

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 92 (1974)
Heft: 22: SIA-Heft, Nr. 5/1974: Zur "pro aqua - pro vita" in Basel

Artikel: Gravières et eau souterraine: un problème crucial, une gestion commune indispensable
Autor: Wagner, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-72382>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 03.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

SIA-Heft Nr. 5, 1974

Zur «pro aqua - pro vita» in Basel

Gravières et eau souterraine

Un problème crucial, une gestion commune indispensable

Par A. Wagner, Berne

DK 551.49

Les problèmes qui se posent à l'exploitation des gravières et à leur réaffectation sont nombreux et variés. Ils sont d'ordres légaux, économiques et physiques. La demande croissante en sables et graviers a provoqué l'ouverture de nombreuses nouvelles gravières et la multiplication par deux de la consommation de ces matériaux ces dix dernières années atteste de la magnitude de ce développement.

La pression de la demande a favorisé des abus de tous genres, parfois, hélas tacitement admis par les autorités: ouverture de gravières dans les nappes souterraines exploitées ou exploitables, dépôt de gadoues et de déchets polluants dans d'anciennes gravières creusées dans des terrains aquifères, pollution des nappes souterraines par des hydrocarbures, etc. D'autre part, la multiplication des gravières et sablières a contribué au développement d'autres nuisances telles que le bruit, les poussières, et a provoqué un accroissement localement important du trafic routier.

A un moment où l'espace se restreint, le volume des déchets augmente, notre milieu naturel se détériore et nos ressources telles que l'eau diminuent dangereusement, la réaffectation judicieuse des anciennes gravières peut jouer un rôle positif dans le sens d'un allègement du poids toujours plus lourd que créent ces problèmes vitaux. Un comblement correct peut grandement contribuer à la reconquête sylvicole, agricole ou

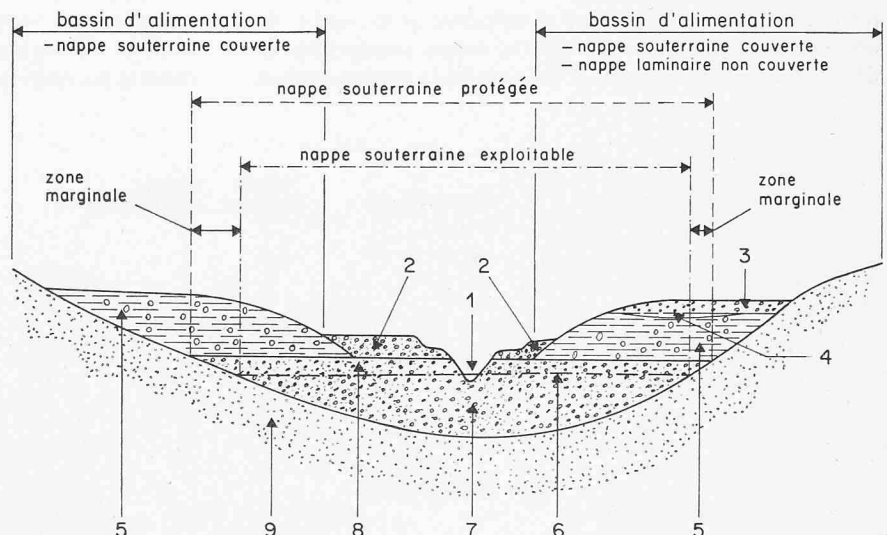
urbaine effective d'un espace mort; un réaménagement en bassin d'infiltration pour enrichir une nappe souterraine peut considérablement contribuer à améliorer nos réserves en eau potable et ceci intéresse de nombreux secteurs de la vie publique et économique; la transformation d'une ancienne gravière en étang ou en lac de plaisance peut être une aide appréciable à la protection de nos richesses naturelles et à l'amélioration de la qualité de vie, et ceci intéresse un public toujours plus concerné, les sociétés de protection de la nature et les organismes gouvernementaux. L'aménagement d'anciennes gravières en décharges, qui ne peut s'opérer que sous certaines conditions bien spécifiques, peut apporter un soulagement au problème toujours plus difficile du stockage des déchets avant que des solutions plus radicales, telles que le recyclage et la récupération, ne soient mis en œuvre.

Définitions

Les eaux souterraines sont les eaux qui remplissent les interstices du sous-sol. Elles peuvent résider dans les fissures des roches compactes telles que les calcaires ou dans les pores des dépôts meubles tels que les graviers et les sables qui constituent une bonne partie des dépôts glaciaires et alluviaux anciens ou actuels de notre pays. Les eaux potables

Fig. 1. Coupe schématique d'un bassin d'eau souterraine dans le fond d'une vallée

- 1 Cours d'eau
- 2 Gravieres d'alluvions récentes; nappe souterraine non-couverte
- 3 Gravieres
- 4 Nappe laminaire
- 5 Moraine argileuse imperméable
- 6 Niveau de la nappe souterraine
- 7 Gravieres d'alluvions anciennes
- 8 Gravieres d'alluvions anciennes, couche aquifère
- 9 Terrain imperméable (molasse)



exploitées en Suisse proviennent en grande partie des nappes aquifères de ces terrains meubles qui remplissent le fonds des vallées. On désigne ces terrains meubles et perméables, dans lesquels s'infiltrent les eaux de ruissellement et de précipitation pour gagner la nappe souterraine, sous le terme de couche aquifère. Cette couche aquifère possède un grand pouvoir épurateur surtout en ce qui concerne les matières organiques, et pour cette raison les eaux souterraines des nappes principales sont potables et protégées. L'ensemble d'une zone d'où s'infiltrent les eaux de ruissellement et de précipitation dans une nappe souterraine à partir des versants d'une vallée est désigné sous le terme de bassin hydrologique ou bassin d'alimentation (voir fig. 1). La nappe souterraine est comprise dans toute la largeur d'une vallée. Comme le niveau de cette nappe est variable, seule sa partie centrale peut être exploitée en permanence, les zones extérieures marginales ne sont en général pas exploitées précisément à cause de la variabilité du niveau de la nappe. La couche aquifère repose sur un fond quasi imperméable; dans notre pays, le fond des terrains meubles du plateau est généralement constitué de molasse. La couche aquifère peut comprendre des lambeaux ou des couches argileuses imperméables plus ou moins continues. Lorsque ces couches imperméables recouvrent la couche aquifère, on les désigne sous le terme de couches imperméables de couverture. Ces couches imperméables protègent la nappe de toute source de pollution.

Les graviers et les sables sont souvent exploités dans les parties marginales et centrale d'une couche aquifère. La pollution des nappes souterraines par une exploitation mal comprise et une réaffectation inadéquate des gravières provient précisément du fait que les graviers sont exploités dans des couches aquifères démunies de couverture de protection efficace contre les eaux polluées de surface, les hydrocarbures et autres agents pollueurs.

Exemples de pollution des nappes souterraines

Les types les plus fréquents de pollution des nappes souterraines sont les pollutions chimiques, les pollutions biologiques et organiques et la pollution par les hydrocarbures.

Les pollutions chimiques

Les eaux industrielles et agricoles ainsi que le «jus» des décharges publiques peuvent, lorsqu'elles s'infiltrent jusqu'à la nappe souterraine, provoquer l'enrichissement de cette dernière en nitrates, sulfates et autres sels de tous genres.

Une pollution particulièrement pernicieuse pour la qualité de l'eau peut être provoquée par la présence de plâtras de démolition dans une gravière désaffectée; si le «jus» de la décharge peut s'infiltrer jusqu'à la nappe souterraine, cette dernière devient séléniteuse et impropre à la consommation.

Les pollutions biologiques

Un fort apport de bactéries pathogènes dans une nappe peut provenir d'eaux d'infiltration résiduaires humaines ou bien encore d'infiltration dans la nappe à partir de rivières polluées.

Cependant, si la couche aquifère est bien aérée, comme c'est le cas dans des conditions normales, ces bactéries pathogènes seront détruites grâce au pouvoir auto-épurateur de la couche aquifère.

La pollution par les hydrocarbures

Les vidanges d'huile de moteur sur des terrains aquifères dans lesquels sont excavées bon nombre de gravières, la fuite accidentelle d'hydrocarbures à partir de canalisations, pipelines, citernes, peut causer une pollution dangereuse car les hydrocarbures contiennent des substances cancérigènes à effet cumulatif; l'odeur qu'ils dégagent rend d'ailleurs les eaux qu'ils ont contaminées impropres à la consommation.

Il se forme des poches d'hydrocarbures au-dessus de la nappe à cause, d'une part de leur densité plus faible que celle de l'eau et d'autre part à cause de leur forte tension superficielle (formation de pellicule très adhésive d'hydrocarbures autour des éléments de la couche aquifère). Les poches d'hydrocarbures restent suspendues au dessus du niveau de la nappe, notamment lors de ses baisses saisonnières; cependant ils peuvent reprendre leur cheminement lors de la remontée suivante.

L'élimination des produits pétroliers est problématique et leur destruction par les microorganismes de la couche aquifère et par leur dilution progressive dans les eaux souterraines demandent un temps très long.

Les pollutions organiques

Les pollutions organiques peuvent être provoquées par infiltration d'eaux usées (fuites de fosses septiques, de canalisations, égoûts), d'eaux résiduaires agricoles (purinage, fromageries, porcheries, ensilage vert), industrielles (industries alimentaires diverses), infiltration dans la nappes d'eau de rivières polluées ou des eaux contaminées des décharges publiques. La matière organique présente dans les eaux souterraines sous forme dissoute, colloïdale ou sous forme de particules fait une importante consommation en oxygène (Demande Biologique en Oxygène, DBO) et favorise ainsi le développement de bactéries anaérobies. Ces bactéries participent à la formation de combinaisons chimiques nuisibles (hydrogène sulfuré et carbonate ferreux) qui rendent l'eau impropre à la consommation.

Le carbonate ferreux soluble est responsable d'une pollution très sérieuse en favorisant le développement d'un type de bactéries, les zooglées, qui secrètent des substances gélatineuses. Ces substances colmatent les terrains aquifères et rendent les puits de pompage inutilisables.

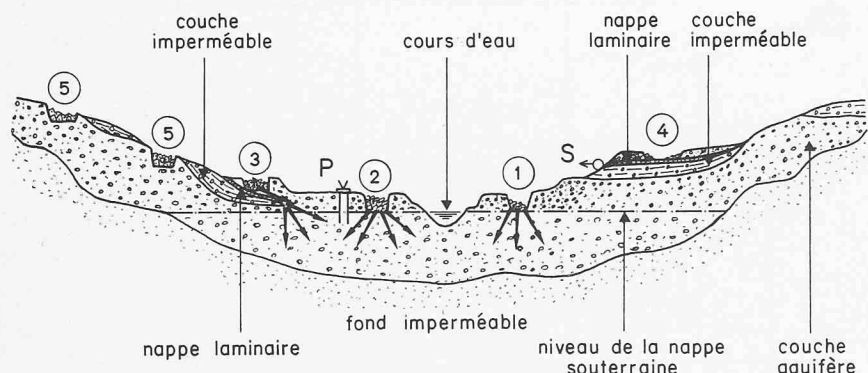


Fig. 2. Cas de pollution de la nappe aquifère par une exploitation et un comblement inadéquat de gravières (voir légende dans le texte)

Les conditions qui engendrent le colmatage des terrains aquifères par l'action des zoogées se trouvent réunies dans les décharges publiques dans lesquelles se trouvent associés du fer et des matières organiques.

La figure 2 montre sous quelles conditions et dans quelles circonstances l'exploitation irrationnelle des gravières ainsi que leur comblement inadéquat peuvent compromettre la qualité de l'eau d'une nappe souterraine:

1. Le fond de la gravière est proche du niveau de la nappe souterraine. On y opère des vidanges de véhicules et de machines; des déchets de tous genres, notamment de la ferraille et des déchets organiques sont entreposés dans les secteurs désaffectés de la gravière. Dans ce cas une pollution par les hydrocarbures d'une part et d'autre part une très sérieuse pollution organique, notamment par l'action des zoogées, peut rapidement apparaître.

2. Le fond de la gravière correspond au niveau de la nappe souterraine et la gravière, qui est désaffectée, est utilisée comme décharge publique. La pollution de la nappe par les zoogées rend le puit P inutilisable.

3. Des hydrocarbures se sont infiltrés dans la couche aquifère durant l'exploitation de la gravière; de plus après l'exploitation, cette gravière a été aménagée comme lieu de décharge de déblais de démolition. On pensait que cette décharge serait sans danger pour la nappe principale, car le fond de la gravière repose sur une couche argileuse que surmonte une nappe laminaire (nappe de faible importance). Malheureusement cette couche argileuse est discontinue et la nappe principale est polluée par les hydrocarbures.

Les déblais de démolition qui sont riches en plâtras et en fer à béton ont contaminé les eaux d'infiltration qui sont devenues séléniteuses (plâtres) et riches en carbonate ferreux polluant ainsi la nappe laminaire puis la nappe principale.

4. Même cas que 3. à la différence près que la couche argileuse est continue sur une grande surface. La nappe laminaire est polluée et on ne peut plus exploiter les sources au point S. Cependant, grâce à la continuité de la couche argileuse la nappe principale n'est pas contaminée.

5. La gravière a été polluée par des hydrocarbures pendant l'exploitation. Elle a été ensuite comblée par des déblais de démolition et les eaux d'infiltration sont contaminées comme dans les cas 3. et 4. Cependant le fond de la gravière est situé bien au-dessus de la nappe souterraine, et le pouvoir épurateur des graviers et sables peut protéger cette dernière, du moins pendant un certain laps de temps.

Ces cinq cas résument ce qui peut se produire pendant et après l'exploitation des gravières lorsque, par suite d'une connaissance insuffisante des conditions géologiques et hydrogéologiques et des phénomènes de pollution, on contamine les nappes souterraines. De nombreux abus ont pu être commis encore récemment parce que l'on n'avait pas encore pris conscience des problèmes toujours plus sérieux que pose la diminution de nos ressources en eau potable.

La réaffectation des gravières

Remblayage

Le remblayage des gravières, leur réinsertion dans le paysage et leur remise en valeur (sylvicole, agricole ou urbaine) sont habituellement prévus dans le cadre de la procédure d'autorisation d'exploiter, qui relève de l'autorité cantonale. Le remblayage, qui est le type de réaffectation classique, doit même faire l'objet d'une sanction préalable avant que l'autorisation définitive d'exploiter ne soit accordée.

Doivent faire l'objet d'études obligatoires: la topographie future des lieux, la nature du remblayage et la disposition de la couverture de terre végétale (qui doit être d'au

moins 50 centimètres et doit être mise en réserve selon un procédé précisé par les directives [2]).

Remblayage des gravières situées au-dessus d'une nappe principale

– Remblayage par des déblais de terrassement et boues de décantation

Ce type de remblayage ne pose pas de problème de pollution de la nappe souterraine du moins en ce qui concerne les déblais de terrassement. La nature imperméable des déblais d'excavation et des boues de décantation empêche cependant une alimentation naturelle de la nappe souterraine par les eaux d'infiltration dans le secteur de l'exploitation. Il peut en résulter certaines conséquences, en général minimes, sur le débit de la nappe et l'alimentation de captage d'eaux situés dans les alentours de la gravière.

Cependant le danger existe de colmater la couche aquifère perméable par les boues de décantation chargées d'eau qui s'y infiltrent aisément. C'est pourquoi on ne pourra effectuer de remblayage avec ces dernières qu'après les avoir préalablement déshydratées dans des bacs isolés de la couche aquifère.

– Remblayage par des déblais de démolition

Le matériau de remblayage composé d'éléments généralement grossiers est incapable de filtrer les eaux de surface, ce qui peut provoquer une contamination de la nappe par des agents agricoles, chimiques ou organiques, ou par des eaux usées. On peut parer à cette contamination en revêtant la surface de comblement par:

une couche argileuse que l'on étend sous la terre végétale. La stabilité de cette couche argileuse est fonction du relief et de la végétation. Ce procédé peut convenir dans le cas où la zone comblée est prévue pour de futures constructions, ceci sous réserve d'une étude géotechnique appropriée, une épaisse couche humifère dans le cas d'une réaffectation agricole ou sylvicole. Aucun problème ne se pose dans le cas d'une réaffectation sylvicole. Une réaffectation agricole peut poser le problème de la contamination par des agents chimiques ou organiques. Cependant la couche humifère possède un pouvoir épurateur considérable qui peut être suffisant pour empêcher l'intrusion de substances toxiques dans la nappe souterraine.

Dans ce type de comblement, les déblais doivent être constitués de matériaux inertes. Les plâtras et les déblais de béton armés sont donc à exclure (voir plus haut).

Dans le cas où des plâtras et du béton armé entrent dans la composition des déblais, le fond et les bords de la gravière devront être revêtus d'une couche argileuse. Les boues de décantation peuvent être utilisées à cette fin après les avoir traitées de manière adéquate. D'autre part il sera nécessaire de drainer les eaux d'infiltration du remblayage et de les épurer (fig. 4, A [8]).

– Remblayage par des gadoues ménagères

Les gadoues ménagères sont des agents très polluants et ne doivent en aucun cas être entreposées directement sur le fond d'une gravière située au-dessus d'une nappe souterraine non protégée par une couche imperméable. Les eaux d'infiltration polluées lors de leur séjour dans la décharge auraient tôt fait de contaminer sévèrement la nappe. Les décharges qui comblent d'anciennes gravières peuvent à la rigueur être tolérées si les conditions hydrogéologiques et les précautions suivantes sont remplies et respectées:

la décharge doit être exclue des zones de protection rapprochée et éloignée (fig. 3) et la couche située au-dessus de la nappe ne doit pas être d'une perméabilité trop élevée;

le fond de la gravière ainsi que les côtés devront être revêtus d'une couche argileuse imperméable de 1,5 m. Dans de nombreux cas un système de drains devra être installé (fig. 4, A [8]);

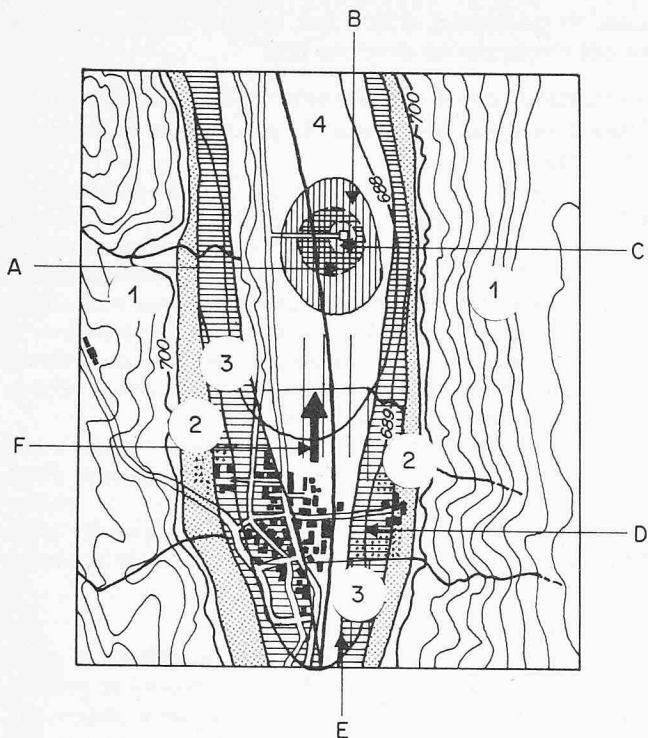


Fig. 3. Bassin d'alimentation d'une nappe souterraine, avec ses zones de protection:

- 1 Bassin d'alimentation situé à l'extérieur de la nappe souterraine protégée. Les gisements d'eau n'ont qu'une importance secondaire. Région bordière peu perméable à imperméable pouvant être indiquée pour les dépôts d'ordures domestiques et de déchets industriels
- 2 Zone marginale, dans des couches sèches et perméables. L'infiltration des liquides polluants ou d'eaux usées polluées chimiquement peut dans certains cas mettre la qualité de la nappe en danger. Indiquée pour l'exploitation de gravières. Défavorable pour le captage des eaux souterraines
- 3 Nappe souterraine exploitable. Epaisseur de la couche aquifère: 0 à 10 m. Indiquée pour l'exploitation de gravières sous certaines conditions. Dépôt d'ordures dangereux pour la qualité de la nappe
- 4 Nappe souterraine exploitable. Epaisseur de la couche aquifère: plus de 10 m. Dépôts d'ordures non contrôlés inadmissibles. Les déversoirs et les conduits doivent être protégés contre les fuites de liquides.

Gravières admises à condition qu'elles soient exploitées jusqu'à une profondeur de 2 à 5 m au maximum au-dessus du niveau supérieur de la nappe

- A Zone de protection rapprochée (interdiction de construire), rayon à partir du captage 50 à 200 m
 B Zone de protection éloignée (gravières interdites), rayon à partir du captage 100 à 500 m
 C Zone de captage (fumure interdite), rayon à partir du captage 10 à 50 m
 D Courbe de niveau de la nappe souterraine
 E Limite variant périodiquement avec le niveau de la nappe
 F Direction du courant des eaux souterraines

l'eau de drainage devra être raccordée à une station d'épuration biologique et chimique;

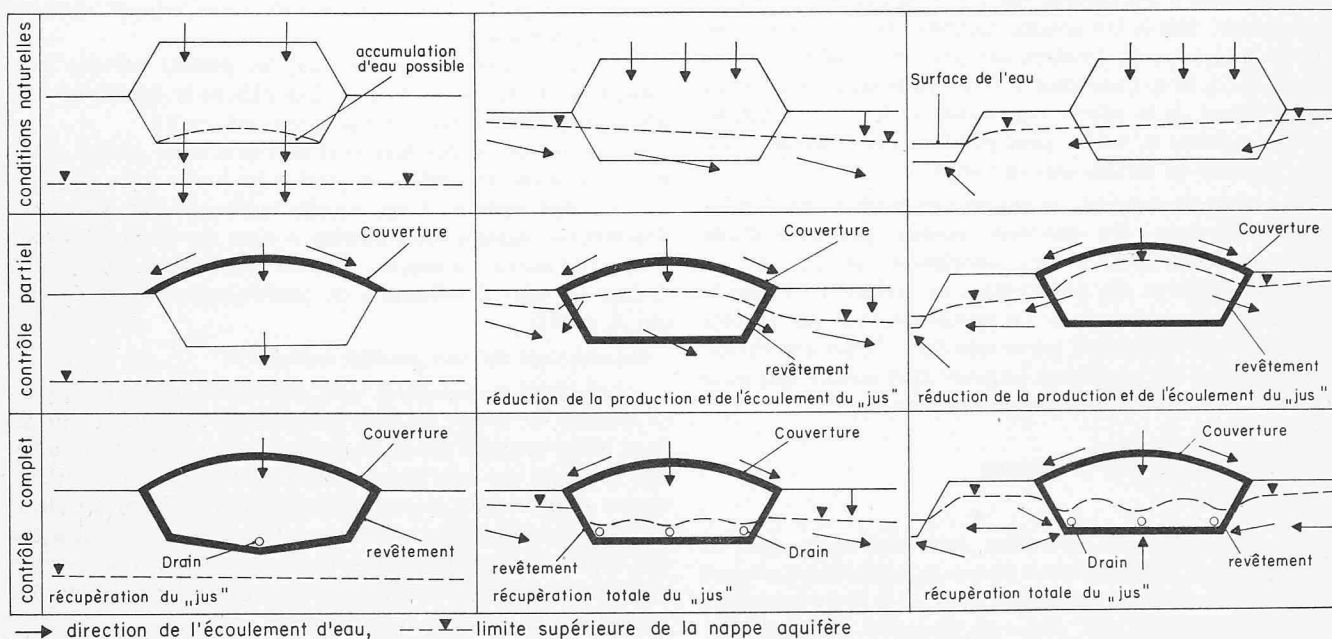
la qualité de l'eau de la nappe souterraine devra être surveillée. La méthode de la résistivité électrique permet un contrôle efficace de la qualité d'une nappe (fig. 5 [3]).

La figure 4 A montre les précautions minima et maxima à prendre pour éviter la contamination de la nappe dans les conditions hydrogéologiques les plus fréquemment rencontrées dans des terrains aquifères.

Remblayage des gravières situées au-dessous du niveau d'une nappe souterraine

– Remblayage par des déblais et déchets polluants

Les lois fédérales et cantonales interdisent le remblayage de ce type de gravières par des matériaux et des déchets polluants. Comme il est interdit de creuser des excavations de gravières au-dessous du niveau des nappes principales depuis que les lois de protection des eaux ont été renforcées, le cas de comblement par des déchets polluants ne se présente plus que



A La décharge n'intersecte pas la nappe aquifère. Les matériaux du sous-sol ont une haute perméabilité. Le site est dans une zone de recharge de la nappe aquifère

B La décharge intersecte la nappe aquifère. Les matériaux du sous-sol ont une haute perméabilité. Le site est dans une zone de saturation de la nappe aquifère

C La décharge intersecte la nappe aquifère. Les matériaux du sous-sol ont une haute perméabilité. Le site est proche d'une zone de recharge de la nappe aquifère

Fig. 4. Hydrogéologie de 3 décharges, placées dans des conditions différentes. Principes de contrôle des infiltrations

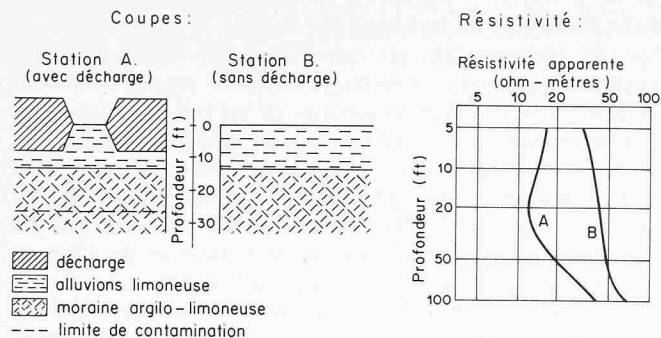


Fig. 5. Profondeur de la contamination par un «jus» de décharge, mise en évidence par des profils de résistivité (3).

Grâce à un dispositif à écartement variable composé de 2 câbles terminés par deux piquets-électrodes, d'une batterie et d'un appareil de mesure, le potentiomètre, la résistivité des roches meubles ou compacts, perméables ou imperméables peut être mesurée. Cette résistivité varie selon la nature de la roche et selon sa teneur en eau et la composition chimique de cette eau. Les eaux polluées chargées en ions qui se sont infiltrées à partir d'une décharge montrent une résistivité plus faible qu'une eau normale; la contamination d'une nappe par les eaux d'une décharge peut être ainsi détectée par ce procédé peu coûteux largement utilisé dans les recherches géologiques et hydrogéologiques

pour des gravières qui ont pu être creusées au-dessous du niveau de nappes laminaires non exploitables. Cependant, dans le cas où d'anciennes gravières situées au-dessous du niveau d'une nappe principale (parce que ce type d'exploitation avait été toléré à une époque maintenant révolue) étaient comblées par du matériel polluant, et ceci peut se présenter dans certaines situations, de sévères précautions qu'illustrent les figures 4 B et 4 C devront être prises.

Les nappes laminaires (fig. 2) sont en général de moindre importance et sont souvent déjà polluées par l'activité agricole. Un remblayage polluant peut y être toléré sous certaines conditions:

le fond de la gravière doit être au-dessus ou au contact d'une couche imperméable suffisamment étendue dans l'espace (fig. 2, cas 4);

aucune source du niveau de résurgence, fig. 2, point S, ne doit être exploitée pour les besoins en eau potable;

l'écoulement des sources contaminées par la pollution agricole et celle des déblais ou déchets polluants doit être connu et ne doit pas menacer les ressources en eaux potables. Une épuration peut être nécessaire.

Si ces conditions ne sont pas remplies, les nappes de surface devront être protégées par des moyens appropriés (4 B et 4 C).

– Remblayage par des déblais d'excavation et des bouches de décantation déshydratées

Si les matériaux de remblayage sont imperméables parce qu'ils se composent de déblais d'excavation limono-argileux ou de boues de décantation, ils agissent comme un obstacle imperméable qui entrave la circulation des eaux souterraines et en diminue sensiblement le volume utilisable (fig. 6). Ce cas peut se produire dans des gravières anciennes, exploitées au-dessous du niveau d'une nappe principale. Dans le cas d'une nappe laminaire, ce type de comblement ne joue pas de rôle vu l'utilisation limitée de ce type de nappe.

La seule manière de parer à ce problème, qui peut avoir dans certains cas des conséquences fâcheuses, est de remblayer l'excavation avec un matériau suffisamment perméable.

Autres réaffectations des gravières

Etangs et autres surfaces d'eau

On n'admet qu'exceptionnellement des étangs et des surfaces d'eau dans d'anciennes gravières situées au-dessous

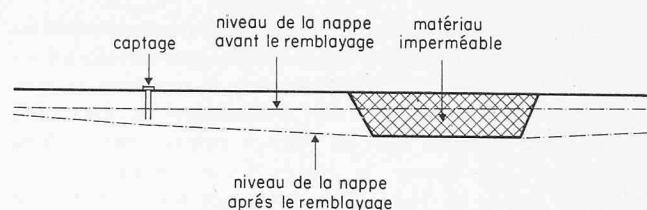


Fig. 6. Captage d'eau rendu improductif par le remblayage d'une ancienne gravière avec des matériaux argileux

du niveau des nappes principales. Il faut pour ce faire que les conditions hydrogéologiques soient telles (et dans ce cas les sens de l'écoulement de la nappe principale est primordial) que les eaux d'infiltration en provenance de l'étang ou du plan d'eau ne puissent contaminer la nappe, ce qui pourrait être le cas si des déchets y étaient illégalement introduits. Le remplissage par infiltration de l'eau de la nappe principale d'une ancienne gravière qui joue le rôle actuellement d'un lieu de détente et de baignade a été admis en aval du barrage de Verbois (fig. 7).

Les gravières abandonnées qui sont situées au-dessous du niveau des nappes se transforment en trois ou quatre ans en étang riche en faune et en flore palustres (fig. 8). Les anciennes gravières creusées au-dessous du niveau d'une nappe laminaire conviennent particulièrement à ce type de réaffectation puisqu'en général l'eau de ces nappes est d'un emploi limité. A un moment où la pression sur notre milieu naturel se renforce à tout instant, ces îlots naturels sont les bienvenus car ils favorisent un précieux maintien des espèces végétales et animales en voie de disparition. La politique de multiplier les réserves naturelles qui est soutenue par les sociétés de protection de la nature et par certains organismes cantonaux et fédéraux est actuellement en train de se développer et d'anciennes gravières y jouent un rôle particulièrement adéquat.

Cependant certaines précautions (fig. 9) doivent être prises, car ce type d'anciennes gravières est souvent situé dans des nappes de surface partiellement polluées, principalement par les engrais de synthèse. Si l'eau de la nappe n'était pas filtrée avant de pénétrer dans l'ancienne gravière, les

Fig. 7. Ancienne gravière creusée dans la nappe du Rhône et transformée en lieu de détente (Verbois, Genève)



engrais de synthèse auraient tôt fait d'enrichir démesurément les vases de l'étang et ce dernier serait rapidement transformé en cloaque croupissant d'où la vie palustre disparaîtrait en peu de temps. On peut parer à cet inconvénient en entourant l'étang d'une ceinture d'arbres (aulnes noirs, frênes) d'une profondeur d'une dizaine de mètres. Cette ceinture d'arbres entoure le rideau de roseaux qui croissent sur les bords de l'étang. Ces roseaux filtrent également les engrais de synthèse, et de plus ils ont l'effet d'un «peigne» qui retient et absorbe la matière organique provenant des feuilles de la ceinture d'arbres extérieure.

Enrichissement des nappes principales

Face aux problèmes déjà actuels de notre alimentation en eau potable, l'enrichissement artificiel des nappes souterraines est appelé à jouer un rôle toujours plus important. L'exploitation souvent inconsidérée des eaux souterraines dans les zones urbaines et industrielles, la réduction graduelle par le processus d'urbanisation des aires d'alimentation naturelle en eaux d'infiltration font que le niveau des nappes baisse dangereusement là où le besoin en eau potable se fait le plus sentir. Ces nappes devront être enrichies artificiellement si l'on ne veut pas compromettre définitivement nos ressources en eau.

Il existe plusieurs procédés d'enrichissement artificiels des nappes souterraines [11]. La réalimentation par bassin d'infiltration est la plus rentable du point de vue du volume d'eau infiltrable (de 1 à 4 m³ et jusqu'à 10 m³ d'eau infiltrée par jour et par m² de bassin, voir fig. 10). Cette méthode d'enrichissement pose cependant un problème de qualité de l'eau d'infiltration qui doit être décantée pour y soustraire les particules en suspension qui pourraient colmater les terrains aquifères et qui réclame une certaine épuration chimique. L'épaisseur de la couche filtrante de terrain entre la nappe et le fond du bassin doit être suffisamment grande pour que le travail d'épuration naturel puisse s'effectuer complètement.

Les fossés et bassins d'infiltration de MuttENZ [4, 5] dans le Hard près de Bâle, qui enrichissent la nappe souterraine de la vallée du Rhin montrent toute l'utilité de ce procédé. La région comprise entre le Jura et le Rhin qui est peu pluvieuse souffre périodiquement du manque d'eau et Bâle est une des villes de Suisse qui consomment le plus d'eau. Le procédé

d'enrichissement de la nappe par bassins et fossés d'infiltration de MuttENZ, qui est une région privilégiée pour ses conditions naturelles et hydrogéologiques, permet d'infiltrer dans la nappe du Rhin 56 millions de m³ par année pour un prix de revient de Fr. 0,12 par m³. Le système de bassins et fossés est long de 3,5 km et couvre une surface de 1,2 ha. Un filtre de gravier, facilement renouvelable, tapisse le fond des bassins et des fossés dans lesquels s'infiltrent les eaux du Rhin prétraitées et emmenées par une conduite de 4 km de long. Le prétraitement de l'eau du Rhin la débarrasse de ses matières en suspension par décantation, ce qui évite le colmatage des bassins et de l'aquifère, et de ses substances chimiques par coagulation et action sur charbon actif. L'eau d'infiltration en provenance des bassins est débarrassée du solde de ses substances organiques lors de son passage dans l'aquifère. L'eau de la nappe, pompée par 26 puits de captage situés à 400 m des bassins, est parfaitement potable et peut être immédiatement consommée.

La réalisation de la nappe de Croissy [1, 10] montre comment d'anciennes gravières et sablières peuvent être utilisées à bon escient pour résoudre les problèmes d'approvisionnement en eau tout en permettant l'économie d'excavations coûteuses. En aval de Paris s'étend une boucle de la Seine connue sous le nom de boucle de Croissy. Des alluvions anciennes quaternaires y reposent directement sur des craies crétacées et partout où le creusement du cours ancien de la Seine a décapé ces terrains, la craie est très fissurée et est le siège de la nappe souterraine dite de Croissy. L'alimentation naturelle de la nappe tendant à diminuer régulièrement à cause de l'urbanisation de la région parisienne et de ses besoins croissant en eau, une baisse du niveau de la nappe, avec des effets désastreux sur les puits de pompage, s'est produite. De plus, cette baisse a favorisé des infiltrations d'eau polluée de la Seine et la nappe a été contaminée. C'est pour cette raison que les anciennes sablières de la boucle de Croissy ont été progressivement aménagées, dès 1958, en bassin d'infiltration selon un système semblable à celui de MuttENZ. La surface de ces bassins était d'une dizaine d'ha en 1965 et permettait un enrichissement de 10 millions de m³; en 1966 le niveau de la nappe était rétabli. On prévoit un agrandissement des installations actuelles qui permettront, dans un proche avenir, un enrichissement de 20 millions de m³ par année au total.

Avantages de la réalimentation artificielle

1. Même par un traitement soigné des eaux polluées, opéré par une station d'épuration, on ne peut obtenir une eau entièrement débarrassée de ses agents polluants. Après prétraitement, l'épuration par infiltration est quasi totale; l'infiltration dans la couche aquifère ayant le même effet que la membrane biologique d'un filtre ultra-lent.
2. La réalimentation par infiltration peut être interrompue à tout moment, il suffit de fermer les vannes. Ceci est un très grand avantage en cas d'accident de pollution chimique ou radioactive sur l'épuration simple, à une époque où les accidents de ce genre se multiplient.
3. La réalimentation par infiltration, qui agit comme régulateur de la température de l'eau de réalimentation, est la seule méthode possible de lutte contre le réchauffage de l'eau, conséquence de la construction de nouvelles centrales.
4. Elle agit comme agent régulateur de l'alimentation en eau et résout les problèmes de consommation de pointe.

Limites de la réalimentation artificielle

Les terrains perméables non saturés sont relativement rares. Cependant il existe de bonnes possibilités:

- dans d'anciennes vallées comblées par des terrains quaternaires perméables qui constituent d'importants réservoirs

Fig. 8. Ancienne gravière creusée dans la nappe et transformée en étang (Genève)



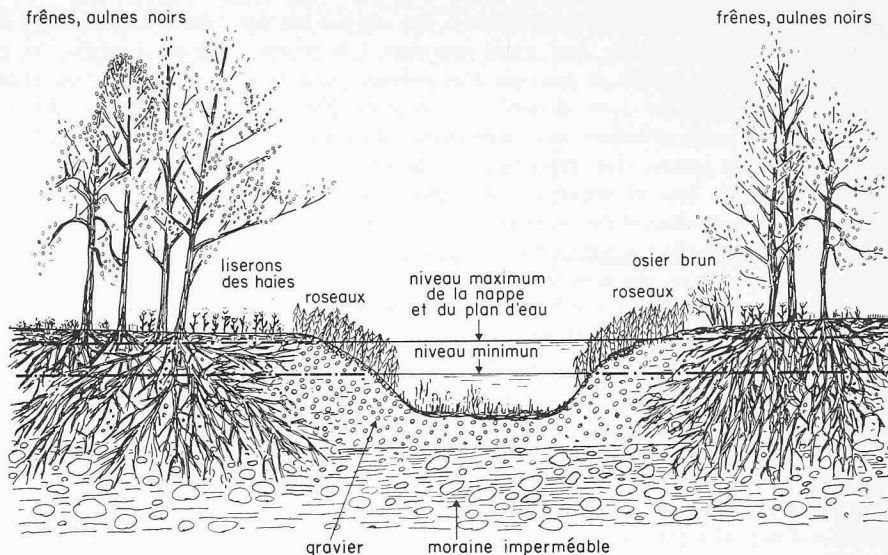


Fig. 9. Ancienne gravière transformée en étang, avec son écran d'arbres et son «peigne» de roseaux

- dans les zones urbanisées où les terrains aquifères ne sont pas saturés à cause de la forte demande en eau. Cependant, on se heurte dans ce cas à un problème de prix de terrain. C'est pour cette raison que l'utilisation d'anciennes gravières du pourtour des zones urbaines semble particulièrement indiqué pour la réalimentation des nappes souterraines
- l'épaisseur du terrain perméable entre le fond du bassin et la nappe souterraine doit être suffisante. Il est de 6 mètres en moyenne pour les installations de réalimentation de Suède. L'épaisseur requise de terrain perméable est fonction du coefficient de perméabilité de ce terrain
- d'autres facteurs géologiques, hydrogéologiques et hydrodynamiques peuvent empêcher une réalimentation effective d'une nappe. La possibilité de réalimenter les nappes souterraines requiert donc une étude préalable attentive.

L'antagonisme eau-gravier

Le problème de l'eau

Le développement industriel et urbain, avec toutes les conséquences qu'il entraîne, menace ces deux ressources en voie de régression que sont l'eau et le gravier.

La Suisse est relativement riche en eau de surface dont elle consomme les 5% des 52 milliards de m³ d'apports annuels, soit 480 l par jour et par habitant (besoins industriels, domestiques et artisanaux [12]). Si l'augmentation de la consommation continue de croître au taux actuel qui est de 2% par année, la Suisse consommera le double de ce volume dans 25 ans et le quadruple en l'an 2050. Or il apparaît que loin d'être en diminution ou en phase de stabilisation, ce taux d'accroissement tend d'augmenter de façon inquiétante bien que les limites de notre capacité en eau, notamment en eau potable, soient loin de nous le permettre. Selon les experts les plus compétents en la matière [12], la consommation maximum future ne pourra excéder 800 à 1000 litres/jour/habitant et la consommation moyenne ne pourra dépasser 500 à 600 litres/jour/habitant.

Les limites de notre capacité en eau proviennent du fait que cette dernière ne se trouve pas équitablement distribuée sur le territoire, les régions peuplées et industrialisées étant relativement pauvres en eau tandis que les régions à faible densité démographique en sont mieux pourvues. Par une consommation croissante, les zones à fort peuplement menacent le bilan et l'équilibre hydrologique. Elles sont responsables en outre d'une diminution de la capacité de régénéra-

tion des nappes souterraines par la transformation d'un matériau perméable (le gravier), en béton qui graduellement recouvre une proportion sensible des aires de réalimentation naturelle de ces nappes.

Le problème des matériaux meubles

Il y a donc antagonisme entre la ressource-eau et la ressource-gravier, la diminution de la seconde entraînant directement ou indirectement la diminution de la première; mais il y a un autre problème: ce sont les limites de nos réserves en graviers et matériaux sableux. Si l'on prend par exemple le cas du canton d'Argovie, l'un des cantons les plus riches en matériaux pierreux meubles, on prend conscience que ce problème est préoccupant. En effet, dans 80 ans environ [9] les réserves de ce canton seront probablement épuisées si l'on tient compte des mesures de protection des eaux souterraines et de l'augmentation de la surface construite qui soustraient des aires grandissantes à l'exploitation du gravier. Si en outre l'on tient également compte du fait que les zones riches en graviers seront de plus en plus sollicitées par celles qui en sont pauvres ou dépourvues, on peut conclure que la situation deviendra rapidement précaire bien avant 80 ans pour l'ensemble de la Suisse.

Nécessité d'une planification globale

Des lois sévères ont été élaborées pour la protection des eaux souterraines et bien que des entorses soient encore

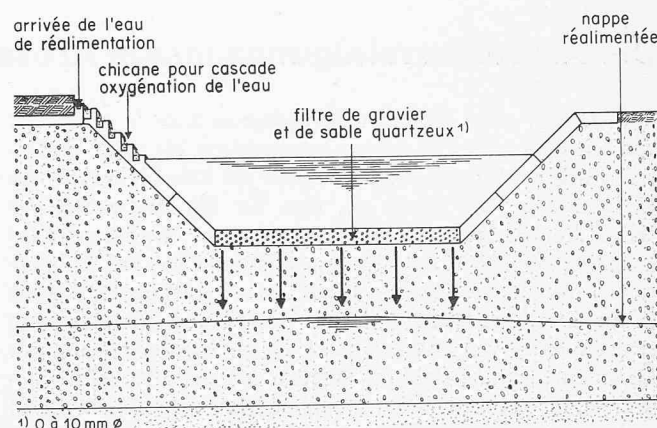


Fig. 10. Coupe schématique d'un bassin de réalimentation

commises, le dispositif légal de protection des nappes est en train de se mettre en place. Les zones soumises à la protection des eaux souterraines et pouvant être prévues pour leur enrichissement artificiel sont divisées en secteurs (fig. 1 et fig. 3) auxquels correspondent des restrictions d'autant plus étendues que le secteur est important du point de vue de l'alimentation en eau et sensible aux agents polluants de surface [6]. L'exploitation des gravières est au bénéfice d'une autorisation cantonale pouvant être accordée à condition que les gravières ne soient pas creusées au-dessous du niveau de la nappe si cette dernière se prête à l'approvisionnement en eau. Dans ce dernier cas l'autorisation peut être accordée si une couche protectrice de matériau dont l'épaisseur sera fixée d'après les conditions locales (2 m au minimum), est maintenue au-dessus du niveau le plus élevé que la nappe souterraine peut atteindre. Le type de remblayage ainsi que toute autre réaffectation de gravières doit être en accord avec la loi fédérale sur la protection des eaux et est également au bénéfice d'une autorisation cantonale.

La protection des nappes contre la pollution est vitale, mais elle devra nécessairement être accompagnée de mesures de protection quantitatives. Ces mesures devront comprendre la lutte contre la gaspillage de l'eau mais également la réalimentation artificielle systématique des nappes souterraines partout où elle est praticable et souhaitable.

Le plan d'aménagement du territoire prévoit des aires préférentielles pour l'exploitation de matériaux meubles en tenant compte de la protection des eaux. Bien qu'il ne résolve pas le problème quantitatif de ces matériaux, ce choix de zones exploitables est de la plus haute nécessité et il contribuera sensiblement à la mise en route d'une exploitation des gravières plus rationnelle et potentiellement moins polluante. Cependant, par souci de rentabilité immédiate, les exploitants de gravières négligent les matériaux de seconde qualité ou difficilement accessibles, qui sont souvent abandonnés et mélangés à de la terre ce qui les rend définitivement inutilisables. En outre, le produit des excavations pratiquées, entre autres, pour la construction d'immeubles, de garages souterrains ou pour l'infrastructure urbaine peuvent être constitués de matériaux utilisables que l'on néglige également le plus fréquemment. Une rationalisation de l'exploitation de matériaux meubles prévoyant la rentabilisation du tout-venant des gravières et d'autres excavations contribuerait dans une bonne mesure à l'économie en matériaux pierreux et en surface d'exploitation.

Une politique visant à la protection, au maintien, voire à l'amélioration des ressources en eaux souterraines et à l'économie des matériaux pierreux meubles et de leurs aires d'exploitation peut être le premier volet d'une stratégie de

gestion englobant ces deux ressources. Un second volet de cette stratégie, où politique de l'eau et politique du gravier pourraient converger, concerne directement le stade de réaménagement des anciennes gravières. Le réaménagement des gravières est très souvent abordé sans tenir compte des nécessités hydrologiques qu'elles soient qualitatives ou quantitatives. Le choix du type de remblaiement peut jouer un rôle important sur la qualité et l'équilibre de la nappe souterraine. D'autre part on néglige, ou l'on ignore encore la contribution importante que le réaménagement d'anciennes gravières en aires de réalimentation artificielle des nappes souterraines pourrait apporter au maintien et à l'amélioration de nos ressources en eaux potables.

Bibliographie

- [1] J. Archambault, J. Bize, J. Margat: Alimentation artificielle des nappes souterraines. Bull. BRGM, 2d Série, No 1, 1968, Section III, Hydrogéologie.
- [2] ASG - Directives pour l'exploitation de sable et gravier. Documentation ASG 1973.
- [3] Keros Cartwright and Frank B. Sherman, Jr.: Electrical Earth Resistivity Surveying in Landfill Investigations. Reprinted from Engineering and Soils engineering symposium, Moscow Idaho, April 5-7, 1972 or Illinois State Geological Survey Reprint Series 1972 U.
- [4] A. Casati: Das Grundwasserwerk Hard (MuttENZ). Sonderdruck aus dem Monatsbulletin des Schweizerischen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern Nr. 10 und 11, 1958.
- [5] A. Casati und Mehrkoffer: Grundwasseranreicherung in der MuttENZer Hard (bei Basel). Sonderdruck aus «Das Gas- und Wasserfach», Heft 6, Seite 142-147, 1965.
- [6] EPF: Mesures à prendre pour conserver, enrichir et protéger les nappes d'eau souterraines. Directives provisoires pour l'aménagement local, régional et national. Institut pour l'aménagement local, régional de l'EPF, Feuille 516 021.
- [7] G. M. Hughes, R.A. Landon and R.N. Farvolden: Summary of Findings on Solid Waste Disposal Sites in Northeastern Illinois. «Environmental Geology Notes», April 1971, No. 45. Illinois State Geological Survey, Urbana 61801.
- [8] G. M. Hughes: Hydrogeologic Consideration in the siting and design of Landfill. «Environmental Geology Notes», April 1972, No. 51. Illinois State Geological Survey.
- [9] J. Jäckli: Elemente einer Anthropogeologie. «Eclogae Geologicae Helveticae», Vol. 65, Nr. 1, 1972.
- [10] G. Massoulié: La réalimentation de la nappe de Croissy. «Travaux», Sept. 1969.
- [11] ORL-ETHZ: Richtlinien für die künstliche Anreicherung (Neubildung) von Grundwasser. Blatt 516 023, 1970.
- [12] R. Pedrolì: Approvisionnement en eau et protection des eaux: perspectives en Suisse. «Gaz - Eaux - Eaux Usées» 1969, No. 12, pp. 402-411.

Adresse de l'auteur: A. Wagner, ing. géologue, Infraconsult S. A., 3005 Berne, Kirchenfeldstrasse 42.

Die Abwasserreinigungsanlage Arosa

DK 628.33

Der auf rund 1900 m ü. M. gelegene Kurort Arosa hat sich seit dem Ende des letzten Jahrhunderts bis heute ausserordentlich stark entwickelt. So nahm die Einwohnerzahl von 88 im Jahre 1888 derart zu, dass für die Bemessung der neuen Abwasserreinigungsanlage mit einer Einwohner-Winterspitze von 20000 für den ersten Ausbau ($\frac{2}{3}$ des Vollausbau) gerechnet werden musste, was schmutzstoffmässig einem Einwohnergleichwert von 32000 und schlammmässig einem solchen von 24000 entspricht. Im Zusammenhang mit dieser Entwicklung steht der Ausbau der Hauptkanalisationsstränge, die bis zum Weisshorn Gipfelrestaurant (2653 m ü. M.) und bis zum Sattelrestaurant reicht und eine Länge von 37 km aufweist. Die Erstellung der neuen Anlage wurde an

der Volksabstimmung vom 1. Juni 1969 mit grossem Mehr beschlossen; am 8. Juli 1970 konnte mit den Bauarbeiten begonnen werden, und am 20. Dezember 1972 begann der Betrieb; die offizielle Einweihung fand am 6. Oktober 1973 statt, zu welchem Anlass der Gemeinderat von Arosa eine reich bebilderte Denkschrift herausgegeben hatte.

Die im «Isel-Areal» zwischen Plessur und Welschtobelbach auf 1618 m ü. M. gelegene Anlage gliedert sich, wie aus den Bildern 1 und 2 ersichtlich, im wesentlichen in drei Komplexe: Im Hauptteil sind sämtliche Becken der mechanischen und biologischen Stufe zu einem Block vereint, der wegen tiefen Temperaturen und grossen Schneemengen überdacht ist. Er umfasst einen Sandfang von 130 m³, zwei