de température vers le bas
 Pollution chimique : disparition possible des espèces sensibles (signalées par *).

- O.f = Omble de fontaine
- T.c = Truite commune
- O.c = Omble commune
- Salmonidés
- Cyprinidés
- H = Hclm
- S = Soffie
- V = Vandoise
- Ch = cheuine
- B = Barbeau
- Gj = goujon
- G = Gardon
- Ab = Ablette
- C = Carpe
- R = Rotengle
- Pc = Poisson chat
- Ps = Poisson de la Rivière
- B = Brochet
- P = Perche
- S = Sandre
- B.b = Bécasse
- (à grande échelle)
- POISSONS D'EAU CAL.

3) - CONSEQUENCES A TIRER DES EFFETS DES EXPLOITATIONS DE CARRIERES SUR LES COURS d'EAU -

Dans une note technique datant de Septembre 1974, J. ARRIGNON responsable à COMPIEGNE de la 1ère Région Piscicole, rappelant les conséquences négatives de l'existence de plans d'eau de carrières conclut en recommandant :

"1°) l'interdiction des communications entre les plans d'eau et le cours d'eau principal en ce qui concerne les plans d'eau situés à proximité des grands cours d'eau de 1ère catégorie .

2°) l'interdiction de l'ouverture de plans d'eau aux abords des petits cours d'eau de 1ère catégorie, dans leur cours supérieur ou moyen c'est-à-dire jusqu'à ce que le débit dépasse 1m³/sec à l'étiage pour une section mouillée de 20 m²."

Sur le premier point, la recommandation de M. ARRIGNON a déjà reçu satisfaction. L'article 12 du décret n° 72-645 du 4 Juillet 1972 (J.O. du 12 Juillet 1972) portant mesures d'ordre et de police relative aux recherches et à l'exploitation de mines et de carrières devrait se situer à une distance horizontale de 10 m au moins des "...cours d'eau, à moins qu'ils ne soient eux-mêmes le siège de l'exploitation".. Cette disposition réglementaire interdit toute communication des exploitations avec les cours d'eau.

On reviendra sur la seconde recommandation dans le prochain paragraphe après avoir à nouveau emprunté à M. ARRIGNON quelques commentaires concernant les interactions entre gravières et cours d'eau.

Jusqu'à présent n'a été traité que le cas des cours d'eau de première catégorie. La raison de ce choix a été précisée, il convient toutefois d'apporter quelques indications sur les cours d'eau de moindre qualité.

A leur propos, M. ARRIGNON écrit sous le timbre du Conseil Supérieur de la Pêche :

"Ouverture de ballastières dans les vallées des cours d'eau de 2ème catégorie -

- Cours d'eau pollués :

L'ouverture des ballastières est toujours bénéfique à la pêche si elles sont fermées, elles sont intéressantes parce qu'en bordure des cours d'eau inexploitable elles constituent les seuls territoires pouvant donner de réelles satisfactions aux pêcheurs.

Si elles sont ouvertes sur le fleuve, au moment des grandes crises de pollution, les ballastières sont autant de refuges pour le poisson qui repart vers des espaces vitaux plus importants dès qu'ils deviennent vivables. Dans tous les cas, ces plans d'eau sont les seules possibilités de frayères et au plan piscicole, ils constituent les véritables poumons du fleuve.

- Cours d'eau non pollués :

L'ouverture de ballastières accroît les possibilités piscicoles de la vallée. En fait, le problème que soulève leur exploitation tient à des incompatibilités réglementaires car certains plans d'eau en relation, occasionnelle ou permanente, avec le cours d'eau principal ne peuvent être considérés comme des eaux closes et doivent alors être soumis à la réglementation sur la pêche."

Il résulte de ces propos que l'exploitation de carrières est, dans certaines conditions une activité favorable à la vie piscicole. Cette appréciation méritait d'être citée car ^{elle} concerne d'importantes vallées riches en gisements de matériaux alluvionnaires.

4) - REMEDES aux POLLUTIONS DES EAUX DE SURFACE par l'EXPLOITATION de MATERIAUX -

4.1.) - Réduction de la charge en turbidité -

Pour les exploitations des carrières dans le lit des cours d'eau, il semble seulement possible de réduire la charge des matières

en suspension en écartant les rejets de lavage des matériaux dans le cours d'eau soit en réalisant les traitements à terre en adoptant les solutions indiquées plus loin pour les autres types d'exploitation soit en recyclant les eaux de lavage.

Pour les exploitations voisines des cours d'eau, la suppression ou sinon une forte réduction des rejets de matières en suspension peut être obtenue.

L'implantation des carrières à l'écart des zones de sources est l'une des premières précautions à prendre pour éviter une mise en liaison obligatoire avec la rivière et ne pas perturber ainsi l'alimentation du cours d'eau.

Dans la mesure où le rabattement de la nappe phréatique est tout à fait indispensable à l'exploitation, ce qui ne peut être qu'exceptionnel, il est préférable de le provoquer par des pompages en forages implantés à proximité de la fouille en exploitation plutôt que dans la fouille elle-même.

Si le rejet d'eaux à la rivière ne peut être évité, ce qui sera le cas si par exemple un rabattement de nappe doit être pratiqué, il est indispensable de réduire la charge en matières en suspension par le passage des eaux dans un bassin de décantation équipé à son exutoire d'une bonne surverse et d'un massif filtrant.

Une autre solution est la pratique du recyclage des eaux de lavage. A ce sujet on peut citer l'exemple d'une société de carrières des Hautes-Pyrénées.

Avant 1973, les rejets atteignaient 300 kg/jour de matières en suspension. Depuis cette date, une unité de traitement fonctionnant en circuit fermé a été mise en place.

A la sortie de l'unité de lavage, un cyclonage permet la séparation des plus grosses particules (diamètre supérieur à 40 μ) puis l'effluent est admis dans un flocculateur-décanteur. L'eau filtrée

.../...

par le lit de boues est recyclée sur l'installation de lavage et tous les postes utilisateurs d'eau. Après épaissement les boues sont stockées dans la carrière.

Tous les rejets à la rivière ont été supprimés. Les fines récupérées au cyclonage sont commercialisées comme fines de centrale à béton ou sont utilisées en agriculture comme épandage calcaire.

L'économie globale du système fait ressortir un bénéfice d'exploitation annuel de 14 000 F. L'investissement consenti à l'origine pourra être amorti en une quinzaine d'années.

Autre exemple de recyclage des eaux de lavage, celui mis en oeuvre par la Société Parisienne des Sablières à MARTOT dans le département de l'Eure.

Les eaux de lavage sont rejetées dans un premier bassin de décantation puis récupérées par surverse et envoyées sur un second bassin de décantation d'où après nouvelle surverse elles sont renvoyées à l'unité de traitement. 10 % des eaux seulement sont prélevées sur le milieu pour compenser les pertes en cours de traitement.

4.2.) - Réduction des effets thermiques -

Certaines des solutions proposées plus haut sont déjà de nature à supprimer (recyclage) ou à réduire l'influence thermique des ballastières. Des mesures spécifiques à ce problème doivent cependant être prises.

Dans le cas d'exploitations nécessitant un certain débit d'eau vers la rivière, au lieu d'établir une liaison libre avec le cours d'eau, l'aménagement de cette liaison est susceptible d'apporter des améliorations intéressantes à la situation.

Sachant que l'écart de température entre surface et fond de ballastière peut aller jusqu'à 13°2 C (moyenne 6,7° C) d'après les mesures effectuées en été 1975 en Haute-Normandie, on conçoit l'intérêt qu'il y a à aménager les liaisons ballastières - rivières pour admettre plutôt les eaux de fond des ballastières dans les canaux de liaison. La mise en place d'un siphon permet d'atteindre ce résultat.

.../...

La cas précédent ne devrait normalement plus concerner que les exploitations passées, puisque les communications entre ballastières et rivières sont proscrites depuis Juillet 1972.

Dans le cas des exploitations en fouille noyée sans communication directe avec les cours d'eau l'influence thermique peut être supprimée sans aller jusqu'à l'interdiction de l'exploitation de carrières comme le proposait M. ARRIGNON dans sa note technique précédemment citée

On a vu que les effets thermiques sont dans ce cas de figure fonction de divers facteurs dont notamment l'éloignement du cours d'eau. En adaptant la distance ballastières - rivières aux conditions locales il est donc possible de supprimer tout effet thermique notable.

Un effet bénéfique complémentaire peut être obtenu en réduisant dans le sens parallèle à la rivière, la dimension des ballastières à venir.

Enfin, la recherche d'un colmatage plus rapide et plus efficace des ballastières par décantation de fines ou dépôt de terres côté rivière doit permettre d'améliorer la situation dans le cas des ballastières existantes.

Il serait par ailleurs bénéfique que soient supprimés les aménagements hydrauliques des cours d'eau devenus maintenant inutiles tels certains vieux barrages qui ralentissant le débit des rivières favorisent sérieusement l'échauffement de leurs eaux.

4.3.) - Réduction des apports de poissons concurrents des salmonidés

Dans le cas où subsisteront des communications directes entre ballastières et cours d'eau, la pratique du siphonnage proposée plus haut et complétée par la mise en place de grilles ou de joints hydrauliques convenablement dimensionnés devrait permettre de supprimer ou au moins de réduire notablement les inconvénients qui résultent actuellement de l'introduction d'espèces indésirables dans les cours d'eau à partir des ballastières.

Divers travaux ont déjà été réalisés ou engagés en France pour pallier les inconvénients qui résultent de l'exploitation des carrières sur les cours d'eau de bonne qualité piscicole.

En Haute-Normandie, dans le cadre du VII^e Plan, sur la proposition du Service de l'Industrie et des Mines de Haute-Normandie, a été entrepris l'inventaire des travaux à réaliser sur les ballastières de la Vallée de la Bresle pour réduire tous ces inconvénients.

La réalisation effective des principaux travaux nécessaires s'échelonnera au cours de la durée du VII^e Plan.

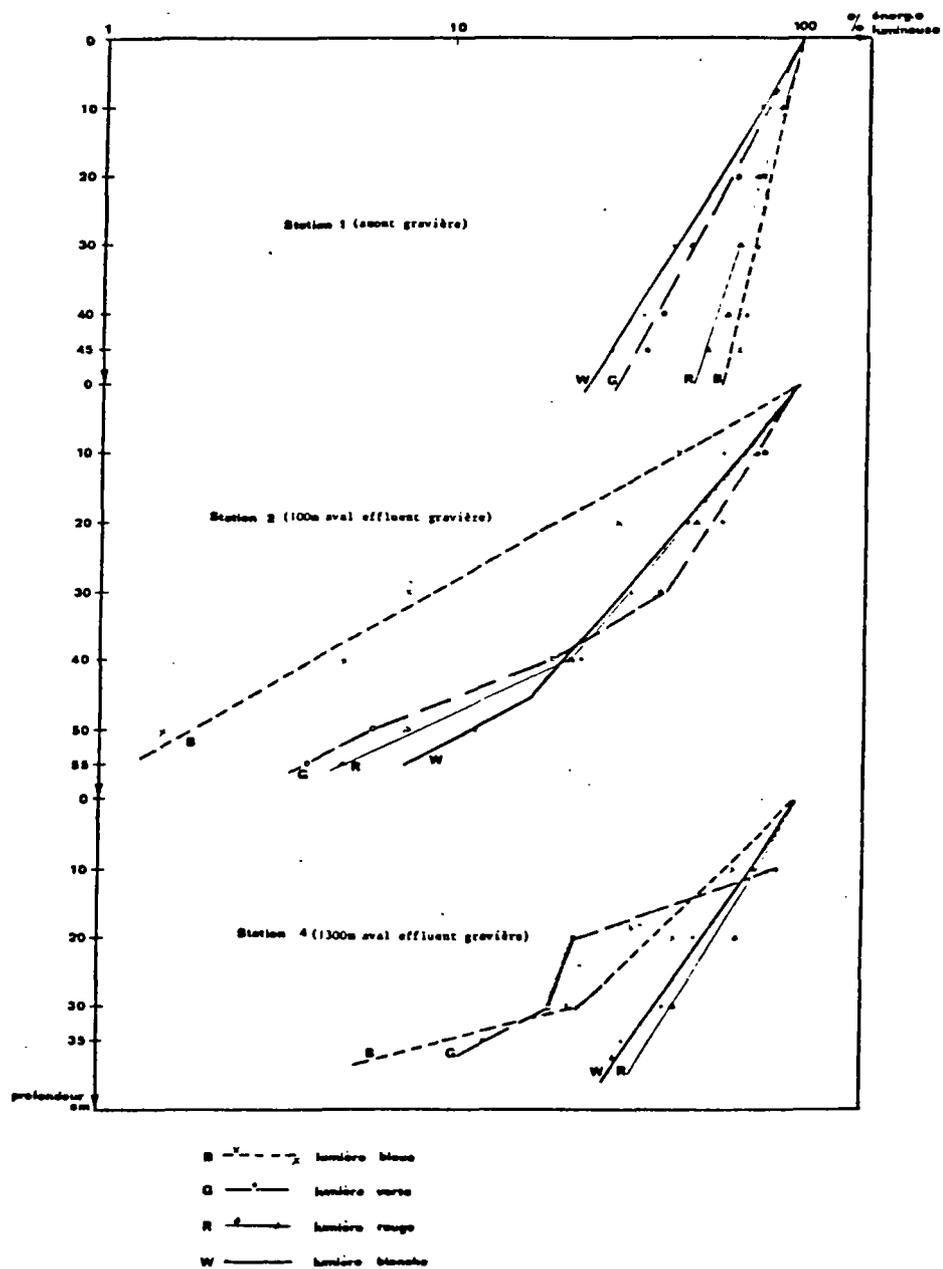
ANNEXE 5

**ILLUSTRATIONS DE L'IMPACT HYDROBIOLOGIQUE
SUR LES COURS D'EAU**

(149)

fig 3 : Pénétration de l'énergie lumineuse

Sortie du 9 juin 1977



G: Gravière

05/10/77
20/10/77
27/10/77
09/11/77

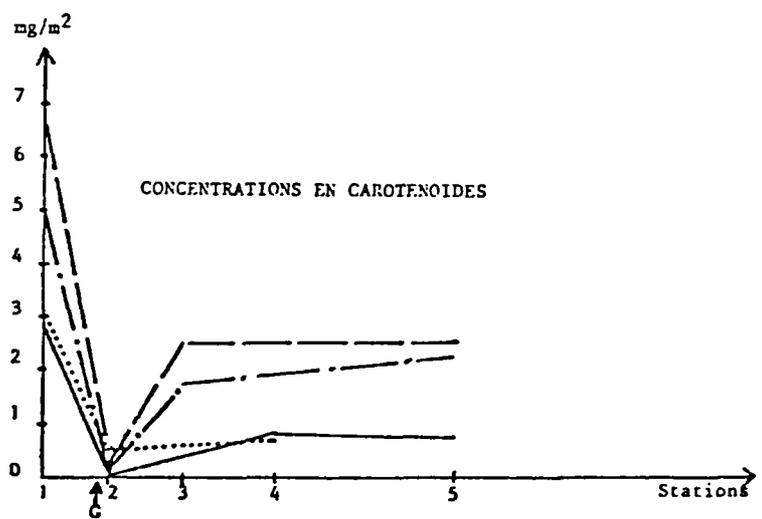
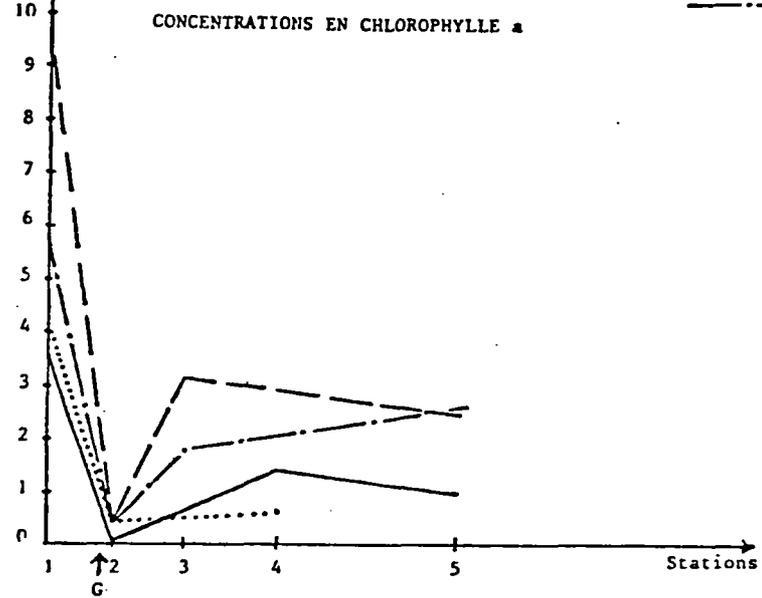


Fig. 4 : Variations des teneurs en chlorophylle a et caroténoïdes lors de quatre prélèvements (28 jours d'immersion des substrats artificiels).

faciès lotique (80% de la surface des stations)

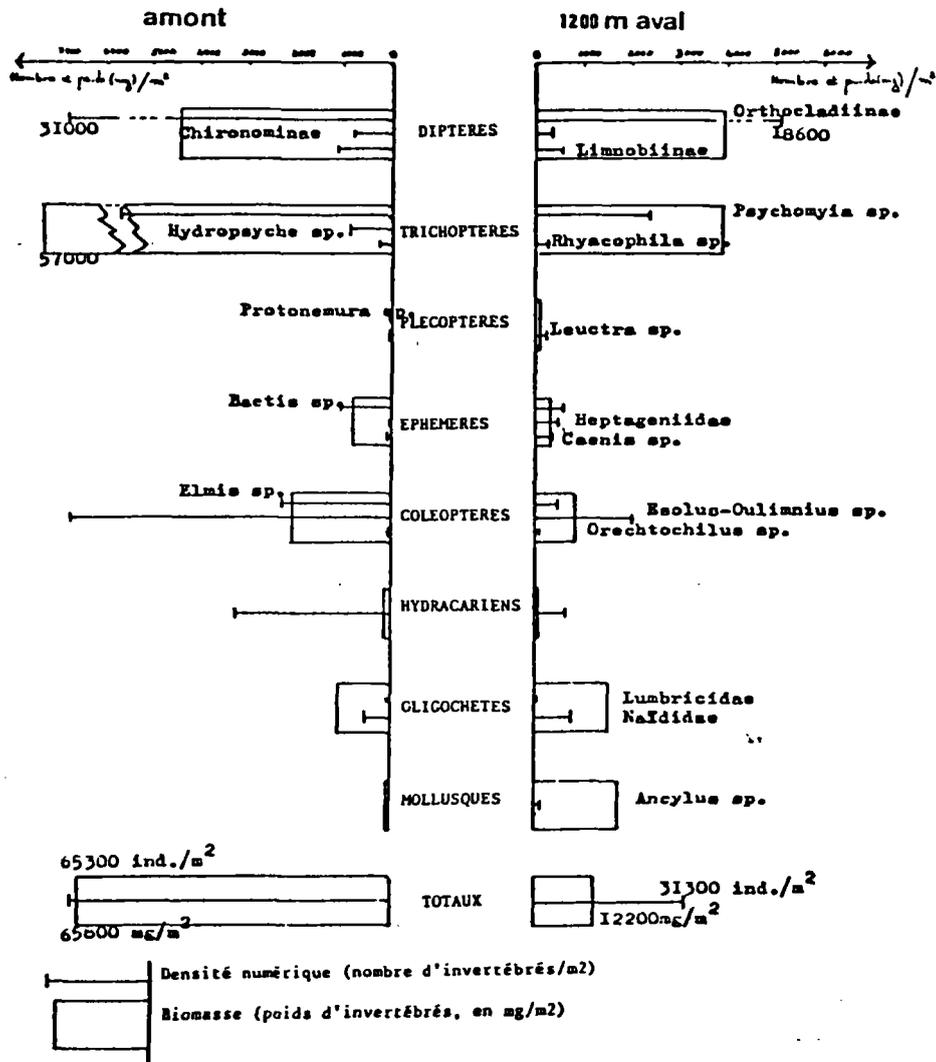


Fig. 5 : Densités et biomasses d'invertébrés benthiques, à l'amont et à l'aval (1200 m) d'une gravière, sur la Loire en avril 1976.

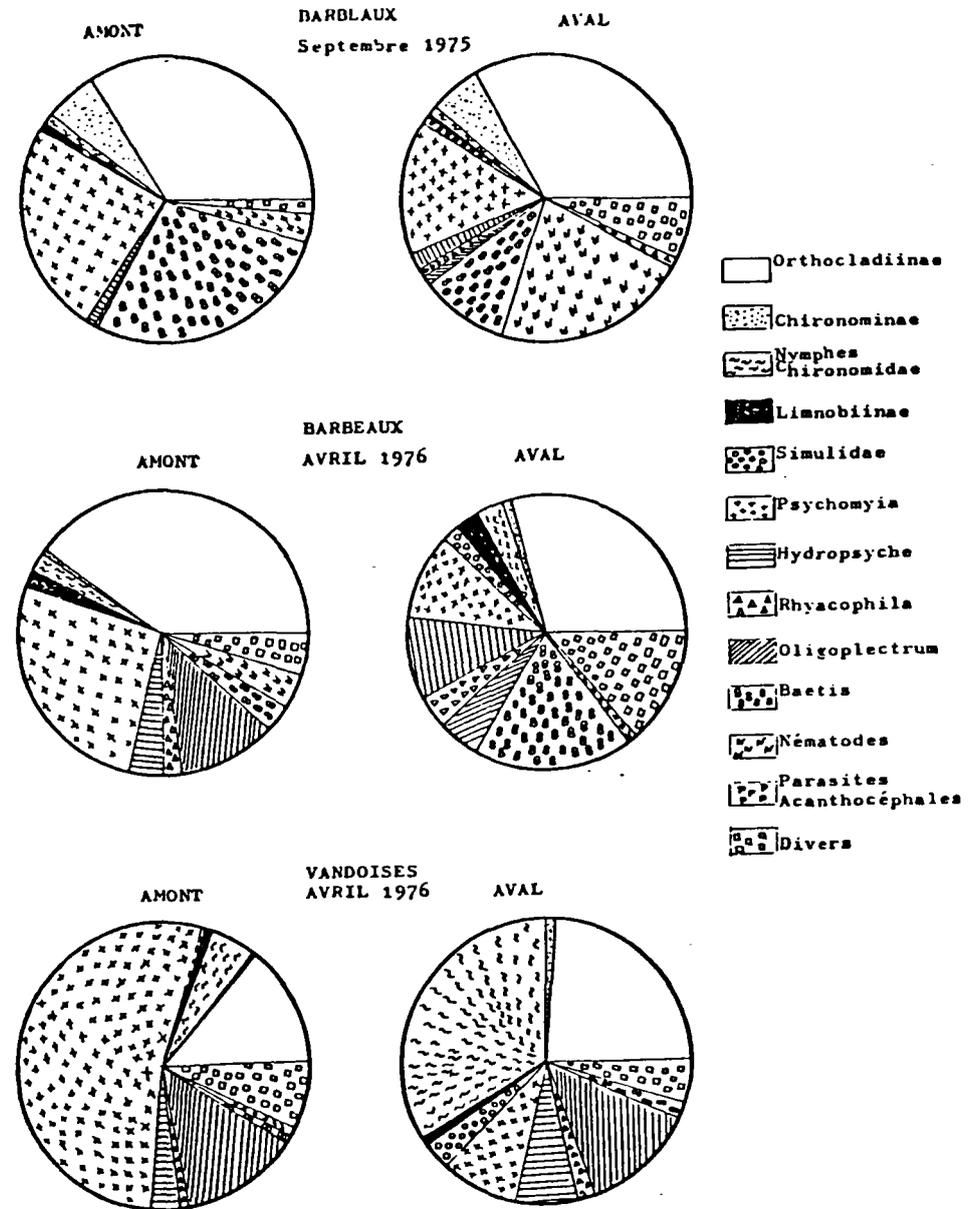
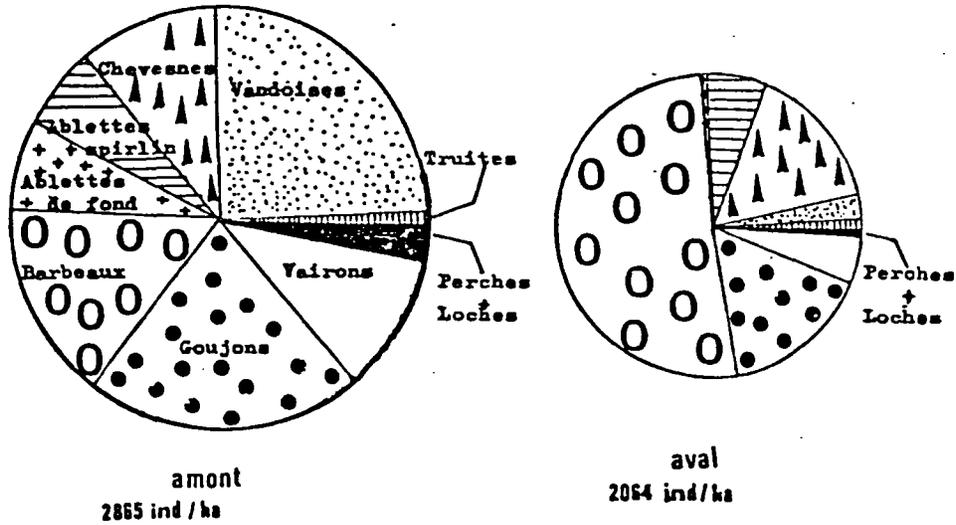


Fig. 5b : Composition moyenne des contenus stomacaux de poissons capturés à l'amont et 800 m à l'aval d'une gravière, sur la Loire, à Coubron (43)

DENSITÉ NUMÉRIQUE



BIOMASSE

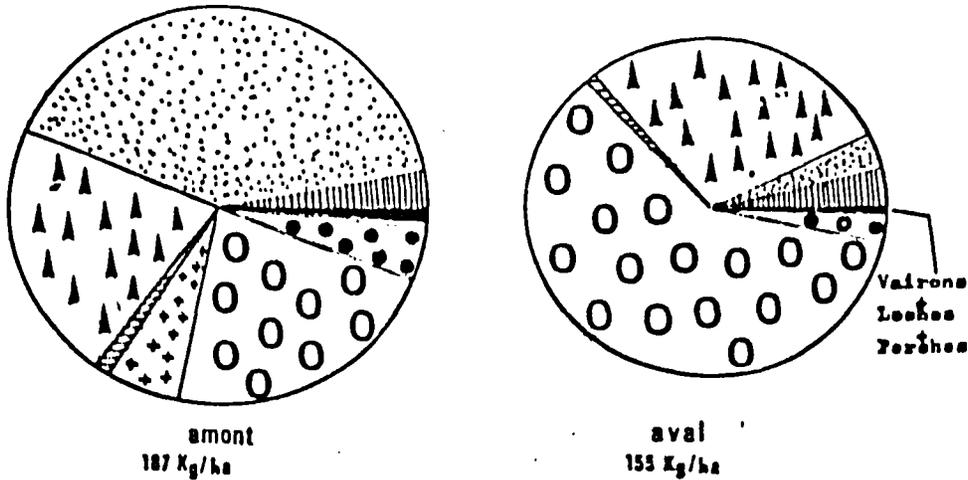
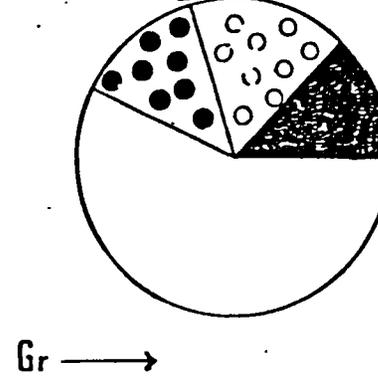
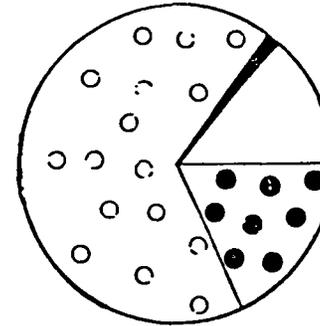


Fig. 7 : Peuplement ichthyaire estimé à l'amont et à l'aval d'une gravière sur la Loire (septembre 1975).

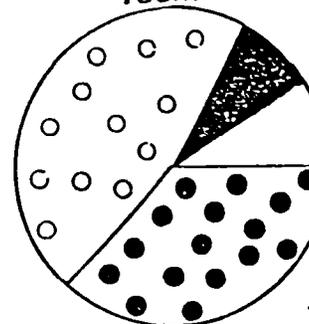
courant rapide 0,8 m/s
amont



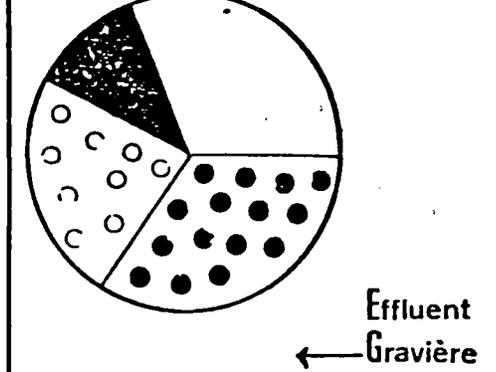
150m aval



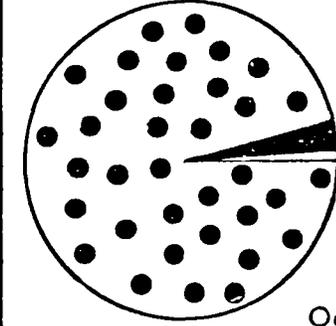
750m aval



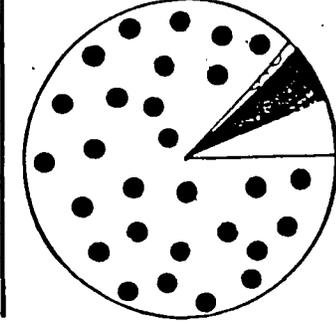
courant moyen 0,2 m/s
amont



150m aval



750m aval



- OEUPS VIVANTS
- OEUPS MORTS
- △ ALEVINS VIVANTS
- ▲ ALEVINS MORTS

Fig. 6 : Influence du colmatage des graviers par les MES sur le développement des œufs et alevins de truites, après 20 jours d'exposition, le 1^{er} mars 1976 (Rivière ALLIER, près d'ISSOIRE).

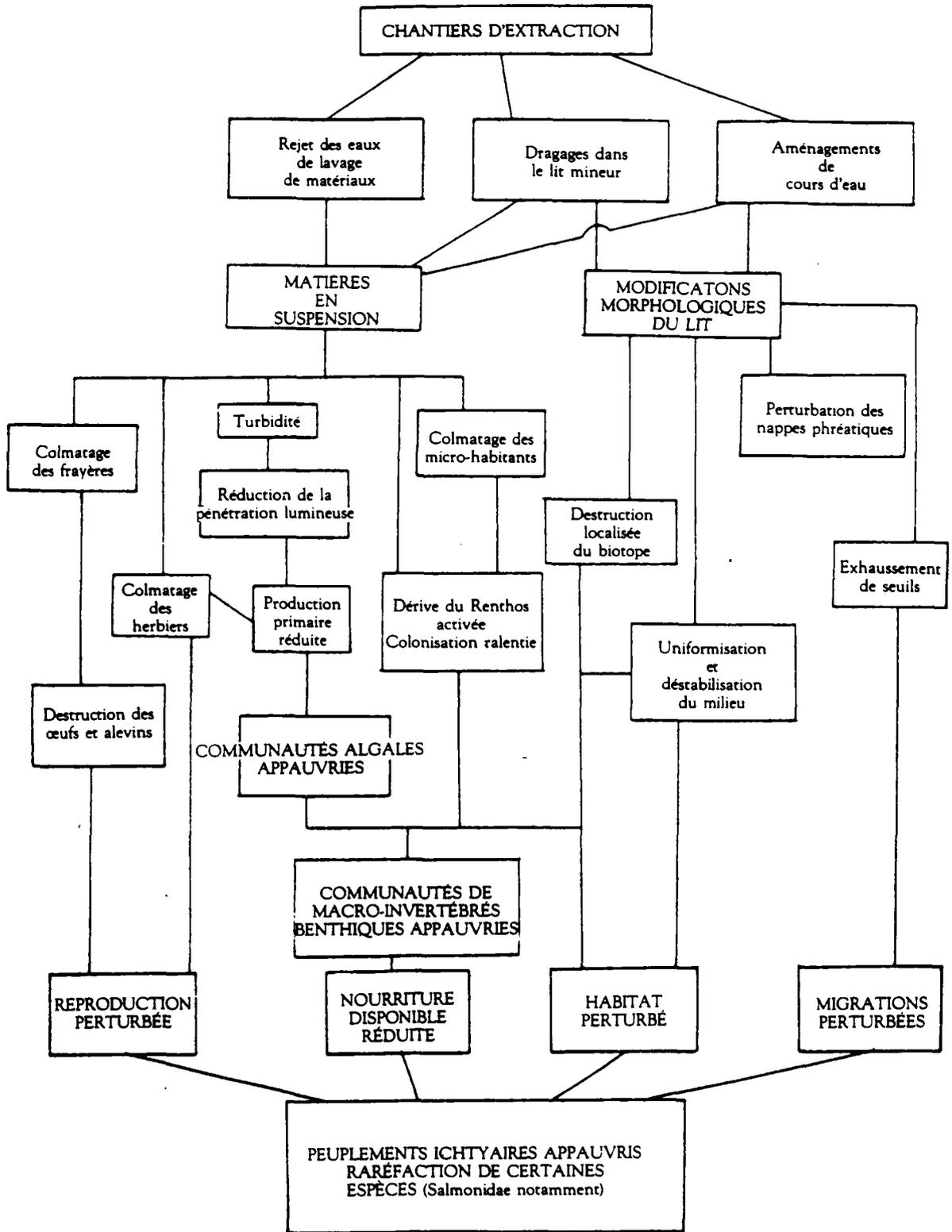


Fig. 8 : Schéma de l'impact des chantiers d'extraction sur l'écosystème aquatique.

D'APRES 149

ANNEXE 6

**EVOLUTION DES TENEURS EN NITRATES
DES LACS DE GRAVIERES**

**EFFETS SUR LES EAUX SOUTERRAINES
DANS LE DEPARTEMENT DE LA HAUTE GARONNE**

EXTRAIT DU D.E.A. DE B. DONVILLE, 1986

(358)

EVOLUTION DES TENEURS EN NITRATES
DES LACS DE GRAVIERES

EFFETS SUR LES EAUX SOUTERRAINES
DANS LE DEPARTEMENT DE LA HAUTE GARONNE

Extrait D.E.A. de B. DONVILLE, 1986

. Conclusions :

L'étude a été menée sur 14 sites du département de la Haute Garonne, regroupant 85 lacs de gravières implantés dans les alluvions de la basse plaine de la Garonne et de l'Ariège. Elle a fait apparaître que les eaux de ces lacs sont en général très peu chargées en nitrates puisque plus de 68 de ces lacs ont des teneurs inférieures, voire nettement inférieures à 10 mg/l (moyenne 12 mg/l).

Cette répartition est, malheureusement, très différente des observations relevées au sein de la nappe phréatique autour de ces sites. Celle-ci contient le plus souvent plus de 40 mg/l de nitrates sauf dans des zones à l'aval de grandes agglomérations (MURET, TOULOUSE). On constate que la pollution de la nappe est influencée, non seulement par une utilisation agricole du terrain, mais aussi par l'habitat plus ou moins dispersé et plus curieusement au niveau de zones industrielles.

Le principal paramètre qui peut être retenu comme corrélé avec les fortes teneurs en nitrates de ces lacs concerne leur état. Ainsi pour l'ensemble des lacs en exploitation analysés la moyenne des teneurs est de 22 mg/l s'étalant entre 42 et 5 mg/l. Ceci peut résulter d'une importante oxygénation des eaux par leur brassage au cours des travaux d'extraction, limitant de fait le phénomène de dénitrification.

On peut aussi constater qu'il est rare de trouver des lacs de grande extension, hors exploitation, qui présentent des teneurs importantes en nitrates.

Lorsque les teneurs des lacs en nitrates sont supérieures à 10 mg/l on s'aperçoit qu'elles peuvent être influencées par les teneurs de la nappe à l'amont hydraulique.

Par contre, nous n'avons pas pu mettre en évidence une corrélation entre le débit visuel de la nappe qui traverse les lacs et leur teneur en nitrates. Ceci est vraisemblablement dû au manque de précision et de densité des relevés piézométriques.

L'effet hydrodynamique des lacs de gravière sur la circulation des eaux souterraines a pu être relevé dans un certain nombre de cas soulignant une bonne communication globale entre les eaux de la nappe et de ces lacs.

Dans un certain nombre de cas nous avons pu constater un effet de dépollution vis à vis des nitrates à l'aval des lacs de gravières. C'est particulièrement significatif lorsque la densité des lacs est très importante sur un site comme par exemple au Nord-Ouest de Noé et entre Muret et Toulouse. Il est certain que dans ce cas plusieurs effets s'additionnent :

- manque d'activités polluantes au droit des lacs;
- effet cumulatif de la dénitrification lorsque les plans d'eau sont successifs dans le sens de l'écoulement;
- lorsque nous avons pu avoir des prélèvements particulièrement bien situés à l'aval de certains lacs.

Nous avons pu aussi mettre en évidence l'abaissement des teneurs en nitrates dans la nappe. Cet abaissement était parfois très important puisque par exemple on a trouvé des cas où à partir d'une nappe chargée à 47 mg/l, après traversée d'un lac dépollué (7 mg/l) on retrouvait à l'aval des teneurs de l'ordre de 13 mg/l. Ceci confirme bien les observations de P. BERGE qui étaient à l'origine de cette étude.

Mais tout n'est pas aussi simple puisque nous disposons aussi d'exemple où les teneurs à l'aval de lacs ne sont pas influencées. On est donc amené, si on veut tirer des phénomènes observés une certaine application à tenter de répondre à un certain nombre de questions :

- Quels sont les paramètres conditionnant la dénitrification au sein des lacs ?
- Quelle est la potentialité dénitrifiante d'un lac de gravières ? Ceci entraîne des études sur le colmatage des berges, les effets de la vitesse d'avancement de la nappe et de la vitesse de dénitrification, ainsi que sur la forme des lacs.
- Sur quelle distance, en aval d'un lac épuré, joue l'action dépolluante ?

Beaucoup d'études restent donc à entreprendre mais les résultats obtenus ici nous paraissent encourageants pour un aménagement du milieu naturel plus efficace.

ANNEXE 7

**L'EUTROPHISATION DES LACS
CAUSES ET CONSEQUENCES**

(65)

L'EUTROPHISATION DES LACS CAUSES ET CONSÉQUENCE

* G. BARROIN

L'eau est une ressource naturellement renouvelée que l'homme exploite à de multiples fins : boisson, irrigation, énergie, frigidaires, aquaculture, loisirs, etc... Simultanément il utilise l'eau pour éliminer un certain nombre de sous produits indésirables : sels minéraux, matières organiques, calories etc...

L'augmentation en diversité et en quantité des activités humaines a rendu incompatibles ces deux types d'utilisation de l'eau et nécessite la mise en œuvre d'un contrôle technique, administratif et législatif des nuisances s'y manifestant. Celles-ci sont relativement faciles à percevoir et à juguler si leurs effets sont rapides et violents et si leurs causes sont simples. Ce n'est malheureusement pas le cas de l'eutrophisation dont la complexité des causes et la lenteur des effets lui ont laissé tout le temps de progresser pendant que pollueurs et pollués en débattaient et en débattent encore.

Comment fonctionne un lac

1) Composants essentiels

Un lac est en relation permanente avec :

- l'atmosphère dont il piège les solides et avec laquelle il échange de l'eau et des gaz.
- le sédiment dont il reçoit les gaz et avec lequel il échange diverses substances en solution ou en suspension.
- le bassin versant dont il reçoit l'eau et sa charge par l'intermédiaire du réseau hydrographique le trop plein s'écoulant par un exutoire de surface.

Au fonctionnement d'un lac participent :

- l'eau chargée de substances minérales, organiques, en suspension, en solution.
- le phytoplancton (végétal) qui transforme le minéral en organique (en produisant de l'oxygène)
- le zooplancton (animal) qui consomme le phytoplancton
- les poissons qui consomment du phytoplancton, du zooplancton ou d'autres poissons
- les décomposeurs qui transforment l'organique en minéral (en consommant de l'oxygène).

2) Stratification et circulation

Quoique dormantes, les eaux d'un lac sont le siège de mouvements d'amplitude et de périodicité variable liés à des facteurs hydrologiques, météorologiques et morphologiques. L'un des plus importants de ces mouvements concerne annuellement l'ensemble du lac et comporte deux périodes principales.

Période de stratification : à l'approche de la saison chaude, le lac se réchauffe par le haut ce qui provoque une diminution de la densité des eaux superficielles. La stratification qui en résulte permet de distinguer trois couches :

- l'épilimnion en surface (chaud, oxygéné où prédominent les phénomènes de production)



Phytoplancton de lac oligotrophe. (Doc. INRA)

- l'hypolimnion au fond (froid, moins oxygéné où prédominent les phénomènes de décomposition)

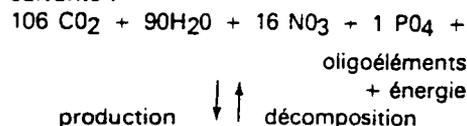
- le métalimnion zone transitoire.

Période de circulation : à l'approche de l'hiver l'épilimnion se refroidit et s'épaissit d'autant plus rapidement que les conditions atmosphériques sont plus rudes (vents

forts et températures basses). L'ensemble des eaux est soumis à un brassage qui provoque l'homogénéisation thermique et chimique du lac, jusqu'à la période de stratification suivante.

3) Production et décomposition

L'équation générale des phénomènes de production et de décomposition est la suivante :



Production :

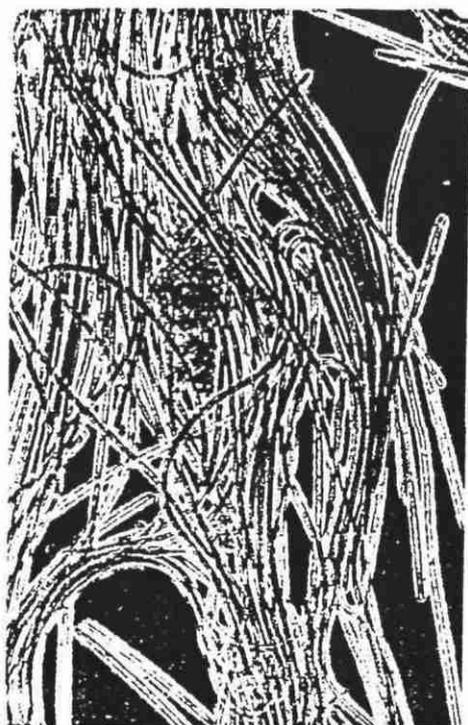
La matière vivante végétale élaborée dans l'épilimnion par synthèse chlorophyllienne nécessite la présence des éléments cités dans l'équation précédente et la quantité produite est limitée par le premier élément qui vient à faire défaut par rapport aux besoins. Le phosphore est un élément qui se fixe facilement et qu'il est difficile de trouver naturellement en solution si bien que la plupart des lacs sont naturellement carencés en cet élément. Autrement dit, la production dépend d'abord de la teneur en phosphore en solution dans l'épilimnion à la fin de la période de circulation puis des apports du bassin versant et des possibilités de recirculation dans l'épilimnion lui-même en période de stratification.

Décomposition :

Une fois morte, la matière organique élaborée dans l'épilimnion se dépose sur le fond où se déroule l'essentiel des phénomènes de décomposition. Ceux-ci libèrent les divers éléments fixés au cours des phénomènes de production, en particulier le phosphore, et consomment l'oxygène dont l'hypolimnion s'était enrichi au cours de la période de circulation. Si malgré cette consommation d'oxygène le milieu reste suffisamment oxydant, des composés ferriques peu solubles se forment qui fixent le phosphore, le sédimentent et le soustraient ainsi au cycle annuel de production. Par contre si le milieu devient réducteur, non seulement le phosphore ne rencontre pas les composés ferriques susceptibles de le sédimenter mais la transformation de ceux-

* Chargé de recherches - I.N.R.A. Station d'Hydrobiologie lacustre de Thonon-les-Bains.

ci en composés ferreux beaucoup plus solubles entraîne une libération du phosphore préalablement déposé ; celui-ci pourra enrichir à nouveau et de façon interne l'épilimnion au cours de la période de circulation.



Phytoplancton de lac eutrophe. (Doc. INRA)

4) Oligotrophie et eutrophie

La quantité de matière produite par unité de surface durant une période déterminée est fonction des facteurs trophiques et énergétiques mais aussi des conditions dans lesquels ils s'expriment (morphologie, régime des eaux etc...). En ne s'attachant qu'aux facteurs trophiques, les premiers à avoir été modifiés par les activités humaines, on distingue deux types de lacs :

Lac oligotrophe : un lac qui ne reçoit que peu d'apports nutritifs n'entretient qu'une faible production qui pour être décomposée n'utilisera que peu d'oxygène hypolimnique ; un tel lac est dit oligotrophe, (peu nourri) en général sa production est limitée par le phosphore.

Lac eutrophe : un lac qui reçoit continuellement une quantité importante d'apports nutritifs entretient une forte production qui pour être décomposée utilisera éventuellement tout l'oxygène hypolimnique, à moins que la matière produite ne soit exportée ; un tel lac est dit eutrophe (bien nourri) ; si les apports nutritifs contiennent suffisamment de phosphore pour lui éviter une carence phosphorée, les éléments qui risquent de limiter la production sont l'azote (dont la carence est « naturellement » évitée par l'apparition de phytoplancton

fixateur d'azote atmosphérique) puis le carbone (dont la carence est « naturellement » évitée par la décomposition épilimnique de la matière organique qui fournit le

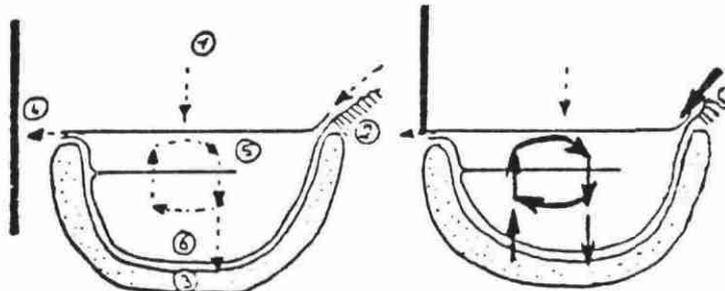
CO₂ nécessaire).

Ces deux types de lac ont des caractéristiques très différentes que l'on peut schématiser ainsi :

Physico-chimie : eau	oligotrophie	eutrophie
couleur	transparente, bleutée	verte, brunâtre
pH du fond	# 7	≤ 7
minéralisation	faible	forte
Oxygène : profil	orthograde	clinograde
estival		
présence au fond	en toutes saisons	nulle en été
substances nutritives	peu abondantes	abondantes
phosphore soluble	qques µg/litre	centaines de µg/litre
Sédiments		
fer	composés ferriques (gel d'hydroxyde)	composés réduits solubles
soufre	sulfates	sulfures
azote	nitrique	ammoniacal
matière organique	peu abondante	abondante et putride
Biologie - phytoplancton		
production prim	faible	forte
épaisseur de la zone trophogène	importante	faible
espèces (dominantes)	nombreuses (chlorophycées - diatomées)	peu nombreuses et même unique (cyanophytes)
flore littorale	absente ou presque	abondante
faune benthique	nombreuses espèces (stenoxybiontes)	peu (ou pas) d'espèces (euroxybiontes)
Poissons	nobles : corégones truites	blancs : gardons carpes

Dynamique des fertilisants

- 1 - atmosphère
- 2 - bassin versant
- 3 - sédiments
- 4 - exutoire
- 5 - épilimnion
- 6 - hypolimnion



Flux des fertilisants : → faible → fort.

Ce qui perturbe le fonctionnement d'un lac

1) Modification des facteurs trophiques

Le passage de l'état oligotrophe à l'état eutrophe et la progression dans ce dernier état sont appelés « eutrophisation ». Il y a plusieurs sortes d'eutrophisation :

— l'eutrophisation naturelle dont le concept mal défini est fort contesté.

— l'eutrophisation culturelle volontaire pratiquée pour accroître la production d'un plan d'eau de façon contrôlée (contrôle des apports et des exports).

— l'eutrophisation culturelle involontaire.

Cette dernière sorte d'eutrophisation, qui menace la qualité des eaux continentales et de certaines eaux marines est un « sous

produit » complexe des activités humaines élaboré de façon totalement incontrôlée principalement à partir des diverses substances nutritives continuellement déversées dans ces eaux. Il est clair, quoique schématique que le déversement d'un effluent urbain (1 P, 4 N, 6 C en poids) dans une eau oligotrophe (1 P, 20 N, 600 C) est capable d'y apporter le phosphore, puis l'azote qui y font défaut pour une production végétale équilibrée (1 P, 7 N, 40 C).

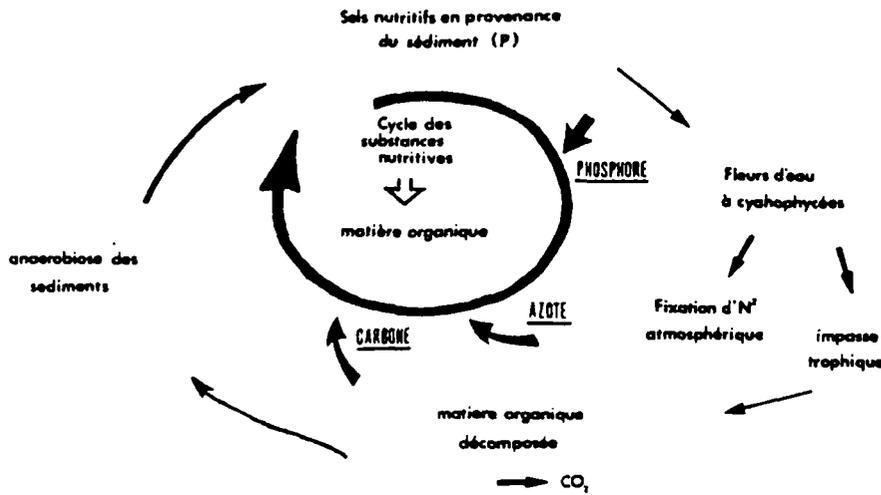
Bien que les secteurs agricole et industriel ne soient pas étrangers au phénomène de l'eutrophisation, le secteur urbain est un grand responsable du flux de fertilisants auquel sont soumis un bon nombre de plans d'eau notamment à cause des « progrès » que sont :

- le tout à l'égout (incomplètement traité)
- l'emploi de détergents phosphatés (la

moitié du kilo de phosphore excrété en un an par un homme en provient).
 — la construction « les pieds dans l'eau » (ou presque) offerts à une population en croissance quasi exponentielle.
 Comme entrevu précédemment, un certain

niveau d'eutrophisation atteint grâce aux apports du bassin versant permet une régénération du phosphore sédimenté et entretient une autoeutrophisation qui ne fait qu'accélérer le processus selon le schéma suivant :

Cette évolution quantitative s'accompagne de bouleversements qualitatifs qui touchent tous les composants de l'écosystème lacustre (phytoplancton, zooplancton, faune benthique, poissons) en particulier la disparition de l'oxygène hypolimnique contribue à la disparition du poisson « noble ».



2) Modification d'autres facteurs

Pour une même dynamique des fertilisants provenant du bassin versant ou régénérés à partir du sédiment, l'eutrophisation peut être provoquée par des modifications de facteurs de la production telles que :

- élévation de la température
- accroissement de l'éclairement
- augmentation du temps de séjour.

« propreté » des berges, ce qui est défavorablement perçu dans le cadre d'un certain nombre d'utilisations (eau potable, loisirs, etc...) mais l'augmentation de la production piscicole en poisson « blanc » qui en résulte convient à une certaine catégorie de pêcheurs.

A plus long terme l'augmentation de la teneur en matières organiques est telle que la qualité de l'eau devient suspecte : le graphique suivant permet d'apprécier la différence entre un lac oligotrophe (Annecy) et un lac eutrophe (Nantua) à l'aide d'un paramètre synthétique de la pollution organique, la D.B.O.₅.

Les effets de l'eutrophisation

1) A court et à moyen terme

L'augmentation de la production végétale diminue la transparence de l'eau et nuit à la

2) A long terme

« La pollution croissante des eaux de surface par des matières organiques supprime cette barrière écologique qui sépare l'homme et les animaux des ferments pathogènes du sol ».

L'eutrophisation qui contribue à augmenter la teneur en matière organique des eaux, favorise en fait la multiplication et la dispersion des microorganismes hétérotrophes dont un certain nombre de germes pathogènes (virus, bactéries, amibes) avec d'autant plus d'efficacité que les pollutions organiques et bactériennes ne sont que très imparfaitement traitées.

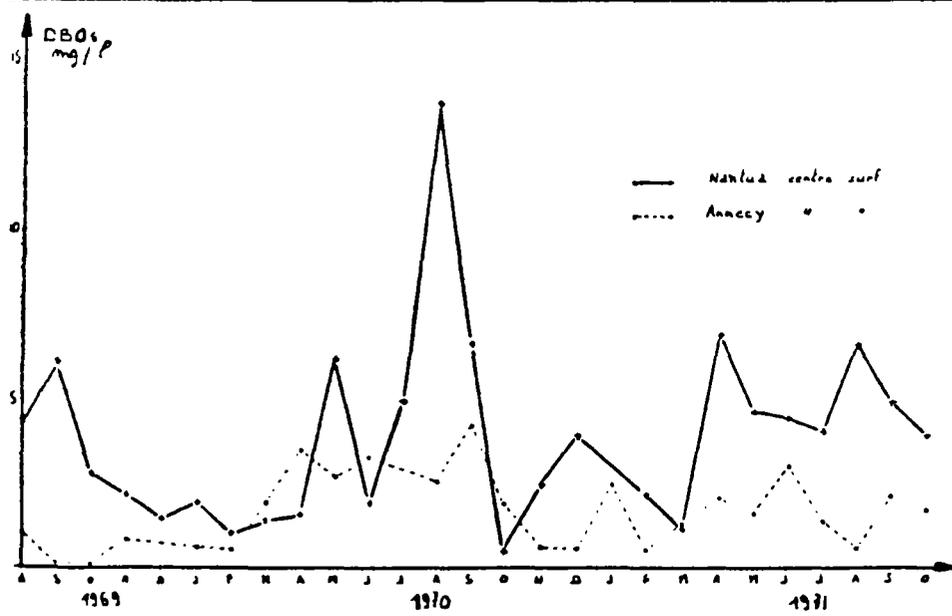
Cette matière organique crée également des conditions de milieu qui stimulent l'activité de certains microorganismes dont les sous produits du métabolisme sont particulièrement toxiques :

- toxines de certaines moisissures (dont l'aflatoxine cancérigène)
- sulfure d'hydrogène des bactéries sulfato-réductrices.

Plus complexes mais non moins dangereuses pour la santé publique sont les manifestations synergétiques de la matière organique et des métaux lourds tels que l'arsenic ou le mercure : l'enrichissement des sédiments en matière organique stimule l'activité microbienne qui s'y développe dans le sens de l'élaboration donc de l'incorporation à la chaîne alimentaire des composés organiques du mercure tels que le méthylmercure.

*

L'eutrophisation est un mal qui se manifeste dans les masses d'eau de tailles diverses (Nantua, Erié, Baikal, Baltique) et dont les racines s'étendent sur l'ensemble des bassins versants. Parasite incontrôlé d'une certaine civilisation de production, c'est un mal de « riches » qui menace la santé publique comme l'a menacée la pollution organique et bactérienne des siècles passés. Il est intéressant de noter que c'est justement en essayant de traiter, très imparfaitement cette pollution organique primaire (tout à l'égout, stations d'épuration) qu'on a facilité le développement de cette pollution organique secondaire qu'est l'eutrophisation. ■



On remarque sur ce graphique que :

- la moyenne de Nantua est double de celle d'Annecy
- le maximum de Nantua est triple de celui d'Annecy

— ces valeurs correspondant à des points superficiels centraux, des teneurs bien plus élevées pouvaient être relevées aux points littoraux où viennent s'accumuler les algues mortes (les plages en particulier).

ANNEXE 8

**REPONSES AUX PREOCCUPATIONS COURANTES EN
MATIERE D'INTERACTIONS EAUX-CARRIERES**

1 - PREOCCUPATIONS COURANTES

Durant le déroulement de cette étude, les contacts pris auprès des administrations et des organismes concernés, ont mis en évidence les questions qui leur sont fréquemment posées.

Sans ordre d'importance particulier, les préoccupations concernent essentiellement :

- 1 - L'effet thermique sur le cours d'eau en relation (ou non) avec la gravière, est cité fréquemment;
- 2 - Les effets hydrodynamiques sur :
 - . le niveau des nappes
 - . les captages
 - . résultant du remblayage
- 3 - Pour les carrières hors d'eau, les problèmes de protection des nappes :
 - . la tranche d'alluvions à laisser en place
 - . la définition du niveau de référence
- 4 - Lors du réaménagement, l'influence du remblai sur la qualité des eaux de la nappe et particulièrement sur les teneurs en nitrates
- 5 - Le colmatage
- 6 - L'érosion régressive et l'impact sur les crues
- 7 - L'évolution des plans d'eau (eutrophisation)
- 8 - L'installation de microclimats
- 9 - Les moyens d'évaluation de l'impact et la dispersion optimale des gravières

Enfin, de façon plus épisodique, les effets de la mise à jour des nappes et les plans d'eau résiduels en roche massive

2 - QUELQUES ELEMENTS DE REPONSES

2.1 - L'effet thermique sur les cours d'eau est en général négligeable en regard des fluctuations naturelles de leurs températures. Il peut en aller différemment pour la nappe en aval immédiat des carrières en eau et cet aspect doit être pris en considération au niveau de l'étude d'impact pour les projets de grande superficie lorsque il existe à l'aval des possibilités d'utilisation du potentiel thermique de la nappe.

2.2 - Les effets hydrodynamiques (à part un risque global de diminution du débit des captages dans des proportions très variables) sont trop divers et liés aux conditions locales pour faire l'objet de règles générales, devront toujours faire l'objet d'une évaluation préalable sérieuse assortie le cas échéant d'une étude prévisionnelle sur modèle.

2.3 - La protection des nappes sous les carrières hors d'eau à l'aide d'une tranche de terrain "tampon" pose trois questions :

- quel niveau de nappe prendre comme référence ?
- contre quel risque de pollution envisage-t-on la protection ?
- quel est le pouvoir épurateur ou retardateur du terrain vis à vis de ce risque ?

A la première question, on peut répondre que la cote des hautes eaux de fréquence décennale paraît un niveau de référence raisonnable, en règle générale.

La seconde question amène à rappeler que si la mise à nu de la nappe est loin d'être intrinsèquement néfaste peut même contribuer à l'amélioration de sa qualité, elle accroît en revanche la vulnérabilité aux pollutions accidentelles en supprimant l'effet épurateur ou simplement retardateur de la couverture "tampon".

L'épaisseur de cette couverture "tampon" n'est à peu près définie que dans le cas de la protection contre la pollution bactériologique en terrain meuble (alluvions) où des épaisseurs de 1 à 3m semblent admises comme suffisantes (*).

Dans tous les autres cas, le pouvoir épurateur ou retardateur des différents terrains vis à vis des divers types de pollution possibles est encore trop mal connu pour que des règles précises puissent être établies. On se réfèrera alors soit à l'expérience et au bon sens ou à des expérimentations spécifiques pour les cas les plus délicats.

(*) Sans véritable justification semble-t-il, si ce n'est les expériences menées dans le domaine sanitaire sans rapport direct avec les carrières (M&R).

2.4 - L'influence du remblai, sur la qualité des eaux de la nappe a été étudiée seulement dans le cas des ordures ménagères (323, 331), mais pas particulièrement vis à vis des teneurs en nitrates. Sauf composition chimique particulière des remblais, il ne semble pas, en fonction des connaissances actuelles, que leur impact hydrochimique doive être particulièrement important au-delà de la centaine de mètres en aval.

2.5 - Le colmatage est un phénomène quasi-constant qui intervient à des degrés divers en fonction de la nature et de la composition du gisement, du mode d'exploitation, de l'environnement, etc (Cf. chapitre 4).

On le favorisera ou on l'atténuera selon la destination de la carrière après exploitation.

2.6 - L'érosion régressive et l'impact sur les crues. L'érosion régressive se développe à partir des exploitations en lit mineur vers l'amont jusqu'à atteindre un point dur qui la bloque. D'où l'idée de construire des "seuils" qui protégeront les aménagements ou les rives situées en amont, mais dont l'effet sur l'abaissement de la ligne d'eau et du niveau des nappes associées est souvent peu sensible globalement.

L'impact sur les crues consiste en une amélioration temporaire de l'écoulement résultant de l'augmentation de la section de passage, amélioration qui pourra s'atténuer plus ou moins lentement au fur et à mesure du remaniement naturel du lit.

On ne dispose pas encore d'outils permettant de prévoir avec précision l'évolution des phénomènes en fonction du temps.

2.7 - L'évolution des plans d'eau qui peut être assimilée à la notion de vieillissement est traitée au chapitre 4. On doit craindre l'eutrophisation chaque fois que les apports azotés et phosphatés au plan d'eau dépasseront ses possibilités d'élimination, ce qui risque d'être le cas à l'aval hydraulique d'exploitations agricoles suramendées ou de zones de rejets importants d'assainissement.

2.8 - L'installation de micro-climats est délicate à prévoir dans la mesure où cette notion peut recouvrir des réalités très diverses selon les interlocuteurs.

2.9 - L'impact et la dispersion optimale des gravières (sous-entendu en zone alluviale) relève d'une étude hydrogéologique appuyée le plus souvent sur un modèle de simulation.

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE ET DE LA RECHERCHE
TAXE PARAFISCALE SUR LES GRANULATS

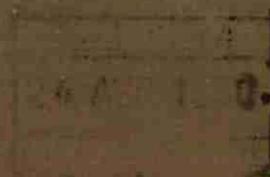
MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT
BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES



BRGM

INTERACTIONS ENTRE LES CARRIERES ET
LES EAUX SOUTERRAINES
ET SUPERFICIELLES

Synthèse bibliographique



Novembre 1988
87 SGN 391 PAC



BRGM

**MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE ET DE LA RECHERCHE
TAXE PARAFISCALE SUR LES GRANULATS**

**MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT
BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES**

**INTERACTIONS ENTRE LES CARRIÈRES ET
LES EAUX SOUTERRAINES
ET SUPERFICIELLES**

Synthèse bibliographique

**par M. GRAVOST
avec la collaboration de J.M. SIONNEAU**

**Novembre 1988
87 SGN 391 PAC**

**BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
Service Géologique Régional Provence - Alpes - Côte d'Azur
Domaine de Luminy - Route Léon-Lachamp - 13009 Marseille
Tél.: 91.41.24.46 - Télex : BRGM 401585 F**

INTERACTION EAUX ET CARRIERES

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

° ° °

Remarques générales :

L'intérêt estimé de chaque ouvrage dans l'optique des connaissances sur l'interaction eaux/carrières est indiqué à côté de l'index séquentiel par :

- () ** Grand intérêt scientifique
- () * Intérêt scientifique moyen
- () Intérêt pratique, mais intérêt scientifique faible

- (1)* 1961 - HAMILTON J.D.
The effect of sand-pit washings on a stream fauna
Verh. Internat. Verein. Limnol., n°14, p.435-439.
- (2)* 1964 - AVNIMELECH Y., NEVO Z.
Biological clogging of sands.
In Soil Science, n°98, p. 222-226.
- (3)* 1964 - FRENETTE M.
Etude de colmatage dans un milieu poreux de granulométrie étendue
th. 3ème cycle un. Grenoble, 127 p., 24 fig.
- (4)* 1967 - LEYNAUD G.
Les pollutions thermiques. Influence de la température sur la vie
aquatique.
Bull. tech. d'information n°224, nov. 1977.
- (5)* 1968 - CLOUET D'ORVAL M.
IMPLANTATION DE SEUILS SUR LE COURS DU VAR - 2EME RAPPORT - ETUDE DU RE-
LEVEMENT DE LA NAPPE CALCUL DU DEBIT DE FUITE SOUTERRAIN DE LA RETENUE
CREEE PAR UN SEUIL
DDA 06f rapport GEOHYDRAULIQUE 199, 09.1968, 36 pages, 8 fig., 7 pl.
- (6) 1969 - BERTON Y., RAMPON G.
Répercussions possibles de l'exploitation du gypse des platrières de Ta-
verny et Bessancourt sur la source Mery à St-Leu la Forêt (Val d'Oise).
Note prélim. 69.SGL.180, 21 p. 6 fig.
- (7)* 1969 - CHUTTER F.M.
The effects of silt and sand on the invertebrate fauna of streams and
rivers.
In Hydrobiologia, n°34, p.57-76
- (8)* 1969 - JAMME
CONSEQUENCES DE L'EXTRACTION DES MATERIAUX DANS LE LIT DU VAR

- (9) 1969 - OWEN M.W.
Déposition of suspended particles in a gravel bed by EINSTEN H.A.
discussion.
Proc. amer. soc. civ. j. hydraul. div. , vol. 95, n°3, P. 1035-1087
- (10)** 1970 - Anonyme (SGR/BDP)
Généralités sur les problèmes hydrogéologiques posés par le développement des sablières dans les gîtes alluviaux de la région parisienne
CTE fRap BRGM 70 SGN 034 BDP, 34p., 17 pl., 1 h.t., 4 an.
- Les sablières se développent de façon gigantesque dans les gîtes alluviaux d'eau potable. Après caractérisation des sablières, on suit leur évolution et l'on étudie leurs influences hydrodynamiques et qualitatives sur la nappe alluviale. Cette étude montre que les sablières peuvent diminuer le potentiel hydraulique des nappes alluviales et influencer sur leurs paramètres hydrogéologiques et leur écoulement naturel. Elles augmentent la vulnérabilité des nappes et sont toujours des sources de pollution en puissance, particulièrement lorsqu'elles sont en relation directe avec les rivières et qu'elles sont remblayées avec des résidus industriels et des ordures ménagères. L'importante bibliographie à laquelle on s'est reporté n'a pas permis de préciser quantitativement et dans tous les cas possibles les diverses influences des sablières sur la nappe alluviale et une étude complémentaire chiffrée est proposée en conclusion.
- (11) 1970 - DUBA D., MUCHA I., DREVENAK J.
The problem of lowering ground-water table in the proximity of a sandstone quarry near Provodin.
SB. Geol. Ved-Hydrogéol. Inzen. Geol., vol. 7, p. 43-60.
- (12)** 1970 - GRAILLAT A.
Etude des problèmes posés par l'ouverture de gravieres en Alsace. Chimie des eaux.
? Service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine f. 31 p. + annexes
- (13)* 1970 - HUNTER-BLAIR A.
Artificial recharge of ground water.
The Water Research Association, technical paper TP 75, 63 p. + annexes.
- (14) 1970 - PREFET DES ALPES MARITIMES
CAHIER DES CHARGES ANNEXE A L'ARRETE DU 15 SEPTEMBRE 1970
PREFECTURE

- (15) 1971 - GARNIER J.L., PUTALLAZ J.
NOTE CONCERNANT L'OUVERTURE DE GRAVIERES DANS LES FORMATIONS ALLUVION-
NAIRES DE LA CRAU
*MIN. DU DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL ET SCIENTIFIQUEE rapport BRGM 71 SGN
408 PRC, 22 pages, 6 fig., 2 pl.*
- (16)* 1972 - Anonyme
Vallée de l'Eure - Délimitation des zones à réserver en vue de satisfai-
re les besoins en eau dezs collectivités
*A.F.B. Seine - Norm. , Rap. BURGEAP R. 75 - E.178 juin 1972, 30 p., 3
tab., 2 an.*
- (17)* 1972 - B.R.G.M.
Etude bibliographique de la pollution des eaux souterraines par les dé-
pôts d'ordures ménagères en milieu alluvial.
Rap. 72 SGN 334 SGAL
- (18)* 1972 - CREMILLE L. DE LA QUERIERE P. SAUTY J.P.
Etude de l'influence sur les inondations dues aux crues de l'Eure de
l'extension des exploitations de sables et graviers entre Pacy sur Eure
et Breuilpont (Eure)
Rap B.R.G.M. 72 SGN 166 PNO, 15 p. +fig.
- (19)* 1972 - DESPREZ N., DE LA QUERIERE P.
Bassin de l'Eure - Influence de l'ouverture de carrières de sables et
graviers dans la plaine alluviale sur le caractère chimique de la nappe
MDIS , M Env.,Rap. BRGM 72 SGN 412 PNO, 48 p., 29 fig.,
- L'analyse de points d'eau superficielle ou souterraine dans le périmètre de protection des sources de
la ville de Paris a mis en évidence un élément polluant dans au moins 70% des ballastières mais aucun
dans la nappe. L'ouverture d'une ballastière entraine la précipitation des carbonates et une
dénitrification. Diverses recommandations sont élaborées à partir de ces constats.
- (20)* 1972 - NUTTAL P.M.
The effects of sand déposition upon the macroinvertebrate fauna of the
river Camel, Cornwall.
In Fresh-water Biology, vol. 2, p. 181-186.

- (21)* 1972 - ROUSSELOT D.
Vallée de l'Isère, nappe de Moirans-Tullins. Première partie :
Hydrodynamique.
Rap. B.R.G.M. 72 SGN 073 JAL, 28 p., 7 ann.
- (22)** 1972 - SIMLER L. and all
Etude des problèmes posés par l'ouverture de gravières en Alsace - Rap-
port de synthèse
Rap. B.R.G.M. 72 SGN 039 GAL, 43 p., 82 pl.+ tb., 2 ann.
- (23)* 1972 - UNGEMACH P.
Etude sur modèle analogique de l'influence des sablières sur la nappe
aquifère de la Moselle.
Rap. 72 SGN SGA
- (24) 1973 - Anonyme
Méthodes pratiques pour les solutions du colmatage au cours d'infiltra-
tions des rivières et des bassins de retenue.
15 ème Congrès de l'A.I.H.R d'Istanbul, p. 391 -396.
- (25)? 1973 - ARQUIE G., ARCHIMBAUD C.
Sables et lavage.
*Bull. liaison lab. Ponts et Chaussées, n° 66 p.163-187, juillet août
1973. Colloque sur les installations mobiles ou temporaires de
concassage-criblage,*
- (26) 1973 - BOURALY J.C.
La clarification des eaux de lavage chargées de matières minérales.
Equipement mécanique.
In Carrières et Matériaux, n°122, p.55-57.
- (27)* 1973 - DEBUISSON J.
L'alimentation artificielle des nappes d'eaux souterraines à partir de
carrières désaffectées.
Annales des mines n°3, p.39-46.

Pour la mise en valeur et la gestion des ressources en eau, on dispose d'une technique qui, si elle est encore fort peu appliquée en France, est largement développée dans certains pays étrangers

(Allemagne, Suède, Hollande, Israël, Etats-Unis) ; l'alimentation artificielle des nappes d'eau souterraines permet, par le moyen de dispositifs appropriés, d'introduire dans certaines formations perméables du sous-sol une partie de l'eau disponible en permanence ou saisonnièrement dans les cours d'eau de surface, avant qu'elle ne se perde dans les mers et les océans... L'effet recherché peut être le stockage ou la restauration d'un aquifère déprimé... L'intérêt de cette technique ne réside pas seulement dans le fait qu'elle permet d'accroître la ressource: l'eau introduite dans le sous-sol, dont on connaît la capacité épuratrice, voit sa qualité nettement améliorée.. L'infiltration provoquée peut se faire par forages ou par bassins. Si les conditions s'y prêtent, et il est aisé d'en juger, les carrières affectées peuvent constituer des bassins d'infiltration moyennant quelques aménagements réalisables à moindres frais

- (28) 1973 - DELLERY B., GLINTZBOECKEL C.
Etude géologique et hydrogéologique de la mine de St Pierre les Martigues.
Rap B.R.G.M. 73 SGN 400 PRC, 28 p., 19 fig.

- (29)* 1973 - LALLEMAND-BARRES A.
Contribution à l'étude de la propagation des polluants dans la zone non saturée
Rap. BRGM 73.SGN.396 AME

Après une analyse bibliographique des études réalisées dans ce domaine on rend compte, dans une seconde partie, de quelques expériences concernant la propagation de détergents ABS et LAS, de sels (chlorures et nitrates) et d'un pesticide, le lindane, réalisées sur le terrain expérimental du BRGM à Orléans la Source. L'ABS n'est pas fixé par ce terrain et se propage en direction de la nappe. Le détergent LAS est dégradé dans le premier mètre du sol. Les anions Cl et NO₃ sont très peu ou pas fixés et se propagent avec l'eau en direction de la nappe. Le lindane passe très peu en solution, une part importante est perdue soit par volatilisation ou dégradation, plutôt que par fixation sur le terrain.

- (30)* 1974 - BABOT M.
Influence des exploitations de sables et graviers sur la qualité des eaux souterraines.
In Technique Sciences Municipales, l'eau 69ème année, n°6, p. 76-78, mars 1978.

Hydrochimie et hydrobiologie des gravières. Effets sur la pollution des nappes.

- (31)** 1974 - BABOT M.
Modification de la qualité des eaux d'une gravière avec le temps. Interactions de la gravière et de la nappe.
B.R.G.M. SGN AME, nov. 1974

- (32)* 1974 - BOSSET E.
Mesures de protection des eaux applicables à l'ouverture et à l'exploitation des carrières.
Bull. de l'A.R.P.E.A., n°65, p. 31-48.

- (33) 1974 - BOURGUEIL B., PEAUDECERF P., PIRAUD J.
Etude par modèle mathématique du niveau du plan d'eau projeté à St Cyr (Vienne).
Rap B.R.G.M. 74 SGN 440 AME, 6 p.
- (34)* 1974 - CHANG A.C., OLMSTEAD W.R.
The sealing mechanism of wastewater ponds.
J.W.P.C.F., vol. 46, n°7, p.1715-1721.
- (35)** 1974 - CHEMLA C.
Synthèse des études sur les interactions entre carrières et nappes souterraines.
Min. RECH. IND. f.
- (36) 1974 - FONTAINE J.P., OUVRARD R., RUBY P.
Schéma directeur des possibilités d'extraction de matériaux dans le lit de la Durance.
Sté. hydrotechnique de France, XIII journées de l'Hydraulique, question VI, rap. n°6, 7p.
- (37) 1974 - HANZIK J.
Slevodan uniku škodlivin do povrchovyh a podzemnch vod. (observations sur l'infiltration des polluants dans les eaux superficielles et souterraines).
In Acta Montana, n°33, p. 5-29, en tchèque.
- Recherche des sources de pollution des eaux souterraines. Influence d'une carrière sur l'eau souterraine. Pollution bactérienne d'une eau de puit par les terres cultivées. Effet des solutions de lixiviation des métaux sur les eaux superficielles et souterraines, dans une zone minière.
- (38)* 1974 - LAVIRON F.
Le rabattement de nappe appliqué à l'assèchement et à l'extraction de matériaux routiers.
Bull. liaison L.P.C., n°112, ENV. VII-3, p.271-285.
- (39)* 1974 - PINCHAUT R.
Protection contre la pollution. Synthèse des études entreprises. Intérêt principal : cartes. Quelques recherches sur les phénomènes de propagation.

- (40)* 1974 - POINTET T.
Utilisation d'une ancienne gravière pour le dépôt de boues ferriques,
commune de Druillat (01).
Rap. B.R.G.M. Dijon JAL
- (41)* 1974 - WAGNER A.
Gravières et eau souterraine. Un problème crucial, une gestion commune
indispensable.
In Schweiz. Bauztg., vol 92, n°22, p. 527-534. en fran.
- Causes de pollution des nappes aquifères par l'exploitation des gravières. Les diverses méthodes non
polluantes de réaffectation des gravières ayant cessé d'être exploitées : remblayage, réaménagement en
bassin d'infiltration, transformation en lac de plaisance.
- (42)** 1975 - BABOT
Hydrobiologie des gravières - eutrophisation
Ext. rap. BRGM SGR/ALS
- (43) 1975 - BURGEAP
Etude du colmatage du lit d'une rivière en relation avec une nappe sou-
terraine
Rap. BURGEAP 30p. + abaques
- (44) 1975 - CHAMAYOU J., VANDENBEUSCH M.
Etude hydrogéologique et évaluation des débits d'assèchement de la car-
rière des Ciments Français à Espiet (Gironde).
Rap. B.R.G.M. 75 SGN 198 AQI, 23 p., 14 fig.
- (45)* 1975 - DE LA QUERIERE P.
Réchauffement des cours d'eau par les ballastières.
Note B.R.G.M. SGR PNO
- (46) 1975 - DE LA QUERIERE P., VANDENBEUSCH M.
Evaluation des débits d'hexaure pour la mise au sec de la fouille. In-
fluence du rabattement du plan d'eau dans la fouille sur la nappe (Ranville-Calvados).

Société des Ciments Français f, rap. B.R.G.M. 75 SGN 095 PNO, 25 p., 24 fig., 3 ann.

- (47) 1975 - KELLER G.
Grundwasserrentzihungsschaeden bei zunaechst fraglicher verursachung.
(préjudices causés à des captages d'eau souterraines par des causes a priori problématiques).
In Brunnenbau Bau Wasserwerk. Rohrleitungsbau. vol 26, n°12, p. 440-442, en allem.

Exposé de deux exemples de causes discutables de préjudices causés à des captages d'eau souterraine : existence de mines anciennes ou ouverture récente d'une carrière.

- (48)* 1975 - LARINIER M., VERGON JP., VERNEAUX J.
Aspects écologiques des travaux d'aménagement des cours d'eau - orientations et principes généraux
in 'La Houille blanche' n° 2/3- 1975

- (49) 1975 - LELONG F.
Les problèmes de l'eau de la ville nouvelle de Vaudreuil.
Etablissement public du Vaudreuil f, Min. de la Qualité de la vie, et Un. d'Orléans, 77 p..

- (50)* 1975 - MOREAU M., LELONG J.M., VERMOREL P.
Etude comparative des caractéristiques physico-chimiques de l'eau de deux gravières distinctes de la plaine alluviale du Vaudreuil (Eure, France).
Lab. d'hydrobiologie, Un. d'Orléans, note personnel, 4p.

- (51)* 1975 - PEARSON R.G., JONES N.V.
The effects of dredging operations on the benthic community of a chalk stream.
in Biol. Conser., vol. 8 (4), p. 273-278.

- (52)** 1975 - PEAUDECERF P.
Effets des gravières sur le comportement hydrodynamique des nappes d'eau souterraines
La Houille Blanche n° 2/3 -1975 ,pp. 133-140

Effets utiles et nuisibles du creusement dans des formations alluviales, d'un nombre croissant de carrières pour l'exploitation de matériaux de construction ou de remblais. Influence hydrodynamique du

plan d'eau libre ainsi créée. Présentation de deux cas réels traités récemment. Recherche d'une méthodologie pratique pour l'exploitation simultanée d'eaux souterraines et de graviers.

(53)** 1975 - PEAUDECERF M.

Effets du creusement de carrières sur l'hydrodynamisme des nappes.
In Equip. Mécan., Carrière. et Mat., vol. 54, n° 142, p. 47-49.

(54)* 1975 - PINCHAUT R.

Protection des nappes alluviales : orientations et conclusions des études du site alluvial de l'Est Lyonnais.
In Bull. d'Infor. n°9 du Comité de l'Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse, p.34-50, novem..

(55)* 1975 - PORCHER J.P.

Déséquilibres écologiques liés à l'implantation de ballastières sur les cours d'eau de première catégorie piscicole
Comm. du XXème congrès de l'Association Française de Limnologie.

(56)* 1975 - PRUDHOMME P.

Aménagement du Var inférieur et protection et protection des nappes souterraines: un exemple d'extraction contrôlée de graviers
in La Houille blanche n°2/3-1975 pp.145-153

(57)** 1975 - ROBBE D.

Influence des matières en suspension sur la qualité des eaux de surface.
MIN. de l'Equipement E, L.P.C. rap. de recherche n°49, 123 p.

(58)** 1975 - VANDENBEUSCH M. et Col.

Nappe alluviale de la basse plaine de la Garonne dans la région toulousaine. Influence gravières-captages. 1ère partie: Etude expérimentale du colmatage des berges de gravières,
DDA 31, AFB Ad.-Gar., M.I.R.E Rap. BRGM 75.SGN.132 MPY en 3 parties, 22 p.

(59)** 1975 - VANDENBEUSCH M. et Col.

Nappe alluviale de la basse plaine de la Garonne dans la région toulousaine. Influence gravières-captages: 2ème partie: Etude par simulation d'une zone témoin-Recommandations pour l'implantation de

gravières.

DDA 31, AFB Ad.-Gar., M.I.R.f Rap. BRGM 75.SGN.132 MPY, en 3 parties, 50 p.

(60)* 1975 - VANDENBEUSCH M. et Col.

Nappe alluviale de la basse plaine de la Garonne dans la région toulousaine. Influence gravières-captages. 3ème partie: Recommandations pour la préservation de la productivité des principaux captages
DDA 31, AFB Ad.-Gar., M.I.R.f Rap. BRGM 75.SGN.132 MPY, en 3 parties, 15 p.

(61)* 1976 - ALLOMBERT J.

EXPLOITATION ET REMISE EN ETAT DES CARRIERES ALLUVIONNAIRES DES RIVIERES DU VAR (ARGENS ET SES AFFLUENTS)
MINISTERE DE LA QUALITE DE LA VIE rapport BRGM 76 SGN 279 PRC, 42 pages, 11 fig., 3 annexes

(62)* 1976 - ARCHAMBAULT J.

Conséquences des prélèvements d'alluvions dans la vallée de la Loire moyenne.
Bull. de l'Institut d'Ecologie appliquée d'Orleans, n°3/4, p.94-111.

(63)** 1976 - ARCHAMBAULT J., LAMBLIN J.M.

Gravières et alimentation en eau potable
in 'Granulats' n° 3, juillet 1976 pp. 5 à 11

La production de granulats alluvionnaires qui couvre 2/3 des approvisionnements français, entre en compétition avec les autres utilisateurs, particulièrement les producteurs d'eau potable dont 2/3 des ressources proviennent des alluvions. Après une estimation des nuisances reprochées aux gravières, on décrit les nappes alluviales, leur captage et les conséquences des extractions en lit vif ou en lit majeur. Les gravières présentent des inconvénients par abaissement du niveau des nappes, modification des écoulements superficiels et souterrains mais surtout par leur position topographique basse qui en fait des sources de pollution potentielle aiguës. Elles peuvent cependant dans certaines circonstances contribuer au renforcement qualitatif et quantitatif des ressources en eau souterraines: dénitrification, augmentation des réserves et de la productivité des captages, réalimentation artificielle. Leur utilisation rationnelle suppose la mise en oeuvre, sur la base de la connaissance cas par cas de l'environnement, d'aménagements planifiés.

(64)** 1976 - ARNOULD M., RIZZOLI JL.

Granulats alluvionnaires et eau des nappes alluviales.
Annales des Mines, décembre 1976, 10 p.

Les nappes alluviales sont des aquifères très recherchés pour l'alimentation en eau des agglomérations. On attribue traditionnellement une cote de faveur à l'eau souterraine par rapport à

l'eau de surface traitée. Ceci conduit à privilégier systématiquement, et a priori, l'eau par rapport aux sables et graviers qui, avec une consommation de 250 Mt/an en France, sont eux aussi d'un intérêt primordial pour la collectivité. Ces deux ressources naturelles ont donc des économies étroitement liées et à première vue en compétition. Les auteurs examinent l'influence de l'exploitation des sables et graviers sur l'utilisation des nappes, influence d'ordre hydrodynamique, physique, chimique ou biologique. Ils mettent en relief les points qui restent obscurs et qu'il conviendrait d'étudier afin de se prononcer sur la compatibilité des deux types d'exploitation et de donner ainsi des éléments rationnels de décision aux pouvoirs publics.

(65)** 1976 - BARROIN G.

L'eutrophisation des lacs - causes et conséquences
in 'Nuisances et environnement' - juin 1976 - pp. 45-47

(66) 1976 - B.R.G.M.

Etude préalable à une opération de réaménagement à Argentat (Corrèze)
C.G.T.P.G. OP. 2.19.1

(67) 1976 - B.R.G.M.

Aménagement du val d'Orléans : étude hydrogéologique.
C.G.T.P.G., OP. 3.45.3. f.

(68)* 1976 - B.R.G.M.

Etude de l'impact thermique de ballastières situées près de cours d'eau de première catégorie piscicole.
In bull. d'information du Conseil Supérieur de la Pêche, n°103, p.76-78.

(69)** 1976 - B.R.G.M., UNICEM (UNPG)

Les carrières: richesse ou plaie ?
C.G.T.P.G. OP 7 EG.22, OP 4 EG 22 f. Plaquette de grande diffusion, 48 p., 68.pl.

Indispensable à l'économie nationale, l'exploitation des matériaux de carrières se heurte à de grandes difficultés. Ce document vise à informer et à améliorer l'indispensable dialogue entre les intéressés. Il comprend trois brochures: 1-LES MATERIAUX DE CARRIERE, qui traite du régime juridique, de l'importance économique, de la structure, de cette branche d'activité, de la politique des pouvoirs publics et de la taxe parafiscale sur les granulats; 2-LA PRODUCTION DES GRANULATS, qui traite du cas particulier des sables, graviers et roches dures concassées représentant les 3/4 de la production totale des matériaux de carrière; 3-LE REAMENAGEMENT DES CARRIERES, qui présente un certain nombre de réalisations effectuées et expose différentes possibilités d'aménagement des carrières en fonction du milieu.

(70) 1976 - CAMPANAC R., DAMIANI L.

Cailloutis de la Crau. Matériaux de viabilité et de construction.
In Equipement Mécanique, Carrières Matériaux, vol 55, n°152, p. 30-32.

Etude ayant permis de connaître un peu mieux les propriétés des cailloutis dans certains secteurs de la Crau ainsi que les risques encourus par la nappe, et aboutissant à la définition de zones plus ou moins favorables. Géologie et hydrologie.

- (71) 1976 - **CAMPINCHI J., THIERY D.**
Etude hydrodynamique prévisionnelle de l'influence de l'exploitation de la future sablière Guignon sur les captages de la ville de Paris à la Grande Pardisse (Seine et Marne).
Rap. B.R.G.M. 76 SGN 187 BDP, 25 p. 56 fig.
- (72)* 1976 - **CARBONNEL P.**
Emploi des explosifs en carrières. Incidences sur l'environnement.
Rap. C.E.R.C.H.A.R.
- (73)* 1976 - **C.E.T.E de Clermond-Ferrand.**
Optimisation des méthodes de lavage et de décantation dans les exploitations de roches massives ou de matériaux alluvionnaires.
C.G.T.P.G., OP. 2 EG 9 f. 178 p., 85 pl., 1 pl.pt.
- Sur les 958 exploitations considérées, 587 utilisent un circuit de lavage, soit 61,3%. Ces exploitations, principalement d'alluvions, utilisent l'eau pour laver leurs produits. La grande majorité de ces exploitations a des rejets qui ne sont pas conformes à la législation. L'étude a été réalisée en 5 phases: 1-détermination quantitative et qualitative des rejets des différentes exploitations, 2-analyse des résultats vis à vis de la législation en vigueur et définition des incompatibilités, 3-étude des paramètres permettant de réduire ou de résorber la non conformité des rejets, 4-définition des caractéristiques des produits récupérés par les différents moyens et méthodes, 5-inventaire des possibilités de réutilisation des boues;
- (74)* 1976 - **CLAVEL P., HAMON Y., ROMANEIX C.**
Effets des extractions de matériaux alluvionnaires sur l'environnement aquatique, dans les cours supérieurs de la Loire et de l'Allier
Cons. sup. de la Pêche, Rég. piscic. 'Auv.-Lim.', C.G.T.P.F.G. -139 p., 87 fig., an. (cf pp. 15-17, 21-22, 33, 50,51,58,66,104,116). OP 02 EG 2.
- Les exploitations de granulats alluvionnaires sur la Loire et l'Allier en Auvergne ont vu leur production passer de 3,9 Mt en 1964 à 6 Mt en 1974. Ces exploitations parfois non respectueuses des textes législatifs en vigueur menacent l'équilibre biologique des rivières. Elles ont pour conséquences, en aval des dragages, une augmentation du matériau en suspension, de la turbidité et du colmatage des fonds. Si la diversité faunistique reste la même, on peut observer une diminution de la biomasse, du benthos et une mortalité élevée des oeufs et alevins dans ces zones, qui entraînent une baisse de densité des populations ichtyaires. Bien souvent ces perturbations pourraient être limitées par l'application des textes législatifs existants et par des procédés techniques simples qui devraient faire l'objet de contrôles réguliers.
- (75) 1976 - **COLLIN J.J.**
Les eaux souterraines de la plaine Saône-Doubs.
Thèse Un. CLAUDE BERNARD, Lyon.

(76) 1976 - LLOYD J.W.

Inter-related problems of gravel extraction and supply.

In Trans. Instit. Ming. Metallurgy, vol 85, p.A163-A166, en angl.

Impact de l'exploitation des gravières sur les nappes d'eau souterraines, car beaucoup de ces nappes souterraines, dépendent des dépôts de graviers depuis des temps immémoriaux dans différentes vallées telles que celles de la Tamise et de la Trent.

(77) 1976 - MARTY A., CLAVEL P.

Qualité de l'eau en Haute Loire. Effets des extractions de granulats sur la qualité et la productivité du milieu.

Ann. d'hydrobiologie, 7(1), p.45.

(78)* 1976 - U.N.P.G.

Eaux et carrières.

In Le Granulat, n°3, juillet 1976.

(79)** 1976 - VANDENBEUSCH M.

Interférences hydrodynamiques entre les exploitations de granulats et d'eaux souterraines en milieu alluvial - Cas de la plaine de la Garonne dans la région de Toulouse

Ann. Mines - Déc. 1976, pp. 117-130

Des essais de pompage en aval de 4 gravières en eau ou remblayées âgées de 1,5 à 7 ans, ont été réalisés afin de quantifier le colmatage des berges. On n'a pas mis en évidence d'effet d'un vieillissement progressif. On peut supposer avec vraisemblance que ce colmatage apparaît durant l'exploitation et la période immédiatement suivante. Un modèle mathématique étudie (en fonction des paramètres hydrogéologiques du terrain étudié) l'influence de la géométrie et de la localisation d'excavations en eau sur la productivité de captages. Ainsi sont définis des périmètres de protection. L'auteur souligne que ces résultats ne peuvent être applicables que dans des cas hydrogéologiquement semblables.

(80)* 1977 -

Tête de chap. Méthodes de traitement et de protection des eaux
? P 70 à 76

Note sur les différents procédés utilisés leurs avantages et inconvénients, pour réduire les pollutions mécaniques minérales (M.E.S., principalement par décantation), lutter contre le colmatage (par siphonage, scarification et adaptation d'une géométrie type de la carrière) et contre les pollutions thermiques (par communications siphonnées pour les carrières en eau et par colmatage pour les gravières proches des rivières). 'En règle générale, étant donné l'importance des perturbations et des pollutions mécaniques engendrées et la difficulté technique à limiter ces nuisances, l'exploitation en lit mineur devrait être supprimée.'

(81)* 1977 -

Pollution des eaux
Tête de chap. p 27 à 30.

Dans un cours d'eau les pollutions engendrées par les gravières sont de trois types : CHIMIQUES - insuffisance des équipements et nature des produits extraits- PHYSIQUES (l'auteur distingue deux cas:) - liées aux M.E.S. qui augmentent la turbidité et modifient les échanges gazeux et le bilan énergétique- aux réchauffements des eaux stagnantes- MORPHODYNAMIQUES- pour les gravières en lit mineur.

- (82) 1977 - ABIGNOLY N., ALLOMBERT J., CAMPAGNAC R., DELCEY R., MASSON M.
Définition de nouvelles zones d'exploitation de granulats (rocheux ou alluvionnaires) dans la région Bastiaise (Haute Corse).
Rap. B.R.G.M. SGN 30 PRC 1977
- (83)* 1977 - ALLION Y.
Génie du réaménagement des carrières à sec.
In La formation continue en réaménagement des exploitation de granulat. U. d'Orléans, Sciences de la Terre laab. d'Ecologie Appliquée, p. 1-51
- (84)** 1977 - Anonyme
Interactions entre les exploitations de matériaux (carrières, gravières), et les ressources en eau des terrains de couverture
Formation continue en réaménagement des expl. de granulats - F.F. 5 - 'Réalisation et interprétaion des cartes hydro.' Chap. F, pp.36-52
- (85)* 1977 - Anonyme
Granulats alluvionnaires et eau des nappes alluviales
Et. techn. Min. Env. ? pp. 45-49
- (86) 1977 - ARMBRUSTER J., KOHM J.
Kiesabbau und wassernutzung in Baden-Wuerttemberg : auswirkungen des kiesabbaues auf den wasserhaushal. (Exploitation des graviers et utilisation de l'eau dans le Bade-Wurtemberg, effets de l'exploitation des graviers sur le bilan hydrogéologique).
Minist. Ernaehrung, Landwir DTSCHE. f, In Dtsch. geol Gesellsch (tag. Gpenzen Grundwassernutz, Kassel 1977), vol. 128, num. 2, p. 361-368, +annexes.
- (87) 1977 - AURIOL J., CHAMAYOU J.
Evaluation de l'influence de l'exploitation de la carrière d'Espiet (Gironde) sur la nappe des calcaires.
Société des Ciment Français f, rap. B.R.G.M. 77 SGN 601 AQI, 20 p., 20

fig.

- (88) 1977 - BOU C.
Conséquences écologiques de l'extraction des alluvions récentes dans le cours moyen du Tarn.
Bull. Ecologique, T. 8, n°4, p.435-444.
- (89)* 1977 - BOUCHAUD B., CLAVEL P.
Incidences des extractions de matériaux alluvionnaires sur les macrophytes aquatiques, les périphyton et la production primaire dans le lit de la Dore (affluent RD de l'Allier) - C.R. des travaux au 5 octobre 1977
Etude TPFG 12 EG 2, 25 fiches
- (90) 1977 - B.R.G.M.
Opération gravières propres.
C.G.T.P.G., OP. 13.33.9. f.
- (91)* 1977 - B.U.R.G.E.A.P.
Carrières du Boulonnais. Etude de la réinjection des eaux d'exhaure.
C.G.T.P.G., OP. 11.62.10. f.
- (92) 1977 - Cabinet d'Architectes SARTRE
Etude des possibilités d'extraction de matériaux de la rivière Durance et de l'aménagement de son cours et de ses bords.
C.G.T.P.G., OP. 7.13.5. f.
- (93)* 1977 - CAMPINCHI J., DAUM J.R.
Incidence de l'ouverture des sablières sur les captages d'eau projetés à Villeblevin (Yonne).
Rap. B.R.G.M. 77 SGN 283 BDP, 32 p., 52 fig.
- (94)* 1977 - CARBIENER R.
Etude d'une séquence phytosociologique de végétaux supérieurs bioindicateurs d'eutrophisation progressive dans les cours d'eaux phréatiques du 'Ried' d'Alsace.
Comm. Colloque national Limnologie, mai 1977, (inédit).

- (95) 1977 - C.E.T.E. EST
Livret-guide pour le réaménagement des gravières
S.R.A.E.Lorraine f, 67p.
- (96)* 1977 - CLAVEL P., GUINAT R., HAMON Y., ROMANEIX C.
Effets des extractions de matériaux alluvionnaire sur l'environnement
aquatique, dans les cours supérieurs de la Loire et de l'Allier - Résumé
des résultats de 1974 à 1976
*Cons. sup. de la Pêche, Rég. piscic. 'Auv.-Lim.' -18 p., 9 fig. et Bull.
franc. de piscic. n° 268, 1er tr. 1978, pp. 122-154*
- (97) 1977 - C.T.G.R.E.F.
Qualité des eaux de quatre anciennes sablières en région parisienne
*Etude par le groupement d'Anthony, division qualité des eaux
pisciculaire, n°14, p.35.*
- (98)* 1977 - DEMANDER M. HARMEY J.
Dégradation, nuisances et pollutions occasionnées par l'exploitation des
carrières.
Rap. B.R.G.M. 77 SGN 397 BDP, 61 p., 40 fig.
- (99)* 1977 - GARNIER J.L., HENRY J.L.
PRESERVATION DES RESSOURCES EN EAU DE LA BASSE VALLEE DU VAR - INFLUENCE
CONSTRUCTION DE SEUILS SUR RELATIONS NAPPE-RIVIERE - ETUDE DU COLMATAGE
ACTUEL DANS LES SOUILLES
*DDE ALPES MARITIMES rapport BRGM-GEOHYDRAULIQUE 77 SGN 587 PRC, 48
pages, 9 fig., 6 annexes*
- (100)* 1977 - KOCH M., MICHEL G.
Grenzen der grundwasser nutzng durch kalksteinabbau im raum Warstein.
(limites à l'exploitation de calcaire en carrière dans la région de
Warstein)
In Z. Dtsch. Geol. Gesllsch., vol 128, n° 2, p. 441-450.
- (101)* 1977 - LUEBBE E.

Baggerseen, bestandsauf nahne, hydrologie und planerische konsequenzen.
°lac de dragage, etablissement de l'inventaire, hydrologie et conséquences pour la planification.§
Schr. Reihe Kurator Kulturbauwes, n°29, 220 p.

- (102)** 1977 - PANEL R.
Carrières et pollutions des eaux de surface
C.F.D.E.I. - Stage n° 122, doc st. 77 'Nuisances et carrières', 25 p.
- (103)* 1977 - PEAUDECERF P.
Gravières et préservation des ressources en eau souterraines.
Bull. de l'Institut d'Ecologie appliquée d'Orléans, p. 223-229.
- (104) 1977 - PUTALLAZ J.
Aménagement en plan d'eau pour la baignade des gravières du bois de Chevigny.
Rap. B.R.G.M. JAL
- (105)* 1977 - ROUSSELOT D.
De l'utilité d'une bonne connaissance du comportement des aquifères pour les travaux de génie civil. Quelques exemples concrets pris à Lyon.
In Ann I.T.B.T.P. n°35, novembre.
- (106) 1977 - ROZES B., THIERY D.
Emprunt de Conflans du Breil (Aude) - Etude des conséquences hydrodynamiques de l'exploitation d'une gravière sur le captage en eau potable de la ville de Carcassonne
SCETAUROUTEF Rap. BRGM 77.SGN.212 LRO, 41 p., 9 fig., 3 tab., 10 an.
- Les simulations montre que dans le cas d'une gravière en eau avec berges non colmatées ou avec berges aval colmatées mais ouverte sur l'Aude il n'y apas d'influence notable sur la productivité du captage . Une simulation avec gravière en eau et berges aval colmatées montre une diminution de la productivité de l'un des puits.
- (107) 1977 - SASSOT M.
L'alimentation et l'évacuation des eaux dans les carrières.
In Equipement Mécanique, n°159, p.63-65.

- (108) 1977 - SAUVONS L'AVENIR
 Etude préalable au réaménagement des carrières à Strasbourg et Wantzenau.
C.G.T.P.G. OP. 13.67.9. f.
- (109) 1977 - SER. de L'IND. et des MINES du CENTRE., D.D.E. (LOIRET), D.D.A. (LOIR et CHER), O.R.E.A.C.
 Sables et graviers en Val d'Orléans. Contrainte à leur exploitation.
 12 p., + cartes.
- (110) 1977 - SERETES
 Etude du réaménagement de la vallée de l'Eure en Eure et Loire.
Min. IND. RECHER., C.G.T.P.G. f, rap. de présentation, 31 p.
- (111)* 1977 - VANDENBEUSH M.
 Influence de l'exploitation des carrières sur le régime des nappes d'eau souterraine.
Rap. stage 'nuisances et carrières' au centre de form. et de docum. sur l'environnement industriel, juin 1977.
- (112) 1978 - ALLOMBERT J., FAUX J.C.
 ETUDE DE REAMENAGEMENT DES ANCIENNES CARRIERES DU PLATEAU DU COUDOULET A ORANGE (84)
COMITE DE GESTION DE LA TAXE PARAFISCALE SUR LES GRANULATS *rapport BRGM 78 SGN 696 PAC/BDPA 79010, 69 pages, 21 fig., 7 annexes*
- (113)* 1978 - ALLOMBERT J., YVROUX M.
 ETUDE DU REMPLISSAGE ALLUVIONNAIRE DE LA MOYENNE DURANCE - DONNEES SUR LE GISEMENT DE GRANULAT - LES EXTRACTIONS EN 1978 ET SUR L'HYDROGEOLOGIE DE LA VALLEE
MINISTERE DE L'EQUIPEMENT - COMITE DE LA TAXE PARAFISCALE SUR LES GRANULATS *78 SGN 218 PRC*
- (114)* 1978 - Anonyme
 L'opinion des élus sur les carrières et l'environnement.
In Equipement Mécanique Carrières et Matériaux, n°167 p.68-69 juin-juillet 1978

- (115) 1978 - Anonyme
 La protection de l'environnement en Ile de France : la mise en place des zones naturelles d'équilibre peut être l'occasion d'élaborer un schéma général des carrières.
In Equipement Mécanique Carrières et Matériaux, n°171 p.55-61 novem. 1978
- (116)* 1978 - Anonyme
 Le réaménagement des carrières de Falun dans le Blesois (Loir et Cher) : les principes méthodologiques.
In Equipement Mécanique Carrières et Matériaux, n°170 p. 55-61 novem. 1978
- (117) 1978 - BARTHELEMY Y.
 Ouverture d'une gravière au lieu-dit Machet-Sud à Vaux en Velin. Etude hydrogéologique.
Rapp. B.R.G.M. 78 SGN 517 JAL, 1p.
- (118)* 1978 - BERTRAND J.Y. & all
 Etude d'un écosystème lacustre : le lac de Créteil.
C.R. 23ème congrès national Ass. Fr. Limnologie 142.
- (119)* 1978 - BOUCHAUD B., CLAVEL P.
 Les exploitations de granulats d'alluvions et les aménagements de cours d'eau dans l'écosystème aquatique. Leurs incidences sur le périphyton et la production primaire dans le cours inférieur de la Dore
MIN. ENV., C.G.T.P.G. f. U. de Clermont II, Lab.de zool. et de protistologie, ?p.
- (120) 1978 - B.R.G.M. & C.E.T.E.
 Inventaire des anciennes carrières dans le département de la Mayenne.
C.G.T.P.G. OP. 18.53.1. f.
- (121)* 1978 - CANETTI C.
 La prise en compte des carrières dans les plans d'occupation des sols : les solutions adoptées dans les vallées de l'Eure et de la Loire.
In Equipement Mécanique Carrières et Matériaux, n°170, p.43-48.

- (122) 1978 - CASTAING C., ETIENNE H.
Inondation de la carrière de dolomies à Neau (Mayenne). Compte rendu de l'intervention du B.R.G.M.
Rap. B.R.G.M. 78 SGN 181 BPL, 36 p., 3 fig.
- (123)** 1978 - CAUMARTIN V., GAMBADE G.
Les gravières des Tilles: études physico-chimiques et microbiologiques de l'eau
Un. de Dijon, in Bull. sc. Bourg., t. 31, fasc. 2, 1978, pp. 81-96
- L'étude de l'eau de certaines gravières situées près de Dijon tend à montrer que ces bassins sont peu chargés en matière organique et que les bactéries rencontrées sont essentiellement d'origine tellurique. Par contre l'attention est attirée sur la présence d'éléments minéraux apportés par l'épandage d'engrais chimiques sur les champs alentours.
- (124)** 1978 - CGTPFG
Carrières et environnement en milieu alluvial
2 vol. , 55 et 39 p. , Imp. MODERNE NANTAISE 1976
- (125) 1978 - COULAUD D.
Gravière et eaux dans les espaces péri-urbains.
In Equipements Mécaniques, Carrières et Matériaux, n°163, p.43 44, étude technique.
- (126)* 1978 - C.T.G.R.E.F.
Effets biologiques et écologiques des extractions de matériaux dans le lit des cours d'eau (pollution mécanique). Rap. n°2 : modification du peuplement ichtyologique du cours inférieur du Doubs.
Rap. C.T.G.R.E.F., D.Q.E.P.P. groupement Anthony, 13 p.
- (127) 1978 - DE LA QUERIERE P.
Les effets thermique des exploitations en eau de sables et graviers sur les rivières de Haute Normandie. Acquisition de données.
Rap. B.R.G.M. 78.SGN.092 PNO.
- (128) 1978 - F.R.A.P.N.A. (fédération Rhône-Alpes de protection de la nature)
Les carrières humides. Agressions potentielles, aménagements possibles

après exploitation.

In La Loire et l'aménagement du bassin Ligérien, coll. 1978 St. Etienne, Un. de St. Etienne, p. 211-225.

(129) 1978 - GAUTIER P.

Les carrières. Des blessures aux cicatrices.
In Département et Communes, p. 17-24

(130)* 1978 - GEOCONSULT

Carrières et environnement en milieu alluvial
Op. TPGF 12 EG 13, 100 p., 135 pl.

La première plaquette est une étude des effets préjudiciables à l'environnement des carrières en milieu alluvial. Elle expose les effets sur l'eau, l'atmosphère, le sol, le paysage, la faune et la flore ainsi que les mesures à prendre pour y remédier. Le deuxième chapitre est consacré au parti d'aménagement des carrières. La deuxième plaquette est un guide pour l'élaboration du dossier d'impact (analyse de l'état initial des lieux; analyse des effets sur l'environnement; justification du parti retenu; mesures visant à prévenir, supprimer ou compenser les conséquences du projet sur l'environnement; leur coût; remise en état des sols). Ce guide est illustré par 3 exemples de dossier d'impact.

(131) 1978 - GUYOTAT R.

La remise en état des carrières et gravières.
In le journal Le Monde du 9 août 1978.

(132)* 1978 - KAHAMMARI B.

Simulation numérique des échanges rivière-nappe alluviale en présence d'une ballastière. Essai méthodologique.
Thèse de docteur-ingénieur en génie géologique et minier présentée à l'institut national polytechnique de Lorraine. 138 p.

(133) 1978 - LAB. CENTRAL D'HYDRAULIQUE DE FRANCE

Nuisances liées aux dragages fluviaux
Rap. du service central technique de la division des ports maritimes et des voies navigables (MIN. des TRANSPORTS), 46p.

(134) 1978 - MALY V.

Problemu rekultivace ploch po tezte sterkopisku. (problèmes de la recultivation des sols après exploitation de sables et graviers)
Vyzk. Ustav. Melior., Zbraslav, CESK. f, in Vod. Hosp., a, Ceslosl., vol. 28, num. 3, p.77-82

- (135)* 1978 - MARGAT J. MONITION L.
Aspects hydrologiques des études d'impact.
Métropolis n°28.
- (136)* 1978 - MARGAT J., MONITION L.
Aspects hydrogéologiques des études d'évaluation d'impact sur l'environnement d'aménagements projetés.
Symposium I.H.E.S., Montpellier (France), 11-16 sept.. Mém. hors série CERGH-USTL Montpellier, p. 447-459.
- (137)* 1978 - MARTIN F.
Le cycle du soufre en milieu aquatique. Essai de culture de bactéries sulfoxydantes (thiorhodacées) du lac de Créteil.
Mém. D.E.A. Ecologie, Un. Paris VI.
- (138)* 1978 - SALADO J., BEZINE J.C., HERGAT R.
Livret guide pour le réaménagement des gravières.
Min. AGRIC., S.R.A.E., S.R.A.E. de Lorraine (Nancy), D.D.E., C.E.T.E, ... , 78 p..
- (139) 1979 - AMAT-CHANTOUX R., PACHOUD A.
Etude géologique, hydrogéologique et hydrologique de la carrière près de la ferme des Planches sur la commune d'Optevoz (38).
Rap. B.R.G.M. 79 SGN 378 RHA, 63p., 9 fig.
- (140) 1979 - ANDRE P.
Projet de création d'un plan d'eau à Neuilly sur Marne (Seine St Denis).
Etude de faisabilité technico-économique.
Rap. B.R.G.M. 79 SGN 572 IDF, 132 p., 9 ann.
- (141) 1979 - Anonyme
La réhabilitation des carrières.
In Equipement Mécanique Carrières et Matériaux, n° 177 p. 63-69 août sept. 1979.

- (142) 1979 - Anonyme
 La réhabilitation des carrières.
In Equipement Mécanique Carrières et Matériaux, n°179 p. 57-64 novemb. 1979.
- (143) 1979 - AURIOL J.
 Etude de l'influence d'une zone d'emprunt sur la nappe phréatique (région de Denguin - 64). Effet d'un aménagement intermédiaire du lit du Gave du Pau.
Rap. B.R.G.M. 79 SGN 627 AQI, 28 p. 7 fig.
- (144) 1979 - BABOT Y.
 Ligne nouvelle T.G.V. Paris-Sud Est. Etude hydrogéologique de la zone d'emprunt Cormoranche-sur-Saône, Grieges (Ain).
S.N.C.F. f, rap. B.R.G.M. 79 SGN 730 RHA
- (145)* 1979 - BAILLE A.
 Modifications microclimatiques dues à un plan d'eau.
Société française des thermiciens, I.N.R.A. station de bioclimatologie d'Avignon Reims, 21-22-23 mai.
- (146)* 1979 - BECKER F., HECHINGER E., HOURANI A.
 Mesure et cartographie de la température de surface des eaux par télédétection aérienne et application au Rhin et au système Rhin-nappe.
D.G.R.S.T. f, 2 fasc.
- (147) 1979 - BILLET , CAUDRON
 C.R. de la réunion formation continue 'Etudes d'impact et carrières'
Note BRGM SGN 6p., 2 an.
- Précise les modalités de réalisation et les principaux objectifs d'une étude d'impact (décret 79 1108 du 20/12 1979). Suit en annexes l'exposé de M. LIVET (CETE de Lyon) présentant après description l'état initial les conséquences à court ou long terme sur l'hydrogéologie que peuvent avoir les exploitation en domaine alluvial, en lit mineur ,ou les carrières en roches massives.
- (148)* 1979 - BOUCHARD B.
 Incidences des extractions de matériaux alluvionnaires et de l'aménagement des cours d'eau sur l'écosystème aquatique.

- (149)* 1979 - BOUCHAUD B., CLAVEL P., HAMON Y., ROMANEIX C.
Incidence des extractions de matériaux alluvionnaires et de l'aménagement des cours d'eau sur l'écosystème aquatique -Synthèse des résultats obtenus de 1974 à 1978 sur la Loire(43) l'Allier et la Dore(63)
Bull. fran. piscicul., n° 73, 2ème tr.81 ,pp. 138-156
- (150) 1979 - BRGM
Méthodologie du réaménagement des carrières.
sans
- (151)* 1979 - B.R.G.M.
Etude des problèmes d'environnement et Comparaison des législations dans le domaine des carrières dans les pays de la CEE
CEE, C.G.T.P.G. OP. 22 EG 55 £. Rap. EUR 6767 FR, BRGM 79.SGN.645 GEG , 439 p., 23 fig., 1.pp.
- Ce dossier expose en 3 parties les nuisances induites par les carrières(bruit, vibrations, émission de poussières, pollution des eaux, dégradation de sites, impact écologique et socio-physiologique. Les moyens techniques à mettre en oeuvre pour limiter l'impact de ces nuisances (la dégradation du paysage devant être temporaire). Une comparaison des législations des différents pays européens et USA (principes généraux, procédures d'autorisation, prise en considération de l'environnement, réaménagement des carrières). Dans tous les pays de la CEE la pollution des eaux est envisagée sérieusement, les autres nuisances sont à peine légiférées, la remise en état des sites est maintenant obligatoire partout et la tendance générale est encourageante.
- (152) 1979 - B.R.G.M.
Inventaire des anciennes carrières de granulats dans le dépt. de l'Isère.
C.G.T.P.G., OP. 19.38.3. £.
- (153) 1979 - B.R.G.M.
Inventaire des anciennes carrières dans le dépt. du Calvados
C.G.T.P.G., OP. 25.14.5.
- (154) 1979 - B.R.G.M. & C.E.T.E.
Etude du réaménagement des anciennes gravières du District des communes du Sor et de l'Agoût (DISCOSA).
C.G.T.P.G. OP. 12.81.3 £.

- (155) 1979 - B.R.G.M. & SAUVONS L'AVENIR
Réaménagement en baignade d'une ancienne carrière à Villeneuve-Tolosane.
C.G.T.P.G. OP. 19.31.6. £.
- (156) 1979 - BRUNEL L., TALBO H.
Etude hydrogéologique du site des captages de Lillion, Rennes (Ille et Vilaine).
Rap. B.R.G.M. 79 SGN 102 BRE, 76 p. 38 fig.
- (157) 1979 - CAUDRON M., COMON D.
Réaménagement agricole d'une carrière à Cuiry-les-Chaudardes (Aisne).
Etude hydrogéologique.
C.G.T.P.G., OP. 22.02.12. £. D.D.A. de l'Aisne, B.R.G.M., rap. 79.SGN.548 PIC, 8 p., 3 fig.
- (158) 1979 - D.D.E.
Réaménagement en espace vert d'une ancienne carrière à Lapugnoy.
C.G.T.P.G. OP. 17.62.11. £.
- (159)* 1979 - DELPORTE B. TALBOT A.
Etude des problèmes hydrogéologiques posés par la poursuite de l'exploitation des carrières de granulats dans l'Avesnois. Synclinal de Bachant Ferrière-la-Petite (Nord).
Cham. de Comm. et Ind. d'Avesnes £. Rap B.R.G.M. 79 SGN 504 NPC, 41 p., 6 pl.
- (160)* 1979 - DEMASSIEUX L., MARCHAND A., TISOT J.P., TREILLE E.P.
Aménagement d'anciennes gravières en vue de la création d'une réserve de sécurité au profit de l'A.E.P. du district de l'agglomération de Nancy ?

Après une étude de terrain et de laboratoire (modèle de simulation et de gestion) sont présentées les nécessités aux quelles doit répondre le présent projet, sa viabilité en dépendant. On note principalement : l'étanchéification des digues limitant les gravières de la Moselle, le système de drainage par puits ou tranchées permettant de rabattre en période de hautes eaux les nappes proximales.
- (161)* 1979 - DEUSS G., DE LA QUERIERE Ph., MATHON C.
Inventaire des sources de pollution de la Bresle apportées par les bal-

lastières - Définition ds travaux à effectuer (dep. 76 & 80)
AFB Seine-Nor., C.G.T.P.F.G., Min. Ind., Min. Agr., Rap. B.R.G.M.
79.SGN.084 HNO, 10p., 11 fig., 1 pl., 4 an.

Sont abordés les problèmes de communication plans d'eau/rivière et de configuration des digues. Les digues, souvent submergées, devront être rechargées et colmatées avec des matériaux limoneux de façon à ménager un revanche de l'environnement. Les communications avec la rivière devront être supprimées quand elles ne se justifient plus ou se faire par l'intermédiaire d'un siphon amenant les eaux froides du fond des plans d'eau. Par ailleurs la mise en place d'un massif filtrant permettra des'opposer au passage des matières en suspension et des espèces piscicoles gênant le développement des salmonidés. Les analyses chimiques réalisées à l'exutoire des plans d'eau ont montré que les flux de pollution étaient faibles, surtout caractérisés par des éléments demandeurs d'oxygène. La dépense correspondante avoisine 3 0/00 du prix des travaux. Elle pourrait être réduite par une bonne connaissance du gisement et une conduite de l'exploitation et du réaménagement adaptés à sa typologie.

(162) 1979 - ETIENNE H., VADON J.

Etude d'impact sur l'environnement pour une exploitation de sable et gravier à la Charpenterie, dans la commune de Montreuil/Loir (Mane et Loire)

S.C. de Mont./Loir ϵ Rap. BRGM 36 p., 3 an., 3 pl.

(163) 1979 - FERRAND L.

Gravières et sablières de la plaine rhénane. Environnement, réaménagement après exploitation.

Service de l'Industrie et des Mines ϵ , in bull. B.R.G.M., sec. III, n°1 1979, p.27-32

(164)* 1979 - GARNIER J.L.

Etude par modèle mathématique du comportement de la nappe de la Basse-Durance. Aménagement de seuils et extractions de granulats entre le seuil de Rognonas et le pont de Bompas.

Rap. B.R.G.M. 79 SGN 818 PAC.

(165)* 1979 - GARNIER J.

Contribution à l'étude de la population phytoplanctonique du lac de Créteil : chlorophylle et production primaire.

Mém. de D.E.A., Ecologie Paris VI.

(166)* 1979 - GARNIER J.L.

ETUDE PAR MODELE MATHEMATIQUE DU COMPORTEMENT DE LA NAPPE DE LA BASSE DURANCE (13-84), AMENAG. DE SEUILS ET EXTRAC. DE GRANULATS ENTRE SEUIL DE ROGNONAS ET PONT DE BOMPAS

COM. GEST. TAXE PARAFIS. GRANULATS/DDE 84 ϵ rapport BRGM 79 SGN 818 PAC, 42 pages, 6 fig., 8 annexes

- (167)* 1979 - GARNIER J.L., GOUNON A.
 NAPPE ALLUVIALE DU VAR RESSOURCES EN EAU DE LA NAPPE MODELE DE COHERENCE
 - NOTE CONCERNANT LES RESULTATS OBTENUS EN AVRIL ET JUIN 1979
DDA DES ALPES MARITIMES £ note BRGM 79 43N DU 19 JUIN 1979 - 6 p., 1
 fig., 12 annexes
- (168)* 1979 - GARNIER J.L., GOUNON A.
 NAPPE ALLUVIALE DU VAR - RESSOURCE EN EAU DE LA NAPPE - MODELE DE COHE-
 RENCE - NOTE CONCERNANT LES PREMIERS RESULTATS OBTENUS
DDA 06 £ NOTE BRGM 79 27
- (169)* 1979 - GARNIER J.L. HENRY J.L.
 PRESERVATION DES RESSOURCES EN EAU DU VAR - ETUDE DES RELATIONS NAPPE-
 VAR AU DROIT DE LA SOUILLE 4-5 ETUDE DU COLMATAGE PAR L'OBSERVATION D'U-
 NE CRUE - SEPTEMBRE 1979
DDE DES ALPES MARITIMES £ RAPPORT BRGM GEOHYDRAULIQUE 79 SGN 540 PAC, 32
 p., 8 figures, 7 annexes
- (170)* 1979 - GUIRAL D.
 Etude de la sulfatoréduction dans les sédiments du lac de Créteil.
Thèse de 3ème cycle, Un. de Paris VI.
- (171) 1979 - LAUVIE J.
 L'exploitation des graviers de la Dordogne.
In Aménagement et Nature, Revue de l'Environnement, n°54, p. 21-22.
- (172)* 1979 - LE DUFF L.
 Utilisation des gravières situées dans la vallée de la Vilaine pour le
 traitement tertiaire par lagunage des effluents de la station d'épura-
 tion de Rennes.
Mém. Ecole Nationale de la Santé Publique de Rennes, 145 p.
- (173)* 1979 - LOGEL D.
 Mécanisme de pollution d'une nappe phréatique à partir d'un plan d'eau.
Etude sur modèle de labo. pb. spéc. Alsace. Thèse D.D.I., U.L.P.

Strasbourg.

(174) 1979 - MIN. ENVT., ESPACE LIBRE.

Inventaire des anciennes carrières du dépt. de la Savoie.
C.G.T.P.G., OP.23.73.4. £.

(175)* 1979 - MONITION L.

Carrières et environnement (Législation et réaménagements en Suisse)
CEE, CGTPGF, M.E.C.D.V.£ Rap. BRGM 79.SGN.486 GEG, 18 p., 7 an.

Analyse des dispositifs réglementaires et techniques appliqués en Suisse pour le réaménagement des carrières, ce rapport examine et commente les principales lois relatives à la protection des eaux, de la pêche, des paysages et à l'aménagement du territoire concernant les problèmes de cette industrie extractive, notamment nuisances et moyens de correction. Certaines techniques de réhabilitation de carrières après exploitation sont mentionnées en raison de leur succès.

(176)* 1979 - PILET P.

Etude d'ébranlements provoqués par des tirs de mines en carrière, Asselle-Boisne (Sarthe).
Société des fours à chaux de la Chatterie £, rap. B.R.G.M. 79 SGN 223 GPH, 8 p., 9 fig., 1 ann.

(177)* 1979 - UN. LOUIS PASTEUR de STRASBOURG

Ressources naturelles et aménagement de la région Alsace (1979) : Atlas contraintes eaux et nuisances.
Min. de la qualité de la Vie, Etablissement Public Régional 'Alsace' £.

(178)* 1979 - UNPG

Les carrières potentiel de création et de reconquête des milieux naturels.
Journée d'étude du 18 sept. 1979, 19 p. et Rev. Le Granulat n°14, 12 p.

(179)* 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

(180)* 1979 - WALGENWITZ F.

Incidence des ballastières de l'Ochsenfeld sur l'écoulement de la nappe de la Thur en aval des terrils des usines de Thann (Haut-Rhin).
Rap. B.R.G.M. 79 SGN 297 ALS, 14 p.

- (181) 1980 - Anonyme
Analyse du processus de colmatage d'une formation alluviale. Méthodologie et application au cas d'un fleuve côtier : le Var.
D.D.E Alpes Maritimes f, proposition d'étude, lab. central d'hydraulique de France et B.R.G.M. PACA. 12 p. +annexe : art. de MIGNIOT C. in La Houille Blanche n°7 1968.
- (182)* 1980 - ANTONIOLETTI R., BAILLE A., VERBRUGGHE M.
Etude in-situ de l'influence micro-climatique d'un étang sur son environnement immédiat.
Tvx en cours I.N.R.A. Station de bioclimatologie d'Avignon, 1ère partie.
- (183)** 1980 - AUSSEUR J.Y., DE LA QUERIERE P. SAUTY J.P.
Effets thermiques des exploitation en eau de sables et graviers en vallées alluviales sur les rivières de Haute Normandie. Simulation des phénomènes et exemples d'application.
Op. CGTPFG EG 114 - Rap. B.R.G.M. 80 SGN 868 HNO, 51 p., 17 fig.
- (184)* 1980 - BOUCHAUD B., CLAVEL P.
Incidence des extractions de granulats d'alluvions et de certains travaux hydrauliques sur le périphyton, la production primaire et la production secondaire dans trois cours d'eau du massif central
Ext. Ann. de la sta. biol. de Besse en Chandesse, n° 14 ,pp. 211-350, 1980
- (185)* 1980 - BOUCHERON C.
La réforme du code minier
rev.Equipt. mécan., Carr. et Mat. n° 183 Avril 1980, p. 44-46
- (186) 1980 - BOURGEOIS M.
Surveillance hydrogéologique de la source d'eau minérale de St Pardoux (Allier).
Rap. B.R.G.M. 80 SGN 279 AUV, 7 p., 4 pl.

- (187) 1980 - BOURGUEIL B., COUBES L., JOUBERT J.M.
 Etude géologique et hydrogéologique de la carrière des Plantons, commune de Borcq sur Airvault (Deux Sevres).
Société des Ciments Français £, rap.B.R.G.M. 80 SGN 534 POC, 5p. 5 fig.
- (188)* 1980 - BRGM CETE UNICEM
 SCHEMA DEPARTEMENTAL DES POSSIBILITES D'EXTRACTION DE GRANULATS DANS LE DEPARTEMENTS DES BOUCHES DU RHONE
 CGTPFG£ rapport BRGM/CETE/UNICEM 80 SGN 845 PAC, 182 pages, 44 annexes
- (189)* 1980 - CADIOT B.
 Carrières et environnement. Comparaison des législations des pays de la C.E.E.
In Industrie Minérale, oct. 1980, 22 p.
- (190) 1980 - CAOUS J.Y., COMON D.
 Reconnaissance hydrogéologique pour une étude d'impact de site de décharge à Fontaine les Verins (Aisne)
Rap B.R.G.M. 80 SGN 680 PIC, 10 p. 2 fig.
- (191) 1980 - CAUDRON M., GAILLARD J.G., ALBECQ C.
 Etude d'un site potentiel de décharge d'ordures ménagères à Holnon (Aisne). Aspect hydrogéologique.
Société France-Déchets £, rap. B.R.G.M. 80 SGN 409 PIC, 10p., 1 annexe.
- Le présent rapport analyse les caractéristiques hydrogéologiques de la nappe de la craie située à 45 m. de profondeur sous un recouvrement de sables argileux du Thanétien. Il définit la perméabilité relative ($K= 10^{-7}$ m/s) du fond de fouill sur lequel reposeront les ordures ménagères.
- (192)* 1980 - CEMAGREF
 Etude hydrobiologique de la Dordogne
 CEMAGREF, Min. Env. A.C.E. - Rap. CEMAGREF Grpt Bordeaux, Etude n° 3, 265 p., fig., an.
- (193) 1980 - C.E.T.E. de Lyon.
 Carrière de roches massives en fosse. Extension de la carrière du Mont-Roland (Jura).
 Min. ENV., Min. RECH. IND., C.G.T.P.C. £. Etude d'impact sur l'environnement, fasc. 2, 29 p.

- (194) 1980 - CGTPGF
Effets thermiques des exploitations en eau de sables et graviers en vallée alluviale sur les rivières de Haute Normandie
Dossier d'exploitation UNPG, doc. prov. 10 p., opé. TPGF 49 EG 114
- Opération en cours ?
- (195)* 1980 - Collectif
Synthèse des données existantes sur les vals de l'Allier et de la Loire en relation avec les problèmes posés par l'extraction des sables et graviers (région Pays de Loire).
Min. Env. (DPN) - C.G.T.P.G.£- Rap. BRGM SGR-CETE-UNICEM-LRPC-BDPA, 80 SGN 379 CEN, 600 p., 24 fig., 120 ref.
- (196)* 1980 - COLMENERO M.
Les carrières et la réforme du code minier. Aspects juridiques et techniques.
In : Carrières et Matériaux, n° hors série avril 1980, 90 p.
- (197) 1980 - DASSIBAT C., MATHERON J.P.
Carrière de Ranville (Calvados). Contrôle de l'évolution de la nappe phréatique.
Société des Ciments Français £, rap. B.R.G.M. 80 SGN 518 BNO, 9 p., 2 fig.
- (198) 1980 - D.D.A.
Réaménagement en terrain de camping d'une ancienne carrière à Plougasnou.
C.G.T.P.G., OP. 25.29.4. £.
- (199) 1980 - ESPACE LIBRE
Inventaire des anciennes carrières du dépt. de l'Ain et sélection des sites à réaménager.
C.G.T.P.G., OP. 26.01.4. £.
- (200) 1980 - GALHARAGUE J., ROBERT J.
Etat de l'extraction et du gisement alluvial dans la région de Toulouse

(en début 1980) - Communes de Cugnaux, Frouzins, Portet, Roques, Seysses, Villeneuve-Tolosane
Rap. BRGM 80 SGN 255 MPY, 17 p., 1 pl.+ tb., 1 h.t.

(201)* 1980 - GARNIER J., CARDINAL C.

Composition, évolution et production du phytoplancton du lac de Créteil.
C.R. 25ème Congrès National Association Française de Limnologie, p. 147-156.

(202)* 1980 - GARNIER J.L., GOUNON A.

NAPPE ALLUVIALE DE LA BASSE VALLEE DU VAR - CONTROLE DE L'EVOLUTION DU NIVEAU PIEZOMETRIQUE EN 1979
SYND. PROFESSION. DES EXPLOITANTS DE BALLASTIERES DU LIT DU VARÉ rap. BRGM 80 SGN 562 PAC, 19 pages, 3 fig., 4 annexes

(203) 1980 - GLINZBOECKEL C.

Etude hydrogéologique du secteur de la Loubière, commune de Cuers (Var)
Rap. B.R.G.M. 80 SGN 678 PAC, 21 p., 5 fig.

(204)* 1980 - HIRSCHAUER A., POUPELLOZ B.

Alimentation d'un plan d'eau par la nappe phréatique (Aulnay sous bois)
in Bull. Iiai. Lab. P. & C. 106 -mars-avril 1980 PP. 9-16

Afin d'éviter des travaux onéreux d'amélioration d'un réseau d'eaux pluviales l'aménagement d'une retenue est réalisé, son objectif étant d'écrêter les crues d'orages et de présenter une hauteur d'eau minimale (plan d'eau permanent) dans le dessein des'intégrer à un parc paysager. Le bilan hydraulique global de cette dernière est donc réalisé et commenté ,notamment les possibilités d'alimentation par la nappe phréatique, les eaux pluviales et au besoin par une réalimentation artificielle sontévaluées. Dans le cas où le réaménagement d'une carrière doit correspondre à ces objectifs cette étude peut servir d'exemple.

(205) 1980 - KERJEAN M.

Etude géologique et hydrogéologique de la carrière de la Descente des Bacs, préalable à la création d'un dépôt de déchets industriels et domestiques.

Rap. B.R.G.M. 80 SGN 130 CHA, 14p., 3 fig., 1 ann.

(206)* 1980 - KERJEAN M.

Etude des conséquences de l'ouverture d'une gravière à Villemaur sur Vanne sur le forage A.E.O. du S.I.V.O.M. d'Aix en Othe.

Rap. B.R.G.M. 80 SGN 421 CHA, 25 p., 3 ann;

- (207) 1980 - Laboratoire Régional de l'équipement de Clermont-Ferrand.
 Carrières de roche massives à flanc de coteau. Ouverture d'une carrière à Saint Pierre le Chastel (Puy de Dôme).
Min. ENV., Min. RECH. IND., C.G.T.P.G. f. Etude d'impact sur l'environnement. fasc. 1. 29p.
- (208) 1980 - Laboratoires de l'équipement.
 Note technique sur les études d'impact de carrière de roches massives.
Min. ENV., Min. TRANSPORT f, GSC : granulats. Rap. Lab. Equip., EGR : 1 35 16 9. Etude d'impact de gisements, 97 p., + .pg.
- (209)* 1980 - LARINIER M.
 Effets mésologiques des extractions de granulats dans le lit mineur des cours d'eau.
Coll. internat. sur la répartition des ressources ichtyologiques, F.A.O. (C.E.C.P.I.) Vichy, avril 1980.
- (210)* 1980 - LAVIRON F., CREMILLE L., BILLARD G., AUBRY C.
 Synthèse des données existantes sur les vals d'Allier et de Loire en relation avec les problèmes posés par l'extraction des sables et graviers - Région Bourgogne
DRIR Bour.-Franche-Comté, Min. Ind.(C.G.T.P.F.G) f Rap. B.R.G.M. 80.SGN.019 BOU/OCETE 41.9286.1, 4 p., 7 an.
- (211)* 1980 - LCPC
 Etude sur la caractérisation, la dispersion et la floculation des fines.
C.G.T.P.F.G, OP 28 EG 68 , Etude n°344003, 74 p., 29.pl.
- Les fines particules minérales produites, souvent en excès par les installations de production de granulats, posent des problèmes de rejets, qui peuvent être améliorés en assurant une plus grande efficacité de la floculation. La première phase de l'étude traite de la dispersion des argiles et présente des moyens contribuant à améliorer l'analyse sédimentométrique. La deuxième phase traite d'essais de floculation sur deux matériaux (un sable limoneux hétérogène et un sable argileux homogène). La troisième phase expose une méthode de contrôle des rejets.
- (212)* 1980 - LE VILLAIN J.P.
 Conséquences de la surexploitation des sables de Loire sur la stabilité des berges et fondations de pont en Maine et Loire et Loire Atlantique.
Rap. du lab. rég. de l'équipement d'Angers. Comité français de géologie de l'ingéni.pr.

- (213)* 1980 - MARTIN J., MERMETL , REMOND C., SIONNEAU J.-M.
 Etude pour l'extraction de granulats et la construction d'épis en trois points sensibles du Val de Loire en Bourgogne - Environnement - Hydrologie - Technico-économie
DDE 58, Rap. BRGM 80 SGN 274 BOU, 71p., 10 fig., 12 an.
- (214)* 1980 - RAMOUSSE D.
 Contribution à la connaissance physionomique et avifaunistique de quelques étangs et gravières rhônalpins.
Mém. de fin d'études, Ecole Nat. d'Ingénieur des Techn. Agricoles.
- (215)* 1980 - SER. de l'IND. et des MINES de BOURGOGNE-FRANCHE-COMTE
 Règles d'aménagement et de gestion des plans d'eau de type 'gravières'.
In Le Courrier de la Nature, n°67, mai juin.
- (216) 1981 - ALLOMBERT J., CORDOLEANI M. ET C.
 ETUDE D'IMPACT DE L'INSTALLATION CLASSEE ET D'UNE ZONE DE GRAVIERES A VINON SUR VERDON (83) ET GREOUX LES BAINS (04)
SOCIETE SATRAPE rapport BRGM 81 SGN 354 PAC, 5 tomes, 194 pages, 81 fig., 1 annexe
- (217)* 1981 - Anonyme
 Etude d'impact sur l'environnement - Carrière de roches alluvionnaires dans la nappe - Ouverture d'une carrière à Tréhet
Min. Env., Min. Rech. Ind., C.G.T.P.F.G., 27 p., 16 fig., 2 an.
- (218) 1981 - Anonyme
 Gravières en Alsace : exploiter à 50 m. de profondeur. Extraction et préparation.
In Equipement Mécanique Carrières et Matériaux, n°193 p.29-31, mai 1981.
- (219)* 1981 - ARQUIE G., PELLECUER P.
 Rapport préliminaire du groupe de travail chargé d'étudier les problèmes posés en matière d'extraction de granulats.
MIN. de ENV. et du Cadre de VIE, Conseil Général des Ponts et Chaussées

£, *Aff. n°80-109*, 47 p.

- (220)* 1981 - AUBERT J.
Etudes d'environnement et d'impact - Impact hydrogéologique de la gravière de Congis
Bull. liai. Lab. P & C, mars-avril 1981, pp. 131-139
- (221)* 1981 - BRGM
Mission de suivi des réaménagement de carrières
C.G.T.P.G. OP. 33 EG 81 £.Rap. BRGM 82 SGN 002 ENV, 83 p., 108.pl.

Ce rapport est constitué de 18 fascicules qui permettent de visualiser des carrières réaménagées avec l'aide de la taxe, plusieurs années après la fin des travaux. Dans l'ensemble, les aménagements sont bien entretenus et bien ressentis par la population. Dans de nombreux cas, on déplore toutefois des dégradations des équipements légers.
- (222)* 1981 - BRGM, A.R.A.S.
Plaquette d'information sur le réaménagement des gravières en espaces de détente et de loisirs
C.G.T.P.G., OP 31 EG 70 £.

Cette plaquette illustre 3 exemples de réaménagement d'anciennes carrières en espaces de détente et loisirs. La politique d'action consiste à effacer les séquelles des anciennes exploitations dans l'esprit du futur aménagement et à créer un centre d'intérêt les collectivités locales en quête d'espaces de détente et de loisirs. Ces exemples ont été choisis l'un en zone continentale (Strasbourg) pour illustrer le refuge que constituent de telles bases à proximité de centres urbains importants, et les deux autres en zone littorale pour montrer que près de la mer, même hors saison touristique, la création de bases de loisirs et de détente se justifie, que l'aménagement soit accompagné d'un équipement coûteux et complet (Pont l'Evêque) ou non (Gamaches/Longroy).
- (223) 1981 - BURGEAP.
Plan d'exploitation coordonné des carrières du Bassin de Marquise
Rap. TPF, ALB Artois-Picardie, Car. du bassin de la Marquise £, BURGEAP R 439- E 804, ref opération 29 62 19, 5p., 1 fig.
- (224) 1981 - CASTELNAUD G., GADRAT S., TROUVERY M.
La protection des migrateurs contre les extractions de granulats. Réflexions, méthodes, et résultats pour la Dordogne en aval de Bergerac
Comm. au congrès de l'Ass. Française de Limnologie, Orléans, 18 p.
- (225)* 1981 - CAULIER P., DELPORTE B., LEPLAT J., TALBOT A.
Etude des problèmes hydrogéologiques posés par la poursuite de l'exploitation des carrières de granulats dans l'Avesnois

Prog. op. 26-59-15 avril 1981. Cham. de Comm. et Ind. d'Avesnes f. Rap. synthèse B.R.G.M. 81 SGN 263 NPC, 60 p., 60 fig.

- (226) 1981 - COGNARD E., GAND G., LAVIRON F., LONGERE P.
Etudes d'environnement et d'impact - Exemple d'étude d'impact pour l'exploitation d'un gisement alluvionnaire
Bull. liai. Lab. P & C, mars-avril 1981 ,pp. 271-285
- (227) 1981 - DASSIBAT C. & all.
Etude d'impact de la carrière de Biville (Manche).
rap. BRGM 81 SGN 452 BNO. 62p., 13 fig., 7 ann.
- (228)* 1981 - FABRE C.
Cours inférieur du fleuve Var - Etude de l'évolution du lit et des débits solides - Conséquences pour la piézométrie
DDE 06 f Rap. 53 p., 15 fig., 28 an., OCT. 1981
- (229)* 1981 - FOUCAUD R.
Approche des problèmes posés par les extractions de matériaux dans les cours d'eau - Exemple de la Loire et de l'Allier
An. Mines 'Les Carrières', pp.179-184, mmars-avril 1981
- Devant le caractère de ces matériaux non renouvelables et les dégats causés au monde riverain par les extractions en lit mineur (déstabilisations de piles de ponts, problème d'AEP de Nantes par remontée d'eau salée) un programme d'étude et de travail est proposé, avec pour objectifs principaux : le contrôle des exploitations (tonnages) et de l'utilisation des matériaux nobles extraits , la limitation voire la fermeture d'exploitations dans les zones les plus touchées et la reconversion progressive vers la plaine alluviale, ceci dans un souci d'équilibre économique régional. Souligne l'impact des gravières sur la morpho-dynamique d'un fleuve.
- (230) 1981 - GIACOBINO M., BOUCHERON C.
Les documents d'impact sur l'environnement.
In Ann. des Mines, p.153, mars-avril 1981.
- (231)* 1981 - GODIN J., OLIE L.
Etudes d'environnement et d'impact - Impact des rejets urbains sur le milieu marin. Le cas de la ville de CONCARNEAU
Bull. liai. Lab. P & C, mars-avril 1981 ,pp. 53-64

- (232) 1981 - GOOSSENS J.
 Que pense la profession ?
In Ann. des Mines, p.199-204, mars-avril 1981
- (233)* 1981 - GUILLIN J.C., LIVET M.
 Etudes d'environnement et d'impact - Protection des berges et extraction des granulats dans le lit mineur d'une rivière
Bull. liai. Lab. P & C, mars-avril 1981, pp. 122-129
- Une étude sur plusieurs km. du cours de la Dordogne (entre Beaulieu et Astaillac) et de son évolution liée en particulier à l'exploitation de granulats en lit mineur est décrite, sa finalité est de proposer un réaménagement pour limiter l'érosion et l'instabilité de la berge concave du méandre d'Astaillac (menaçant le hameau de Thezel). Ainsi est préconisée une extraction contrôlée (jusqu'à une cote donnée) des atterrissements en berge convexe ; le maintien du seuil aval étant pris en considération.
- (234) 1981 - HOSTEING P., FERRAND P.
 Les ballastières de SEGONZAC (Charente)
An. Mines 'Les Carrières', pp.143-152, mmars-avril 1981
- Relate les motivations principales d'une mairie (économiques, hygiène publique) et les démarches qu'elle a du effectuer lors du réaménagement de 35 ha d'anciennes carrières de ballast.
- (235) 1981 - Lab. Central d'Hydraulique de France
 Faux bras de l'Ile Neuve. Etude sur modèle réduit des effets d'un approfondissement.
Sabliers réunis de la Loire. f Rapport (29 44 9), 39 p., 19 pl.
- (236) 1981 - Lab. régional de Toulouse
 Etude de stabilité des berges du Tarn à l'Escure. Hydraulique et mécanique des sols.
Rap de synthèse, N° 81. L. 51 - MS. 18 754 3, 35 p. + annexes
- (237)* 1981 - Laboratoire régional de Toulouse
 Impact de l'aménagement d'une grande gravière sur une nappe phréatique dans la plaine de la Garonne.
In Bull du LCP, p 78 & 79
- (238)* 1981 - LALLEMAND-BARRES A., PLONGERON A., VANDENBEUSH M.
 Périmètre de protection des captages d'eau potable. Approche pour l'appréciation des coûts des servitudes
Rap B.R.G.M. N° 81 SGN 146 EAU, p ???

- (239)*? 1981 - LAMSON A., HEINEMANN J.
 Le point de vue d'une association de défense de l'environnement
An. Mines 'Les Carrières', pp.193-198, mmars-avril 1981
- Présente l'ensemble des nuisances écologiques des carrières. Evoque les améliorations qui devraient être apportées au code minier et dans l'application de ce dernier (autorisations, réaménagements) des abus étant mentionnés motivés par des intérêts d'ordre économique. Un cas est cité où une exploitation par tir de mines a pu modifier le système hydrogéologique du secteur (Le Revest - Var).
- (240) 1981 - Collège LCPC
 Les études d'impact de carrières de matériaux alluvionnaires - Note d'information technique
Action rech. plurian. 35 Granulats - FAER 1.35.16.9 et 1.35.16.0, 85 p., fig.
- (241) 1981 - MAGNY H.
 Gravières, ballastières et environnement.
In Revue Française de l'Electricité 'Eau et Energie', n°274, p. 36-41, 54ème année, septembre.
- (242) 1981 - MAILLARD P.
 Observations sur l'enfoncement du lit mineur de la Loire.
In l'Ecologie et l'Aménagement de la Loire. F.R.A.P.E.C. p. 1-13.
- (243)** 1981 - MISHPELLANY A.E L.
 Etudes d'environnement et d'impact - Pollution des rivières par le lavage des matériaux en carrière
Bull. liai. Lab. P & C, mars-avril 1981 ,pp. 83-89 (+1 ex. tiré à part)
- (244)* 1981 - MUNTER J.A., ANDERSON M.P.
 The use of ground water flow models for estimating lake seepage rates.
In Groundwater, vol. 19, n°6, p.606-616.
- (245)* 1981 - RAT M., HUMBERT P.
 Hydrogéologie et étude d'impact.
Bull. liaison L.P.C. n°112, Env II-I, p. 101-106, mars avril 1981.

- (246) 1981 - SCANIDA
Remise en état et aménagement à vocation d'observatoire - zone d'Ecorcheboeuf.
C.G.T.P.G., OP. 35.38.9. f.
- (247) 1981 - WACKERMANN G.
Nuisances et propositions d'aménagement dans l'espace industrialisé sud-rhenan.
In Bull. Assoc. Géogr. Fr., vol 58, n° 481-482, p. 285-290.
- Les propositions concernent la réduction du nombre de gravières qui polluent la nappe phréatique, un inventaire des richesses et des besoins, l'élaboration d'une politique d'aménagement globale.
- (248)* 1982 - ALLARD J.M.
Conséquences sur l'environnement de l'activité sablière en milieu fluvial
Mém. E.S.G.T., 133 p.
- (249) 1982 - Anonyme
La pollution des nappes phréatiques
In le Moniteur du 22 fev. 1982, 1p.
- (250) 1982 - Anonyme
Influence des plans d'eau sur les eaux courantes superficielles.
S.R.A.E L. QE 1982 194.
- (251)* 1982 - Anonyme
Fonctionnement biogéochimique des gravières en eau de la plaine de Poses.
E.P.R. Ville Nouv. du Vaudreuil; Rap. Cellule environnement de l'E.P.R., sous la responsabilité scientifique de LELONG F. TESTARD P., 122 p.
- (252)* 1982 - ARTHUR W., ZISCHKE J.A., ERICKSEN G.L.
Effect of elevated water temperature on macroinvertebrate communities in outdoor experimental channels.
In Water Research, vol. 16, p. 1465-1477.

- (253)* 1982 - **BABOT Y., RINCK G., RISLER J.J., VANCON J.P.**
 Utilisation thermique de la nappe phréatique d'Alsace au niveau de
 Strasbourg - Contrôle thermique et chimique de la nappe en 1981
EPR Als., CG67, DRE, Elec. DE Stras., M.I.R. f Rap. BRGM 82.SGN.391 ALS, 61
p., 25 fig., 11 tab.
- (254) 1982 - **CAMPINCHI J., CAMART R., SONCOURT E.**
 Projet d'ouverture d'une sablière à Triel sur Seine (Yvelines) à l'a-
 plomb des champs d'épandage de la ville de Paris. Etude d'impact
 hydrogéologique.
Rap. B.R.G.M. 82 SGN 538 IDF, 40 p., 11 fig., 13 ann.
- (255) 1982 - **CAUDRON M.**
 Impact chimique des anciennes décharges d'ordures ménagères sur la nappe
 de la craie en Picardie.
Rap. B.R.G.M. 82 SGN 1007 PIC, 27 p., 16 fig.
- (256)* 1982 - **C.E.M.A.G.R.E.F. de Bordeaux**
 Les carrières en eaux : possibilités et limites d'une utilisation
 aquacole.
C.G.T.P.G., OP. 36 EG 94 f. 208 p., 58 pl.,
- Après avoir donné quelques exemples d'utilisation aquacole des carrières en eau en France, quelques notions de base sur la vie aquacole et l'aquaculture, ce dossier fait un bilan de l'état de l'aquaculture dans les eaux françaises et montre l'intérêt des carrières en eau et de leur réaménagement pour la pêche et la pisciculture. Compte tenu des contraintes techniques et économiques spécifiques de l'aquaculture, la première proposition de l'étude vise à promouvoir les méthodes de réaménagement physiques simples et peu onéreux, résultant d'initiatives locales et individuelles dans des sites privilégiés, qui constitueront une richesse para-économique, créatrice d'activités locales et de pratiques sociales.
- (257)* 1982 - **CLEMENT-GRANDCOURT M.**
 Un étang ? Pourquoi faire ?
C.N.D.P., C.R.D.P. Amiens f, 190 p. + fig.
- (258)* 1982 - **Collectif**
 Etude de la stabilisation du lit de la Moselle entre Messein et Epinal
B.C.E.O.M., C.E.T.E de l'Est, serv. de la navigation de Nancy,
C.G.T.P.G., B.R.G.M. f. Fiche rés. sommaire,

- (259) 1982 - COUBES L.
Etude des relations hydrogéologiques entre la carrière de Champmoireau et le captage de Mante, commune de Coulon (Deux Sèvres)
Rap. B.R.G.M. 82 SGN 836 POC, 9 p., 4 fig.
- (260) 1982 - DAMANIANI L., DELLERY B., CAILLOL M., PIREDDU H.
Carrière de la Malespine, avant projet de comblement par des déchets.
Rap. B.R.G.M. 82 SGN 405 PAC, 25 p., 11 fig.
- (261)* 1982 - DASSIBAT C., POINTET T., VANDENBEUSCH M., BROSSIER G., MATHERON J.P., PASCAUD P.
Etude de l'évolution de la nappe phréatique à proximité de la nouvelle carrière par simulation sur modèle mathématique (Ranville, Calvados).
Rap. B.R.G.M. 82 SGN 893 BNO, 41 p., 36 fig.
- (262)* 1982 - DEMASSIEUX L.
Essai de modélisation simplifiée des échanges gravières-rivières.
I.N. polytechn. Lorraine. E.N.S. géol. app. et prosp. minière.
- (263)** 1982 - DESBROSSES R.
Premiers stades de colonisation d'une sablière par la faune aquatique.
Mém. D.E.A, U. C. Bernard Lyon I, dépt. de biologie animale et d'écologie, 39 p. + fig.
- Dans une sablière (bord de Saône) exploitée durant 15 mois et ce à sec par création d'un écran imperméable et par pompage (isolée du réseau hydro et de la nappe) puis réaménagée en plan d'eau, ayant atteint une cote stable au bout de six mois ; l'étude par une description qualitative quantitative et périodique des populations montre l'instabilité des populations pionnières (fluctuation, boom, hécatombe) et leur rapide installation dans ces milieux ; les fluctuations ultérieures tendent à traduire une future stabilité. Des craintes de vieillissement accéléré lié à l'individualisation de ce système sont évoqués.
- (264) 1982 - D.I.I.
Aménagement d'une ancienne carrière en terrain de camping à St Nizier sur Arnoux.
C.G.T.P.G., OP. 34.71.15. f.
- (265)** 1982 - FROCHOT B., PAGES J., RENIER J.
Les sablières en eau: le bilan de la situation en France, synthèse bibliographique et perspectives de recherche.

PIREN, rap. CNRS Fac de DIJON, 17 p., an.

Cinq cents documents ont été consultés et classés dans une liste bibliographique (disp.fac. DIJON) en deux grands fichiers: 1 fichier opérations TPPG (200 fiches) ; 1 fichier divisé en : carrières en eau (articles de presse nature-écologie, CR activité producteurs, réflexions générales), réaménagements-remises en état-études d'impact, problèmes techniques liés à l'extraction, travaux d'intérêt scientifique, domaine de l'eau (tous problèmes liés à la nappe phréatique), articles archivés au Lab. d'écol. Fac. DIJON. La synthèse dégage le besoin d'inventaires a priori sur les sites susceptibles d'être exploités, de banques de données et d'inventaires écologiques régionaux en vue d'éviter les erreurs lors des aménagements et de fournir des points de référence. Elle insiste aussi sur l'intérêt d'équipes pluridisciplinaires pour la réalisation des études et recherches, ainsi que sur la nécessité de l'étude a posteriori et, dans l'avenir, d'un suivi des bassins abandonnés, en vue de fournir des éléments prévisionnels. Un programme d'études à réaliser est esquissé.

(266)* 1982 - GARNIER J.

Production primaire d'une sablière (lac de Créteil, Val de Marne). Etude de certains facteurs de contrôle.

Thèse 3ème cycle Un. Pierre et Marie CURIE, Paris VI

(267) 1982 - HAHN J.C.

Un trafic franco-allemand de déchets est découvert à Strasbourg.

In le journal Le Monde du 10 décembre 1982.

(268) 1982 - LEPLAT J.

Récupération des eaux d'hexaure de la carrière 'C.B.S.' pour la distribution d'eau potable (Maubeuge,(59)).

Société Eau et Force F, rap. B.R.G.M. 82 SGN 969 NPC, 4 p., + 2 ann.

(269) 1982 - L.P.C. de TOULOUSE

Etude de stabilité des berges du Tarn à l'escure hydraulique et mécanique des sols.

Rap. 029-081-008, 73p., 37 pl.

(270) 1982 - MAUBERT F.

Synthese des données législatives relatives à l'exploitation des carrières aux défrichements des bois et aux installations de traitements des matériaux

rap. BRGM 82 SGN 648 ENV 27p. + annexe renseignements utiles.

Synthese des principaux textes relatifs ou connexes aux demandes d'autorisation d'exploitation de carrières, et résumé des contenus de dossier ; procédures d'instruction au cas où l'étude d'impact est nécessaire. Un questionnaire type liste les principaux renseignements nécessaires à l'élaboration d'un dossier.

- (271) 1982 - MERIAUX J.L., TOMBAL P.
 Suggestions concernant le réaménagement des carrières en eau.
In Bull. Fr. Pisciculture, n°286, p.262-276, sept..
- (272)* 1982 - MOREAU N.
 Etude biogéochimique comparative de différents plans d'eau de la plaine alluviale du Vaudreuil (Eure).
Thèse de 3ème cycle à l'Un. d'Orléans. U.E.R. de Sciences fondamentales et appliquées. (Géologie appliquée - Hydrogéologie), 138 p.
- (273) 1982 - NADON R.L., GALE J.E.
 Grant 92 ; impact of groundwater on mining activities in the Niagara escarpement aréa. (Crédits 92 ; effets des eaux souterraines sur les activités minières dans le secteur des falaises du Niagara)
In Ont. Geol. Surv. Misc. Pap., vol 103, p. 131-149., en anglais.
- (274)* 1982 - RAMADE F.
 Eléments d'écologie - Ecologie appliquée
Groupe Mc Graw-Hill , PARIS, 452 p.
- (275)* 1982 - RECAN M., ROCHE J., VANDENBEUSCH M.
 Ressources en sables et graviers dans la vallée de la Garonne entre Carbone et Montrejeau (31). Etude de la contrainte hydrogéologique.
Rap. B.R.G.M. 82.SGN.030 PMY, 50 p., 10 fig., 14 pl., 3 ann.
- Dans la plaine de la Garonne (sud toulousain) où des exploitations de ressources en eau et en sables et graviers sont menées simultanément, l'étude de sept captages est réalisée mettant en application les acquis de l'étude 75 SGN 132 MPY (définition par modèle de simulation des périmètres de protection des captages AEP en zone graviérable). Ainsi après recalage du modèle selon les cas en fonction de leurs paramètres hydrauliques et hydrogéologiques, et suivant la géométrie (la profondeur), l'implantation (répartition spatiale, densité) des gravières, sont définis les périmètres. Des valeurs de protection de 600 à 300 m. à l'amont sont données. La baisse de productivité des captages admise étant de l'ordre de 10 %.
- (276)** 1982 - RIVIER B.
 Incidences mésologiques et biologiques des extractions de granulats dans le lit vif des cours d'eau
Rap. CEMAGREF Gr. d'Aix en Provence -Sec. qual. des eaux, 15 p., 5 fig. 1 tab.

- (277)* 1982 - ROUX J.C.
Prise en compte des problèmes hydrogéologiques dans les études d'impact.
Recueil des données et prévisions.
2ème colloque A.F.I.E., Arles 21-22 avril 1982, p.181-215.
- (278) 1982 - SIONNEAU J.M.
Exploitation de granulats dans le Grand Cul de Sac marin (Guadeloupe).
Notice d'impact.
Rap. B.R.G.M. 82 ANT 023, 23 p., 28 fig., 7 ann.
- (279)* 1982 - S.R.A.E. LORRAINE
Réaménagement pilote de gravières avec des ordures ménagères dans la
vallée de la Moselle à Pont-à-Mousson (résultats d'expériences de traca-
ges et de salinographie réalisés sur le champs d'observation.
26 p.
- (280)* 1982 - THEVENIN J.
LE FLEUVE VAR LA PLAINE DU VAR EN AVAL DU PLAN DU VAR ET LES NAPPES AL-
LUVIALES
DDA 83f rapport DDA 83 03.1982, 113 pages, 14 annexes
- (281)* 1982 - UNIMATE
Note sur l'impact des dragages dans le lit mineur de la Garonne, moti-
vant la proposition d'arrêt des extractions
Note UNIMATE 13 p. 3 fig., avril 1982
- (282)* 1982 - VESHCHEV P.V.
Influence of dredging opérations on content of suspended substances in
and the benthic fauna of the Volga.
IN Hydrobiology. J. vol. 18, n°4, p.15-20.
- (283) 1983 - ARMANDO E. & all
Exploitation de granulats dans le bassin de Pô près de Turin (Italie) et
leur impact sur l'environnement.
In Bull. Int. Assoc. Eng. Geol., n°29, p. 211-216, en anglais.

- (284)*? 1983 - B.D.P.A. Audiar
Réaménagement à des fins agricoles à partir d'ordures ménagères dans la région de Rennes.
C.G.T.P.G., OP. 25.35.8. f.
- (285) 1983 - BOSSY G., GLARD Y.
Création du nouveau pont de St Pierre de Message à Vizille sur la Romanche.
In Bull. Int. Assoc. Eng. Geol., n° 29, p. 233-236.
- (286)*E 1983 - CAOUS J.Y., JAUFFRET D.
Ouverture d'une ballastièrre à MOUY (Oise) - Etude des incidences hydro-géologiques et géotechniques sur le captage AEP du district de MOUY et sur le remblai de la ligne SNCF Creil-Beauvais
S.E.S.M. f Rap. BRGM 83.SGN.187 PIC, 29 p., 14 fig., 5 tab., 1 an.
- (287) 1983 - CEMAGREF.
La gravière de Mas Thibert - Mise en valeur aquacole et essais d'élevage de l'écrevisse *Astacus Leptodactylus*
CGTPFG, CEMAGREF, DRIR 13f rap. CEMAGREF, 65 pages,
- (288)** 1983 - C.E.T.E.
Prise en compte et analyse des données du milieu et de l'impact des extractions dans les études d'approvisionnement en granulats.
CGTPFG f Op. 14 EG 43, Rap. C.E.T.E. Aix en Prvce et Bordeaux, 196 p., 36 pl.
- Après avoir rappelé l'importance et la diversité des effets des carrières sur leur milieu d'accueil, ainsi que les difficultés rencontrées dans la recherche d'une prise en compte objective de l'environnement au niveau de l'étude d'impact, on propose une approche progressive des problèmes d'environnement couplée avec les phases d'inventaire des gisements. Les facteurs d'environnement concernés sont identifiés et classés, et trois niveaux successifs sont ensuite proposés pour l'organisation des études: Région, SDAU et POS. Cette articulation devrait permettre de déterminer les gisements, puis les parties de gisements où les conséquences de l'exploitation pour sont acceptables pour l'environnement. L'étude tient largement compte des choix possibles en ce qui concerne les modalités d'exploitation et les possibilités de remise en état ou de réaménagement.
- (289)* 1983 - C.E.T.E.
Effets des extractions de granulats dans le lit mineur du Doubs.
Rap. C.E.T.E de Lyon et Un. de Dijon.

- (290)* 1983 - DUBOIS J.M.
 Etude de l'impact des gravières sur l'environnement en Alsace. Evolution chimique et biologique des eaux des gravières alsaciennes ; interactions nappes-gravières
PIREN , Projet (caduque) présenté à Strasbourg en février 1983
- (291) 1983 - Environnement carrières et matériaux.
 Carrière de roches massives hors nappe à Villerrmain (Loir et Cher)
 Min. ENV. Min. RECH. IND. C.G.T.P.G. f. *Etude d'impact sur l'environnement, fasc. 7, 35 p.*
- (292)* 1983 - FOLHEN D.
 Etude d'impact de l'exploitation minière sur la nappe aquifère des sables.°Sénégal (zone des Niayes)§.
Rap. B.R.G.M. 83.AGE.033, 49 p., 12 pl., + 8 annexes.
- (293)* 1983 - JAUFFRET D., PINTE J.C., TALBOT A.
 Ouverture d'une ballastièrre à Mouy (Oise). Etude des incidences hydrogéologiques et géotechniques sur le captage A.E.P. du district et sur le remblai de la ligne S.N.C.F. Paris-Beauvais.
Société d'Exploitation des Sablières Modernes f, rap. B.R.G.M. 83.SGN.187 PIC
- (294)* 1983 - Jeune Chambre Economique de Romilly
 Aménagements des sablières en sites de pêche
C.G.T.P.G., OP. 36 EG 87 , 48 p., 67 pl.
- Cet opuscule fournit des informations sur la pisciculture (exigences des poissons) et les processus chimiques, physiques et biologiques d'évolution d'un étang. Il expose les modalités d'aménagement d'une ancienne sablière en eau en étang de pêche (profilage des berges, végétation aquatique à planter, entretien du plan d'eau). Il expose ensuite les modalités d'empepoissonnement et de gestion de la population aquatique. Il donne enfin des conseils juridiques aux acquéreurs éventuels d'anciennes sablières.
- (295)* 1983 - Lab. Central d'Hydraulique de France
 Analyse par simulation des effets sur le littoral de l'ouverture de souilles destinées à l'extraction de granulats marins
Op. CGTPFG 42 EG 104 , 89 p. , 34 pl.
- L'extraction de granulats en bordure de mer entraîne fréquemment des perturbations dans l'équilibre sédimentaire du littoral qui se traduisent par des érosions et une dégradation progressive du rivage. Cette étude sur modèle sédimentologique réduit doit permettre de fixer l'influence de souilles d'agrégats entre les fonds de -5 m et -25 m sous le niveau des plus basses mers. Elle a pour but, d'une part de préciser l'impact géométrique de la souille, d'autre part d'apprécier l'influence de courants

généraux se superposant à l'action des houles.

(296)* 1983 - RICHARDOT A.

Influence de l'âge et du marnage des sablières sur quelques groupes faunistiques.

Mém. D.E.A., U. C. Bernard Lyon I, dépt. de biologie animale et d'écologie, 24 p. + annexes.

L'étude comparative des peuplements de 3 carrières fermées : une à Spoy et 2 à Arc sur Tille distinctes par leur âge et régime hydrologique montre : à Spoy où le marnage est important un peuplement riche en taxons, une présence discrète des poissons; à Arc/Tille, dans la jeune carrière une population pionnière instable; dans la vieille carrière une faune adaptée, stable, occupant toute les niches écologiques.

(297) 1983 - RISLER J.J.

Applications d'un modèle hydrochimique tridimensionnel aux problèmes posés par les gravières: -en zones tourbeuses à nappe très proche du sol
-en nappes présentant de forts gradients de minéralisation

Projet d'intervention présenté par le SGR/ALS du BRGM en octobre 1983

(298)** 1983 - ROBERT J.CL. et al.

Mécanismes fondamentaux de repeuplement par la faune et le flore des milieux artificiels résultant de l'activité industrielle (carrières, ballastières) secteurs hors eaux

Un. de Franche-Comté, Min. Env. et C. de V. & Et. Gr. Rech. sur les milieux boulv. par les eaux, Lab. Ecol. Animale, Fac. Sc. et des Techn. de Besançon, 171 p., fig., pl.

On montre 'clairement que les exploitations de granulats abandonnées constituent autant d'entités à peuplement biologique absolument original du moins dans les premiers stades de recolonisation. En général il ne semble pas possible (de les) assimiler à des écosystèmes naturels sauf pour certains stades ultimes de revégétalisation (climax forestier pour les carrières hors eaux, comblement par eutrophisation pour les ballastières à eaux peu profondes)... De vieilles exploitations constituent ainsi des réservoirs d'espèces exceptionnelles, elles méritent à ce titre une protection avec ou sans réaménagement et sans doute, pour certaines, des études scientifiques suivies sur une longue période.'

(299) 1983 - ROXBURGH I.

The reclamation of worked-out sand and gravel quarries utilising domestic waste. The issue of groundwater pollution. (le réaménagement des carrières de sable et gravier à base de déchets domestiques: le problème de la poll. de l'eau sout.

In Miner. Environ., vol 5, n°1, p. 3-9, en anglais

(300)* 1983 - ROYER J.M., GOUISSET Y.

Influence de l'ouverture d'une carrière sur la nappe des Tilles (21). Etude par simulation sur modèle.

Rap. B.R.G.M. 83.SGN.518 BOU, 12p.

- (301)* 1983 - WINTER T.C.
The interactions of lakes with variably saturated porous media.
In Water Resources Research, vol 19, n°5, p. 1203-1218.
- (302) 1983 - WROBEL J.P.
Bauschutt und grundwasser. (déblais et eau souterraine)
In Gas. und Wasserfach. Wasser, Abwasser, vol 124, n°7, p. 327-334.
- (303)* 1984 - Anonyme
Etude des possibilités de remblayage d'une carrière avec des terres de sucrerie - Note préliminaire
DRIR Pic.-Champagne, Min. Ind.(C.G.T.P.F.G) & Rap. Lab. B.D.P.A. - B.R.G.M. , 11 p., 5 fig.
- (304) 1984 - BECKELING J., BAILLY S., WINDELS F.
Etude d'impact d'un projet de dépose de produits de curage d'égoût sur la commune de Loffre (59).
Société des Eaux du Nord & rap. B.R.G.M. 18 p., 7 fig.
- (305)** 1984 - BENNETON J.P.
Eutrophisation des plans d'eau. Inventaire des principales sources de substances nutritives azotées et phosphorées.
Etude biblio. rap. de recherche L.P.C., n°130
- (306) 1984 - CAUDRON M.
Etude des possibilités de remise en état agricole a l'avancement d'une carrière emblayée en phase liquide avec des terres de sucrerie - Aspect hydrogéologique
DRIR Pic.-Champagne, Min. Ind.(C.G.T.P.F.G) & Rap. Lab. B.D.P.A. - B.R.G.M. 84.AGI.148 PIC , 21 p., 15 fig., 8 tab.
- (307) 1984 - C.E.M.A.G.R.E.F.
Revégétalisation des carrières. Principes généraux applicables aux reboisements.
MIN. IND. & RECH., AGRI., C.G.T.P.G., Direction des forêts & Note tech. 49 p.

- (308)* 1984 - CHAMOIN J.
 Etude des peuplements zooplanctoniques de deux sablières.
Mém. D.E.A., U. C. BERNARD Lyon I, dépt. de biologie animale et d'écologie, 22 p. + fig.
- (309)* 1984 - CIRON P., GARNIER J.L., GRAVOST M.
 ETUDE DE LA NAPPE ALLUVIALE DU VAR (06) EXTENSION ACTUALISATION DU MODE-
 LE MATHEMATIQUE DE SIMULATION ET TESTS DE SENSIBILITE
DDE DES ALPES MARITIMES f note BRGM 84 PAC 021 8 p., 8 fig.
- (310)* 1984 - CIRON P., GARNIER J.L., GRAVOST M.
 ETUDE DE LA NAPPE ALLUVIALE DU VAR (06) ZONE IND. DE CARROS IMPACT
 HYDRODY. DE L'OUVERTURE ET DE L'AMENAGEMENT D'UN PLAN D'EAU SUR LE 4EME
 CASIER
DDE DES ALPES MARITIMES f note BRGM 84 PAC 019; 9 p., 6 fig.
- (311) 1984 - CIRON P., GOUNON A., VADON J.
 SEUIL 16 EN AMONT DE LA BASSE VALLEE DU VAR (06) ENQUETE HYDRAULIQUE
 ETUDE D'IMPACT
DDE DES ALPES MARITIMES f RAPPORT BRGM 84 AGI 198 PAC, 16 p., 9 fig.
- (312)* 1984 - CLAUDET R., EBERENTZ P., MOURON R.
 Aménagement des exutoires de ballastières en eau en communication di-
 recte avec les rivières.
*Bull. de l'Ass. Inter. de Géologie de l'Ingénieur, n° 29, p.245 à 250, +
 5 fig.*
- (313) 1984 - DAVISON W., WOOF C.
 A study of the cycling of Mn and other elements in a seasonally anoxic
 lake. Rostherme mere U.K.
In Water Research, vol. 18, n°6, p.727-734.
- (314)* 1984 - DDA VAUCLUSE
 ELEMENTS POUR UN SCHEMA D'AMENAGEMENT DE LA RIVIERE L'OUVEZE
DDA VAUCLUSEfrapport DDA VAUCLUSE-AVIGNON, oct; 1984, 42 pages, 1

figure, 1 plan, 6 planches photo.

- (315) 1984 - DENUDT H.
Création d'une ballastièrre à Chevrière (60). Possibilités d'exploitation par rabattement de nappe.
Carrières Vasco Gobitta f, rap. B.R.G.M. 84 AGI 417 CEN, 11 p., 2 fig.
- (316)** 1984 - DESSERTY S., CAVELIER C.
Etude des flux d'azote à l'interface eau-sédiments d'un bassin de rétention (Mery-sur-Oise).
Revue Française des Sciences de l'Eau, 3, n°4, p. 361-374.
- (317)* 1984 - Divers
Granulats
C.R. du Symp. Internat., vol. 2, 'Problèmes d'environnement' thème II pp.197-328, NICE 21, 22, 23 mai 1985
- (318)* 1984 - DUPUIS E.
Exemples d'épandage de craie en milieu limnique eutrophe : limites à l'application du procédé.
In Revue Française des Sciences de l'Eau, n°3, p. 431-432.
- (319)** 1984 - EBERENTZ P., JACQUOT P., LION L.CL
Etude de l'impact thermique des ballastièrres en eau sur les rivières dans le cas de communications directes - Exemple de la vallée de la Bresle (76 - 80)
CGTPFG, AFB Seine-Norm., DRIR Haute Norm., Rap. BRGM 84 SGN 032 HNO, 44 p., 6 fig., 1 an.
- (320) 1984 - GOUNON A.
Exploitation de sables et graviers dans le lit du Var - Commune de TOUET-sur-VAR (06) - ETUDE D'IMPACT
S.N.M.T.P. f rapport BRGM 84 AGI 090 PAC, 44 pages, 10 fig., 4 annexes
- (321) 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.

(322)* 1984 - LALLEMENT C., SIFRE C.

Etude écologique de trois sites de carrières abandonnées (commune de Chantenay sur Seine, Seine et Marne)
Rap., Un. de Paris sud Orsay, 66 p. + fig.

(323)** 1984 - MAIAUX C., LENTZ A., PILLOY J.C.

Réaménagement pilote de gravières avec des ordures ménagères dans la vallée de la Moselle à Pont à Mousson.
In Bull. Liaison Ponts Chauss., n°133, p. 33-47.

Présentation d'une expérience de remblaiement de deux fosses creusées dans les alluvions partiellement noyées du lit majeur de la Moselle : l'une des fosses est comblée d'ordures ménagères brutes, l'autre avec des blocs d'ordures ménagères comprimées enrobées de bitume (procédé japonais Tezuka). Après identification des paramètres hydrodynamiques des alluvions, puis mise en place des ordures, surveillance de la modification des caractéristiques physico-chimiques de la nappe pendant trente mois. Mise en évidence de la pollution importante et quasi immédiate de l'eau à l'aval des ordures brutes et d'une réduction progressive de cette pollution au cours du temps. Dans les deux cas, retour vers des valeurs de paramètres physicochimiques en cours, mais pas de possibilité d'affirmer la neutralisation complète et définitive de la source de pollution.

(324)* 1984 - PETITJEAN E., RAMON S.

Hydrocarbures et eaux souterraines. La lutte contre les pollutions accidentelles
A.F.B.R.M., monographié, janv. 1984

(325)* 1984 - POST E.

Dépollution d'une gravière en lagunage aéré avec moins de 2,5 W/m³.
L'Eau l'Industrie les nuisances.

(326)** 1984 - QUELENNEC R.E.

Impacts des extractions de granulats en rivière sur la morphologie des lits - possibilités d'intervention du B.R.G.M.
Rap. BRGM 84.AGI.046 EAU 8p. 3 fig.

(327)* 1984 - RENIER J., FROCHOT B.

Une mise en valeur écologique des sablières en eau - l'exemple de SAULE-GUILLAUME
Min. Env. (A.C.E.), Min. Ind. (C.G.T.P.F.G) Rap. Lab. d'Ecologie, Un. DI-

- (328)* 1984 - RISLER J.J.
Impact des gravières et de leur réaménagement sur les nappes phréatiques, application spécifique en plaine d'Alsace.
note complémentaire B.R.G.M. SGR Alsace et SGN. 3p.
- (329) 1984 - TAUCHNITZ J. & all
Dépot de déchets industriels. Rapport 29 : exemple de formation de thio-cyanate dans une décharge.
In Z. Angew. Geol., vol 30, n° 2, p. 105-107., en allemand.
- (330)* 1984 - TRAUB R.
Echanges entre eaux de surface et eaux souterraines. Expérimentation sur le terrain.
C.R., séminaire P.I.R.E.N-Strasbourg, juin 1982.
- (331)* 1985 - BALDIT R., GRANGE D., THOMACHOT M.
Evolution thermique des déchets et de la pollution des eaux souterraines sur le site d'Arnouville les Mantes.
In Bull. Liaison Lab. Ponts Chauss., n° 139, p. 99-111
- Evolution physico-chimique de la nappe contenue dans le sous-sol d'une décharge d'ordures ménagères fortement compactées, implantée dans une carrière de sable fin en cours d'exploitation. Résultats des mesures de température au sein des déchets et d'une analyse chimique sur les lixiviats. Modification du sens d'écoulement de la nappe due à l'exploitation. Mise en évidence d'anomalies hydrochimiques, dès le début du suivi, au point de prélèvement le plus proche des déchets, et progressivement sur les autres. Contamination de niveau faible, encore traitable avec les moyens existants pour rendre l'eau potable. Analyse des jus de décharge montrant que les lixiviats sont difficilement traitables par les moyens d'épuration aérobie naturelle. Grande stabilité de la température, aussi bien dans la masse des déchets que dans le temps (théa asymptotique equiv. $\approx (0)C$), cela indépendamment des variations de température extérieure.
- (332)*E 1985 - BARRAT J.M., CARION Ph.
Prévision de la qualité des eaux des gravières de la boucle de POSES - LE VAUDREUIL - Phase 1
E.P. Vaudreuil; BRGM, Synd. du Vaudreuil, S.M.C.£ Rap. BRGM 85.SGN.512 HNO, 22 p., 13 fig.
- (333)** 1985 - BARROIN G.
La dénitrification en milieu lentique.

- (334) 1985 - BILLARD G., TOUBIN J.
Projet d'implantation d'une gravière à Creches sur Saône (71). Examen de l'incidence sur des ouvrages de captage voisins d'une extraction avec rabattement de nappe.
Rap B.R.G.M. 85 SGN 272 BOU, 6p. 1 ca.
- (335)* 1985 - CAUDRON M., HOFER M.
Etude des possibilités de remise en état agricole à l'avancement d'une carrière remblayée en phase liquide avec des terres de sucrerie
DRIR Pic.-Champagne, Min. Ind.(C.G.T.P.F.G) & Rap. B.D.P.A. 84-046 29 p., 2 an. / B.R.G.M. 84.AGI.148 PIC, 21 p., 15 fig., 8 tab.
- (336)* 1985 - Collectif
Interactions des ressources en granulats et en eaux souterraines entre Moulins et le confluent avec la Loire (Bec d'Allier, dpts : Allier Cher Nièvre). Définition des zones d'exploitabilité des granulats et de la nappe alluviale.
Rap. C.E.T.E.L. & B.R.G.M. 85.AGI.007 AUV
- (337)** 1985 - Collectif universitaire
Evaluation des potentialités écologiques des sites de carrières après exploitation et modalités de leur restauration écologique
Op. CGTPFG 45 EG 88, Rap. col. cab. Sauveterre, Un. Aix-Mars. III, Tours, Bordeaux I, Rennes I, Paris-Sud, Besançon, 729 p., 214 pl.
- Etude écologique de 24 sites de carrières abandonnées comparables et représentatifs des exploitations françaises dans 6 régions différentes. La synthèse fait l'analyse de la reconquête biologique: climat, influence du milieu physique, influence du milieu naturel environnant, facteurs biologiques. Elle expose ensuite les critères qualitatifs et quantitatifs permettant de juger de l'intérêt écologique d'un site, pose les bases permettant de faire le choix de l'objectif. Elle donne enfin des conseils sur le choix des sites à réserver à un aménagement écologique, la gestion matérielle et écologique du site et la remise en état écologique des carrières en eau et des carrières sèches en roches massives.
- (338)* 1985 - DRAE PAYS DE LA LOIRE
Prise en compte des contraintes hydrobiologiques sur la politique d'extraction des granulats en Loire
C.R. des réunions du Gr. de tr., 3 notes annexées, Nantes, oct. déc. 1985

- (339)* 1985 - DUNETTE D.A., CHYNOWETH D.P.
The source of hydrogen sulfid in anoxic sediment.
In Water Research, vol. 19, n°7, p.875-884.
- (340)** 1985 - EBERENTZ P.
Impact thermique des ballastières sur les eaux superficielles et souterraines
Hydrogéologie n° 1/1985, pp.75-80, 2 fig.
- (341)* 1985 - FEUILLADE J.
Caractérisation et essais de restauration d'un écosystème dégradé. le lac de Nantua.
Monographie, hydrobiologie et aquaculture, I.N.R.A., publ. Paris.
- (342) 1985 - GARNIER JL.
NAPPE PHREATIQUE DU VAR - RISQUES DE POLLUTION
S.G.E-B.T.P. ESPACE CARROS (06)£ Note BRGM GA.85.35, 7 pages, 1 Fig.
- (343)** 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 £. 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 augmentations de concentration sembleraient se produire pour les nitrates et les sulfates mais : pour les sulfates une étude complémentaire est souhaitée afin d'infirmier ou de confirmer l'impact des gravières qui de toutes façons est faible ; pour les nitrates leur grande variabilité spaciale n'autorise à aucune conclusion.
- (344)* 1985 - HOUOT S.
Mise en évidence des principaux mécanismes de formation du colmatage par le fer des réseaux de drainage agricole en France.
Etude C.E.M.A.G.R.E.F., n°9, thèse Paris-Grignon.
- (345) 1985 - LAFITTE Ph., MAIAUX C., RICOUR J., RUQUOI D.
Résorption des nuisances engendrées par le 'Triangle de Carling' (Moselle)
in Hydrogéologie ,n° 2 ,1985,pp.133-141, 4 fig.

(346)* 1985 - LALLEMAND-BARRES A.

Colmatage-décolmatage. Etude documentaire.

Inst. mixte de recherche géoth. B.R.G.M.-A.F.M.E. 85.SGN.030 EAU

(347)** 1985 - LANET B.

Influence des extractions de granulats sur les macroinvertébrés du Doubs inférieur

CGTPFG, Un. DIJON et Op. TPFGE EG 118, D.E.A. Ecologie des eaux, Lab. écologie, Un. DIJON, 20 sept. 1985, 37 p., 19 an.

Les extractions en lit mineur modifient les biocénoses habitant la rivière selon deux processus: rejet de M.E.S. et modification du lit. L'augmentation des M.E.S., très sensible sur une centaine de mètres s'estompe et disparaît après 1 km env. sauf succession d'exploitations qui entraîne un effet cumulatif. La diminution de la transparence et les dépôts de fines sur les fonds empêchent notamment les migrations verticales de la faune benthique et perturbent la fraye de certains poissons entraînant l'affaiblissement, le remplacement ou la disparition d'espèces. Les modifications du lit sont plus dommageables car elles agissent à long terme. Dans le Doubs on observe surtout: l'ABAISSMENT du niveau de l'eau qui, par augmentation locale du courant et uniformisation générale du milieu réduit la capacité biogène, la DISPARITION des îlots et des plages s'accompagne de celle de leurs hôtes (oiseaux particulièrement), la CREATION de fosses profondes colmatées par les fines où la biocénose évolue vers un caractère lenthique avec disparition des espèces nobles.

(348) 1985 - MAUROUX B.

Impact de l'extension et du sur creusement de la gravière Neuhaeusel sur les remontées de nappe.

Travaux Public Roehrig et, rap. B.R.G.M. 85 SGN 430 ALS, 17 p. 8 fig.

(349)* 1985 - MOUTHON J., COSTE M.

Résultats des analyses physico-chimiques (septembre 1985), résultats des analyses de teneurs en pigments, résultats des pêches d'échantillonnages (observations provisoires)

? résultats provisoires d'études réalisées en Basse Loire à septembre 1985

On ne constate pas de variations très significatives des paramètres physico-chimiques entre l'amont et l'aval des extractions (M.E.S. en particulier). La turbidité engendrée par les M.E.S. à l'aval des extractions devient un facteur limitant de l'activité photosynthétique du phytoplancton, soulignant leur rôle néfaste. Les zones calmes créées par les extractions sont propices au développement d'espèces écologiquement moins exigeantes que sur celles qui prospèrent sur les radiers soumis à l'érosion régressive.

(350)* 1985 - PINAY G., LABROUE L.

Une station d'épuration naturelle des nitrates transportés par les nappes alluviales: l'aulnaie glutineuse.

Présenté par OZENDA P., Publication d'écologie générale, 4 p. + annexes.

Les aulnes constituent une espèce de choix pour la dénitrification naturelle des nappes. Une expérience menée dans la nappe de la Louge (affluent de la Garonne) met en évidence une décroissance rapide et importante d'amont en aval des teneurs en azote des eaux de la nappe alluviale, particulièrement dans les secteurs en anaérobiose (sous la zone de battement).

(351)** 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.

(352)* 1985 - SIONNEAU J.M.

LE REBOISEMENT DES CARRIERES. SITUATION ACTUELLE ET PERSPECTIVES
COMITE DE GESTION TAXE PARAFISCALE SUR LES GRANULATS 7 pages, 6 Fig., 3 Tabl.

(353)* 1985 - STREF P., VANCON J.P.

Zone graviérable de Cernay. Etude de l'incidence de l'ouverture des gravières.
Rap. B.R.G.M. 85.SGN.334 ALS, 16 p., 34 fig.

(354)** 1985 - TROLEZ L.

Incidences des extractions de granulats alluvionnaires dans le lit mineur des cours d'eau
Rés. synth. bib., Rap. CETE OUEST Div. Infrastr. et Env., Sec. Env., 8 p., Rennes aout-sep. 1985, in CR réu. Gr. Tr., Nantes, juillet 1985

(355)* 1986 - ARRIGNON J.

Potentialités halieutiques des étangs de fouille.
Comm. journée d'information du C.G.T.P.G, Strasbourg 24 juin.

(356)* 1986 - BOUCHERON & all.

Potentialités écologique des carrières

(357)** 1986 - DAMENDRAIL D.

Colmatage et effet filtre des berges lors de l'alimentation des nappes alluviales par les cours d'eau - Synthèse bibliographique
Rap. BRGM 86 SGN 371 EAU, 75 pages, 53 fig., 9 tab. 7 an.

Le colmatage résulte des matières en suspension, solides ou liquides, des matières dissoutes et des gaz. Particulièrement gênant au voisinage des captages souterrains, son étude précise demanderait des sites vierges qui restent à trouver. L'effet filtre dépend des phénomènes de sorption au moins en ce qui concerne les métaux lourds: le manteau de colmatage peut jouer le rôle de piège temporaire et relarguer les éléments 'filtrés' dans un premier temps. Cependant la matière organique et les colloïdes semblent être tout aussi capitales mais leur mode d'action reste mal connu. Des études approfondies pourraient permettre une meilleure compréhension de la rétention des polluants dans les aquifères et au niveau de la berge car les travaux menés jusqu'à présent n'ont pas permis d'identifier l'ensemble des processus géochimiques mis en jeu ni leur action. Enfin, on sera conduit à multiplier les expériences in situ car il semblerait que chaque cas soit unique, notamment en ce qui concerne la mobilité sélective des divers contaminants.

(358)** 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
£. 17 p. + annexes.

(359)** 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. £,
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.

(360)* 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.

(361)* 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.

(362)* 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.

(363)* 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.

(364)* 1986 - LAINE JM., LEPRISE P., RAULIN P., SEMETE F., SUTARIK P.
Les Carrières alluvionnaires - Les interactions avec l'eau et les possibilités de réaménagement
Mait. Sc. et Techn. Prot. et Gest. Env., Un. PARIS 7, 108 p.

Un bon réaménagement suppose un choix précoce, si possible au stade de l'étude d'impact, d'autant plus qu'en cas de retour au domaine privé après exploitation, il n'est juridiquement pas possible d'éviter l'abandon. Les collectivités locales apparaissent les mieux placées pour mener à bien la réhabilitation qui peut constituer une nouvelle richesse. Les plans d'eau de loisir ne sont pas les seuls réaménagements imaginables, mais l'eau restera le facteur déterminant. Son intégration dans une politique de gestion globale de l'espace placée sous la responsabilité des élus sera le gage d'un réaménagement réussi.

(365)* 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.

(366)** 1986 - RINCK G., RISLER J.J.
Connaissance de l'impact qualitatif des gravières en eau sur les nappes souterraines - compte-rendu d'avancement des travaux en Alsace - Octobre

1986

CGTPFG, Cons. Rég. Alsace, Min. Env. et Min. Ind. f Op EG 116 Note BRGM 86 SGAL 076, 21 pages, 4 fig., 4.pn.

On s'intéresse aux effets de deux gravières profondes, l'une en exploitation, l'autre abandonnée, sur la nappe de la plaine du Rhin, appréhendés grâce en particulier à un réseau de piézomètres. Le drainage amont et l'alimentation aval de la nappe par les gravières sont mis en évidence ainsi que leur effet capacitif lors des fluctuations rapides du niveau piézométrique. L'impact physico-chimique et bactériologique des deux gravières sur la nappe est très faible, l'eau des gravières demeurant de bonne qualité bactériologique avec présence de bactéries sulfato-réductrice et dénitrifiantes dans les couches superficielles d'eau. L'activité chlorophyllienne est généralement faible dans les gravières et son impact à l'aval dans la nappe très divers. L'impact est sensible jusqu'à 30m de profondeur à l'aval mais l'extension du panache n'est pas précisée.

(367) 1986 - RUHARD J.P.

Etude hydrogéologique préalable à l'exploitation de granulats dans le chenal de Saintonge de l'Estuaire de la Gironde.

Rap. B.R.G.M. 86 SGN 134 AQI, 16 p., 9 fig., 23 ann.

(368)* 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.

(369)* 1986 - VALLET P.

Etude sur modèle physique du colmatage mécanique d'un milieu poreux.

Mém. de D.E.A., U.L.P., Strasbourg, 110 p.

(370)* 1987 - BRGM - délég. taxe granulats

Catalogue des rapports d'opération (financées avec le concours de la Taxe parafiscale sur les granulats) - Edition 1986

Min. Ind., CGTPFG f Rap. BRGM, 275 p., Orléans

(371)** 1987 - EBERENTZ P.

Connaissance de l'impact qualitatif des gravières en eau sur les nappes souterraines - Travaux réalisés en Haute Normandie

TPFG, Cons. Rég. Alsace, Min. Env., Min. Ind. f Op. 52 EG 116 - Rap. BRGM 87.SGN.

(372)** 1987 - RINCK G., Col.

Connaissance de l'impact qualitatif des gravières en eau sur les nappes souterraines - Travaux réalisés en Alsace en 1985/86
TPFG, Cons. Rég. Alsace, Min. Env., Min. Ind. & Op. 52 EG 116 - Rap. BRGM 87.SGN.199 ALS, 67p., 15 tab., 28 fig., 6 an.

Les contrôles réalisés à proximité des gravières en eau fermées de la Wantzenau (Bas Rhin) en 1985/1986 et de 1977 à 1986 sur des points éloignés y compris les captages destinés à l'alimentation en eau potable, apportent la preuve que l'impact qualitatif des gravières sur la nappe en tant que trou profond de plusieurs dizaines de mètres au sein du puissant aquifère rhénan, est localisé et essentiellement hydrothermique. Les échanges nappe-gravière restent importants mais se localisent dans la tranche des 10 premiers mètres de nappe même pour une gravière en exploitation à 45m de profondeur. L'impact hydrochimique de la gravière s'estompe sur quelques dizaines de mètres à l'aval, mais les conséquences de l'effet macrodispersif et la très grande vulnérabilité de la nappe subsistent. Il est nécessaire de maintenir une zone de sécurité à l'aval des gravières et tout aménagement susceptible d'altérer la qualité des eaux des gravières doit être apprécié avec soin. Un état de référence en vue d'un suivi à long terme de l'évolution des eaux souterraines en aval des ballastières sera défini.

(373)** 1986 - UNPG

L'eau continentale et les carrières
UNPG, CR journée nationale du 4 décembre 1986, Col. Technique n° 5, 84 p.

Point des connaissances dans la plupart des domaines concernés, durant et après exploitation: législation, écologie aquatique, eaux superficielles et nappes souterraines, hydrochimie, hydrodynamique, hydrobiologie, techniques d'exploitation, remise en état et réaménagement. L'impact des carrières sur les eaux souterraines est généralement faible, parfois bénéfique, exceptionnellement mais toujours accidentellement néfaste. L'aspect parfois négatif de leur impact sur les eaux superficielles est en voie de diminution.

(374)** 1987 - EBERENTZ P. ET Col.

Impact qualitatif des carrières en eau sur les nappes souterraines - Synthèse des résultats acquis en Haute Normandie.
TPFG, Min. Ind., Min. Env., CG 27 & 76 & Rap. BRGM n° 87 SGN 499 HNO, 164 p., 33 fig., 5 an.

Des mesures poursuivies durant 18 mois sur 15 carrières en eau peu profondes et les nappes adjacentes montrent que l'impact qualitatif des ballastières sur les eaux souterraines est peu important. Il ne concerne l'aval hydraulique sur une faible distance (250m maximum): diminution des bicarbonates, du calcium, introduction de M.E.S. et d'éléments associés Fe et Mn, diminution des teneurs en nitrates accompagnée parfois (19% des cas) d'une croissance de NH₄⁺, modification de la température. Dans le cas où l'on désire néanmoins diminuer cet impact, des recommandations pour l'exploitation sont formulées.

(375)** 1987 - EBERENTZ P., RINCK G.

Impact qualitatif des carrières en eau sur les nappes souterraines - Rapport de synthèse
TPFG, Min. Ind., Min. Env., CG 27 & 76, CR d'Alsace & Rap. BRGM n° 87 SGN 567 HNO-ALS, 25 p., 7 fig., 2 an.

L'eau des gravières se différencie de la nappe qui lui a donné naissance par: 1- régression de sa minéralisation 2- augmentation des M.E.S. dans les carrières peu profondes 3- mélanges avec la matière organique. L'impact des gravières sur l'eau de la nappe résulte de trois processus: 1- pénétration en nappe des eaux de gravière, 2- modification des caractéristiques de la roche réservoir en aval hydraulique immédiat, 3- dilution des eaux en provenance de la gravière avec celle

de la nappe. Au total, l'impact qualitatif des gravières en eau (non remblayées) sur les nappes est peu développé. La température est le marqueur le plus performant pour définir en nappe sa zone d'influence qui n'a jamais été trouvée supérieure à 250m. La remise en état des carrières doit tenir compte des conditions locales d'exploitation (ex : profondeur du plan d'eau) et des conditions de circulation de la nappe en aval hydraulique (ex : présence d'une barrière hydraulique) et l'on sera conduit selon les cas soit à favoriser les échanges, soit à les limiter (ex : colmatage).