

ECOLE NATIONALE DES INGENIEURS  
DES TRAVAUX RURAUX  
ET DES TECHNIQUES SANITAIRES  
DE STRASBOURG

UNIVERSITE LOUIS PASTEUR  
INSTITUT DE MECANIQUE DES FLUIDES  
DE STRASBOURG

MEMOIRE DE D.E.A. DE MECANIQUE  
Option "Science et Techniques de l'Eau"



n° 11284

présenté par

Christine SINOQUET

QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE GRAVIERE  
ET IMPACT SUR LE MILIEU ENVIRONNANT  
Analyse globale et approche particulière

STRASBOURG 1985

## Résumé

Les carrières fournissent en matériaux les principaux secteurs de notre économie. Leur présence modifie le milieu où elles sont ouvertes. Elles sont donc soumises à un contrôle administratif lors des phases de création, d'aménagement et d'exploitation. Le réaménagement éventuel d'une gravière vise à intégrer au mieux cette dernière dans son milieu environnant.

Dans le cas précis d'une gravière en eau, l'intérêt est centré sur la nappe phréatique environnante. Milieu artificiellement créé, l'étang entretient des échanges hydrauliques, thermiques et chimiques avec l'aquifère.

- Une gravière en eau perturbe l'écoulement des eaux souterraines. Non colmatée, elle induit une élévation du niveau de la nappe à l'aval et un abaissement à l'amont. Un étang colmaté constitue au contraire un obstacle hydraulique (Inondations éventuelles en amont.). Colmatage, plus ou moins grande pénétration de la gravière dans l'aquifère et aptitude de l'eau à circuler dans les directions horizontale et verticale sont trois des facteurs principaux jouant sur les échanges entre nappe et gravière. De plus, la forme et les dimensions de l'étang sont également à prendre en compte.

La modélisation mathématique autorise le calcul des débits d'échange nappe-gravière compte tenu des divers facteurs précédemment évoqués.

Elle représente en outre l'outil fondamental pour l'étude du système complexe nappe-gravière-rivière.

- La profondeur d'un étang détermine la nature de l'impact thermique de ce dernier sur son milieu hydraulique environnant. Schématiquement, une gravière superficielle réchauffe les eaux souterraines en été, porte éventuellement les eaux d'une rivière voisine à leur maximum de température à la fin de l'été, et refroidit la nappe en hiver. Au contraire, certains étangs profonds, où règne une stratification thermique, peuvent rafraîchir les eaux souterraines en été.

- L'étude de l'impact hydrochimique d'une gravière sur son milieu environnant est ensuite abordée.

- Elle comporte une approche préalable de l'évolution hydrochimique d'une gravière:

La minéralisation des eaux d'un étang dépend du milieu extérieur: nappe phréatique, bassin versant (ruissellement), atmosphère (pluies). L'excès des nutriments Azote et Phosphore engage le processus irréversible de l'eutrophisation.

Une observation hydrochimique du bassin Sud de la gravière abandonnée (depuis 25 ans) de La Wantzenau (Nord de Strasbourg) a été menée de Février 1985 à Mai 1985. La mise en place d'un réseau de 16 points de prélèvement situés sur le périmètre de l'étang permet:

- le suivi des évolutions temporelles des concentrations chimiques des divers éléments dosés,
- la détection d'éventuelles hétérogénéités, dont l'origine serait liée à la variation spatiale de l'intensité des échanges avec la nappe.

Il ne peut être question de conclure de manière affirmative sur une période d'observation réduite à quelques mois, ni d'envisager une interprétation fine. Néanmoins, la concentration en chlorures et la température sont deux paramètres permettant de localiser les zones d'échan-

-ges plus ou moins intenses avec la nappe, en concordance avec les résultats issus de travaux complémentaires (thermographie aérienne infra-rouge).

- Le cadre de l'étude est ensuite élargi au système nappe-gravière:

Une dilution des eaux souterraines est généralement constatée à l'aval immédiat d'un étang. Cette remarque demeure vraie dans le cas d'une contamination uniforme de la gravière.

Un second schéma de contamination d'un étang peut être envisagé: le déversement ponctuel d'un fluide polluant, qui se traduit par le développement d'un panache polluant à l'aval du bassin. Selon la masse volumique de la substance polluante, la contamination affectera les zones superficielles ou profondes de l'aquifère.

Une solution consiste en le colmatage artificiel d'une gravière, dans le cas où celle-ci constitue une source de pollution chimique - ou thermique - pour l'aval.

Une attitude responsable face à la richesse que représente un aquifère commande de dépasser le stade des constats et d'entreprendre des études systématiques. La gravière de La Wantzenau devrait être équipée dans ce but en Automne 1985.

# SOMMAIRE

Liste des principaux sigles employés

PRELIMINAIRES

**INTRODUCTION :**

**LA GRAVIERE EN EAU, UNE DISCONTINUITÉ DANS SON MILIEU ENVIRONNANT** **1**

## **I – CONTEXTE ADMINISTRATIF ET LEGISLATIF DE L'EXPLOITATION ET DU REAMENAGEMENT DES CARRIERES**

1.1. DEFINITION D'UNE CARRIERE	3
1.2. LA DEMANDE D'OUVERTURE D'UNE CARRIERE	3
1.2.1. Les diverses procédures envisageables	3
1.2.2. Le suivi administratif du dossier de demande d'ouverture	4
1.2.3. Le contenu du dossier de demande d'ouverture	4
1.2.4. L'engagement de remise en état des sols	4
1.2.5. La décision prise après examen du dossier	5
1.2.6. Les sanctions	6
1.3. LA RECHERCHE D'UNE POLITIQUE REGIONALE D'EXPLOITATION DES CARRIERES	6
1.4. LA TAXE PARAFISCALE SUR LES GRANULATS ET LE REAMENAGEMENT DES CARRIERES	6
1.4.1. La taxe parafiscale sur les granulats	6
1.4.2. Les divers types de réaménagements envisageables pour une gravière en eau	7

## **II – IMPACT HYDRONYMIQUE D'UNE GRAVIERE (EN EAU) SUR LES EAUX DU MILIEU ENVIRONNANT**

2.1. DEFINITION DU SYSTEME HYDRAULIQUE CONCERNE	9
2.2. PERTURBATION DE L'ECOULEMENT DES EAUX SOUTERRAINES	9
2.2.1. Les divers paramètres entrant en jeu	9
2.2.2. Perturbations dans le plan vertical	10
2.2.2.1. Incidence du colmatage de la gravière	11
2.2.2.2. Incidence du gradient hydraulique et de la géométrie de la gravière	13
2.2.2.3. Incidence du coefficient de pénétration de la gravière dans l'aquifère	13
2.2.2.4. Influence de la proximité des gravières	14
2.2.3. Perturbations dans le plan horizontal	15
2.2.4. Quantification des phénomènes hydrodynamiques	16
2.2.4.1. Evaluation des débits d'échange nappe-gravière	16
2.2.4.1.1. Cas d'un écoulement unidimensionnel	16
2.2.4.1.2. Influence de l'anisotropie et du colmatage	18
2.2.4.1.3. Influence des dimensions et de la forme de la gravière	19
2.2.4.1.4. Influence du mode d'exploitation de la gravière	21
2.2.4.1.5. Influence de la dispersion des gravières	21
2.2.4.2. Estimation de la baisse ou de l'élévation du niveau de la nappe phréatique	21
2.2.4.3. Rayons d'action des battements de la nappe phréatique	23
2.2.5. Conclusion	24
2.3. INTERACTIONS HYDRODYNAMIQUES AU SEIN DU SYSTEME NAPPE-GRAVIERE-RIVIERE	25
2.3.1. Influence de la présence d'une rivière à laquelle est connectée la gravière	25
2.3.2. Examen de l'influence de la géométrie du système nappe-gravière-rivière sur le régime hydraulique (cas des gravières superficielles)	27
2.3.3. Conclusion	29

**III – IMPACT THERMIQUE D'UNE GRAVIERE (EN EAU) SUR LES EAUX DU MILIEU ENVIRONNANT**

3.1. EVOLUTION PROPRE DE LA TEMPERATURE AU SEIN D'UNE GRAVIERE	31
3.1.1. Facteurs contrôlant l'évolution propre de la température au sein d'une gravière	31
3.1.1.1. Le climat	32
3.1.1.2. Les dimensions spatiales de la gravière	32
3.1.1.3. Le vent	33
3.1.1.4. Le colmatage	33
3.1.2. Détermination de l'évolution de la température des eaux d'une gravière	34
3.2. RAPPELS SUR LA PROPAGATION DE LA CHALEUR	35
3.3. IMPACT THERMIQUE D'UNE GRAVIERE SUR LES EAUX SOUTERRAINES	35
3.3.1. Temps de percée thermique	36
3.3.2. Cas des gravières superficielles	37
3.3.3. Cas des gravières profondes	38
3.4. IMPACT THERMIQUE D'UNE GRAVIERE SUR LES EAUX SUPERFICIELLES	39
3.4.1. Enseignements tirés de la notion de temps de percée thermique	39
3.4.2. Quantification de la régulation thermique d'une rivière par une gravière superficielle	40
3.5. MECANISMES DE DEGRADATION DE LA QUALITE DES EAUX PAR UNE POLLUTION THERMIQUE	43
3.5.1. Action de la température sur la solubilité des gaz dans l'eau	43
3.5.2. Action de la température sur la solubilité des substances organiques et minérales dans l'eau	44
3.5.3. Action de la température sur le pH d'une eau	44
3.5.4. Action de la température sur le potentiel rédox d'une eau	45
3.6. CONCLUSION	45

**IV – ANALYSE GLOBALE DES DIVERS FACTEURS CONJUGANT LEURS INFLUENCES RESPECTIVES SUR L'EVOLUTION HYDROCHIMIQUE DE LA GRAVIERE**

4.1. INFLUENCE DE L'ENVIRONNEMENT GEOLOGIQUE DE LA GRAVIERE	46
4.2. INCIDENCE DE L'EMPLACEMENT A L'AVANT D'UNE SOURCE DE POLLUTION	47
4.3. INFLUENCE DES ECHANGES ATMOSPHERIQUES	48
4.4. INFLUENCE DES VARIATIONS SAISONNIERES DES FACTEURS TROPHIQUES NOTION DE MECANISME DE L'EUTROPHISATION	48
4.4.1. Le fonctionnement d'un écosystème équilibré	48
4.4.1.1. Les relations entre les divers éléments de l'écosystème	48
4.4.1.2. Localisation des diverses phases de transformation de la matière au sein de l'écosystème limnique	50
4.4.1.3. Le devenir des principaux éléments chimiques et leur évolution saisonnière au sein d'un écosystème limnique	51
4.4.1.3.1. Le devenir des principaux éléments chimiques	52
4.4.1.3.2. L'évolution saisonnière des principaux éléments chimiques	54

4.4.2. L'eutrophisation	56
4.4.2.1. Définition de l'eutrophisation : Oxygène et nutrition	56
4.4.2.2. Origine du phénomène	56
4.4.2.3. Manifestations de l'eutrophisation	57
4.5. CONCLUSION	58
<b>V - APPROCHE PARTICULIERE DE L'HYDROCHIMIE AU VOISINAGE DES BERGES DE LA GRAVIERE DE LA WANTZENAU (Bas-Rhin)</b>	
5.1. OBJECTIFS DE L'ETUDE DE TERRAIN ENVISAGEE	59
5.2. MISE EN PLACE DU DISPOSITIF DE MESURES	59
5.2.1. Justification du choix de la gravière	59
5.2.2. Présentation de la gravière	60
5.2.2.1. Le contexte alluvionnaire rhénan	60
5.2.2.2. Hydrogéologie	62
5.2.2.3. La gravière Weigel-Roth de La Wantzenau	63
5.2.3. Réalisation des analyses physico-chimiques	64
5.2.3.1. Justification du choix des paramètres retenus	64
5.2.3.2. Justification du choix des points de prélèvements retenus	65
5.2.3.3. Choix de la fréquence des prélèvements	65
5.2.3.4. Moyens techniques utilisés	66
5.3. LES RESULTATS OBTENUS	66
5.4. INTERPRETATION DES RESULTATS	67
5.4.1. Les variations temporelles	68
5.4.1.1. Les paramètres liés aux variations saisonnières	68
5.4.1.2. La cohérence des variations temporelles de la température, du pH et de la concentration en ions Calcium	69
5.4.1.3. L'interprétation des anomalies observées dans les variations temporelles	70
5.4.2. Les variations spatiales	74
5.4.2.1. Les enseignements tirés du paramètre de température	74
5.4.2.2. Les enseignements tirés de l'étude hydrochimique	75
5.4.2.3. Les travaux complémentaires	76
5.5. CONCLUSION	76
<b>VI - IMPACT CHIMIQUE D'UNE GRAVIERE (EN EAU) SUR LES EAUX DU MILIEU ENVIRONNANT</b>	
6.1. EVOLUTION QUALITATIVE DU SYSTEME GRAVIERE-NAPPE PHREATIQUE	77
6.1.1. Les substances minérales	78
6.1.2. Les substances organiques	80
6.1.3. Conclusion	80
6.2. RAPPELS SUR LA THEORIE DE LA PROPAGATION D'UN TRACEUR CHIMIQUE	81

6.3. APPROCHE DESCRIPTIVE QUALITATIVE DE LA PROPAGATION AU SEIN D'UN AQUIFERE D'UN FLUX POLLUANT ISSU D'UNE GRAVIERE	83
6.3.1. Contamination uniforme des eaux de la gravière	83
6.3.2. Déversement d'un fluide polluant en un point précis de l'étang	84
6.3.2.1. Milieu poreux isotrope	84
6.3.2.1.1. Milieu poreux isotrope sans colmatage	84
6.3.2.1.2. Milieu poreux isotrope avec colmatage	87
6.3.2.2. Milieu poreux stratifié (sans colmatage)	88
6.3.3. Conclusion	89
6.4. CONSEQUENCES : ORIENTATIONS A SUIVRE EN MATIERE DE REAMENAGEMENT DE GRAVIERES EN PLANS D'EAU	91
CONCLUSION GENERALE	93
LISTE BIBLIOGRAPHIQUE	
ANNEXES	

## INTRODUCTION :

### LA GRAVIERE EN EAU : UNE DISCONTINUITÉ DANS SON MILIEU ENVIRONNANT

Les carrières sont l'objet de deux préoccupations essentielles :

- . le souci économique de l'approvisionnement en matériau destiné à l'industrie du Bâtiment et aux entreprises de Travaux Publics, d'une part ;
- . le souhait légitime de préserver le cadre de vie de l'homme, d'autre part.

Dans le cas particulier de l'exploitation d'une gravière en eau, les aspects d'ordre économique et ceux qui ont trait à la protection de l'environnement revêtent en outre d'autres facettes.

Le réservoir d'eau que constitue un aquifère, enlarmé par une ou plusieurs gravières, est généralement exploité dans le but de répondre aux besoins en eau des secteurs industriel et agricole, mais avant tout dans celui d'assurer l'alimentation en eau potable des usagers domestiques. L'exploitation d'une gravière, puis l'existence du plan d'eau ainsi obtenu sont susceptibles de perturber ces fonctions économiques de l'aquifère, pour les différents motifs que nous examinerons.

Par ailleurs, qu'il soit ensuite abandonné ou réaménagé, l'étang ouvert constitue un milieu aquatique, support du développement d'une vie floristique et faunistique intense. Un nouveau système écologique est créé artificiellement. Il peut être équilibré ou non.

En conséquence, les divers Services Départementaux, Régionaux ou d'Etat, et les Etablissements Publics de Région intéressés au premier chef par le problème de l'impact (hydrodynamique, thermique, hydrochimique) d'une gravière en eau sur son milieu hydraulique environnant, sont les suivants :



- Les Directions Régionales de l'Industrie et de la Recherche, responsables de la gestion des ressources minières ;
- le Bureau de Recherches Géologiques et Minières, responsable de la collecte des données sous-sol ;
- les Agences Financières de Bassin, les Services Régionaux d'Aménagement des Eaux, gestionnaires des nappes souterraines ;
- les Directions Départementales de l'Agriculture et de la Forêt d'une part, de l'Equipement d'autre part, consultées sur l'affectation des fonctions attribuées aux terrains constituant le patrimoine foncier .

Une attitude responsable devant les richesses de notre patrimoine (gisements, nappe, nature) implique l'existence d'un dialogue entre les services précédemment cités et les exploitants de granulats. La présente étude s'inscrit dans ce cadre d'approfondissement des connaissances relatives aux gravières en eau. A cet effet, deux travaux - complémentaires - ont été menés :

- le premier procède d'une recherche bibliographique, comportant notamment des interrogations de banques de données (R E S A G R I ( Ministère de l'Agriculture), E C O T H E K (Ministère de l'Environnement), GEODE-PASCAL 73 (Ministère de l'Equipement)). Son objectif consiste en l'analyse des divers impacts d'une gravière en eau sur son milieu hydraulique environnant ;
- deuxièmement, l'hydrochimie d'une gravière en eau située au Nord de Strasbourg, a été suivie régulièrement. Les informations que ce travail de terrain ont apportées s'insèrent logiquement dans le cadre plus vaste de la synthèse évoquée précédemment.

Mais il convient tout d'abord de préciser les modalités d'ouverture d'une carrière ainsi que les divers types de réaménagements envisageables - pour une gravière en eau - après exploitation.

## CONCLUSION GENERALE

Le présent document a vocation de synthèse des effets d'une gravière sur son milieu hydraulique environnant : il met à profit les enseignements tirés d'observations partielles mais aussi d'études systématiques centrées sur les gravières en eau.

Ce mémoire se veut outil de réflexion utilisable par les exploitants de carrières, les gestionnaires de la ressource EAU, et les responsables administratifs entre autres.

Le suivi de novembre 1984 à mai 1985 de la gravière de la Wantzenau a constitué une première phase d'approche de l'hydrochimie de ce milieu particulier. La confrontation des résultats de cette observation avec ceux des travaux menés en parallèle, et axés sur les échanges hydrauliques et thermiques entre nappe et gravière a abouti à la proposition d'une sectorisation des zones d'échanges privilégiées.

La poursuite de cette étude est souhaitable pour les raisons suivantes :

- la collecte de données sur une période intégrant un cycle annuel d'observations s'avère nécessaire à une interprétation plus fine des résultats, si cette dernière est possible ;
- l'extension du suivi hydrochimique à la gravière Nord, en phase actuelle d'exploitation, est envisagée. La comparaison établie entre gravières Sud et Nord permettra d'apprécier le rôle du colmatage.

- en outre, un projet d'extension du réseau d'observation, comportant notamment le forage de piézomètres profonds (30 m <math>< 35\text{ m}</math>) en amont et en aval des bassins Nord et Sud de La Wantzenau vient d'être accepté (mai 1985). Financé conjointement par la Taxe Parafiscale sur les granulats et la Région Alsace, il permettrait de donner une nouvelle dimension au travail de recherche entrepris.