

REFLEXIONS SUR LA PROTECTION DES AQUIFERES KARSTIQUES ET SUR DES ACTIVITES HUMAINES GENERATRICES DE KARSTS ACCELERES LES EXEMPLES DU TOURNAISIS ET DE LA GILEPPE

par

Ernest LAURENT¹

(8 figures, 2 tableaux et 1 planche)

ABSTRACT. – On the protection of karst water resources and on man-accelerated karst development. The cases of the Tournai area and the Gileppe river.

Among the direct effects of karstification on water resources, the creation of circulation channels is a classical example. The pollution by induced infiltration of a polluted river is a less classical consequence of karst. The case of infiltration of polluted water of the Scheldt river in the Carboniferous Limestone aquifer is analysed and three types of pollution can be distinguished by study of the chemical changes of water and modelisation.

In this study of the pollution of the carboniferous aquifer by infiltration of surface water, a dispersion model was able to explain and simulate the dispersion of Scheldt water into the aquifer.

But the most important contribution was the discovery of an induced pollution resulting from the interaction between the upwelling waters of the aquifer and some local concentrations of sulfides and associated oxides and hydroxides in the limestone. These consequences of the raise of the aquifer caused by the infiltration could be more dangerous than the dispersion of the pollutants. In fact, the chemical reactions produced contamination of water by Fe, Zn and SO₄ but also induced an accelerated karstification of the limestone as shown in the equilibrium diagrams. This example is a case history of induced chemical pollution. At last, two local pollutions were detected. The origin of one could be attributed to percolation of locally polluted water from an overlaying aquifer, while the other was caused by a discharge of sewage water.

An example of indirect consequences of karstification on surface water production is given. The discovery of karst holes in the underground of the area chosen for the building of the water-treatment plant is described. It caused the displacement of the installations.

1. – INTRODUCTION

Les effets des phénomènes karstiques sur la production d'eau peuvent être directs ou indirects. Parmi les conséquences directes des phénomènes de dissolution, on cite classiquement les modifications des vitesses d'écoulement. Les circulations karstiques accélérées entraînent à leur tour des débits de captage élevés et une vulnérabilité très grande de la nappe aquifère.

Une conséquence directe, heureusement moins fréquente, est la pollution de la nappe calcaire par infiltration induite d'une rivière polluée après effondrement karstique. C'est ce mécanisme qui sera décrit et illustré par un exemple récent : la pollution du Calcaire carbonifère par l'Escaut à Kain.

Par ailleurs, de nombreux effets indirects sur les travaux de production d'eau sont fréquents et bien connus dans les captages d'eau souterraine. Mais les effets des karsts peuvent aussi affecter les travaux de production d'eau de surface. Ce dernier cas sera illustré par

l'exemple du karst découvert dans le site de la station de traitement des eaux du barrage de la Gileppe.

2. – POLLUTION DU CALCAIRE CARBONIFERE PAR EFFONDREMENT DE PUIXS NATURELS

En janvier de cette année (1984), une nouvelle série de puits naturels est apparue à Pont-à-Chin (Kain) dans le site des effondrements catastrophiques de janvier 77. A nouveau, l'Escaut s'engouffrait dans la nappe du Calcaire carbonifère et on pouvait craindre des effets aussi néfastes que ceux de l'accident précédent. Peu après, des effondrements se produisaient dans les environs d'Havannes. La figure 1 situe les nouveaux puits naturels de Kain et montre l'importante ouverture créée dans le lit de l'Escaut.

¹ Ministère de la Région bruxelloise, 6, rue Royale, 1000 Bruxelles.

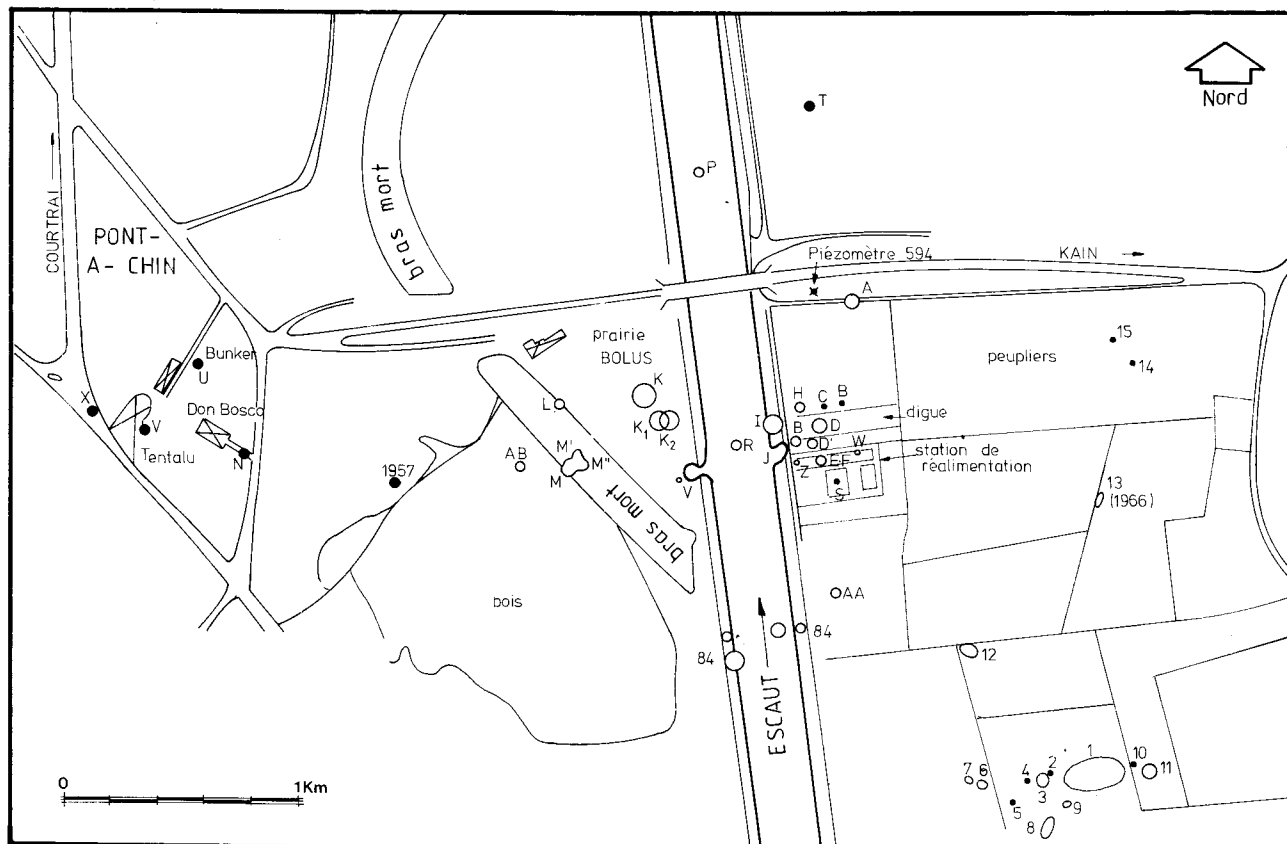


Figure 1. - Puits naturels de Kain - Ramegnies - Chin. D'après le Service géologique de Belgique et N. Delattre, 1983, complété.
"84" : quatre puits apparus en 1984. Les autres sont antérieurs (de 1957 à 1978).

Le 25 mai 1984, une nouvelle série de puits est apparue au sud de ceux d'Havannes. Ils sont indiqués sur le plan du réseau de mesure et de surveillance (fig. 5). Afin de mieux comprendre les risques de ces nouveaux incidents, il est utile de revenir aux effets de l'accident de 1977 sur la nappe aquifère (Laurent & Henry, 1979). En janvier 1977, des puits naturels ont percé le lit de l'Escaut à Kain, provoquant une intrusion directe des eaux du fleuve dans la nappe du Calcaire carbonifère à un endroit où l'aquifère n'est protégé que par une mince couverture d'alluvions quaternaires.

Ironie du sort, ce lieu avait précisément été reconnu comme le plus favorable pour le projet franco-belge de réalimentation de la nappe et une station d'essai y fonctionnait au moment de la catastrophe.

Malgré plusieurs mises en garde concernant l'insuffisance de données hydrogéologiques dans le site lui-même, les essais étaient en cours sans examen préalable des interactions eaux-minéraux. Le système réagissait une première fois sur le site lui-même mais les effets allaient être beaucoup plus catastrophiques encore. Malgré cela, des naïfs, braqués sur le seul aspect quantitatif, se réjouissaient d'une "remontée" profitable de la nappe.

Revenons rapidement, dans le tableau I, sur les conséquences de cet apport d'eau de l'Escaut et sur

les résultats de l'étude des effets de cet accident sur l'aquifère.

Le premier résultat important est la mise en évidence de quatre types de pollution dont les caractéristiques sont reprises au tableau II.

On distingue respectivement :

1. Une pollution directe par dispersion de l'eau de l'Escaut dans l'aquifère. Sa progression peut être suivie par l'augmentation de la teneur en chlore, qui évolue vers celle de l'Escaut, et par la croissance des nitrates.
2. Une pollution induite, par réaction entre l'eau de l'aquifère et les minéraux du sous-sol, due à la remontée de la nappe.
3. Une pollution locale indirecte s'étend d'abord dans la nappe des alluvions pléistocènes de la vallée de l'Escaut. Celle-ci communique avec la nappe du calcaire lors du déversement des eaux de la nappe alluviale dans la trouée de Kain (Gulinck & Loy, 1973). Les paramètres de cette dispersion liée à une pollution par dépôts d'immondices ont été donnés au tableau II de notre allocution d'ouverture (voir ce même volume).
4. Une pollution locale qui semble liée à un rejet direct d'une eau de surface polluée dans les environs de Templeuve.

Tableau I. - Résultats de l'étude de l'accident de 1977 dans le Calcaire carbonifère à Kain.

1. Les types de pollution : (voir tableau II)

2. Mécanisme de pollution induite

3. Caractéristiques hydrogéologiques de la nappe et de l'accident

3.1. Modèle dispersif

$\alpha L = 234 \text{ m}$ $V_{\text{pores}} = 5,45 \text{ m/j}$ $k = 1,55 \text{ m/hr}$
 $\text{ép. utile} : 45,2 \text{ m}$ $Q = 1,16 \text{ m}^3/\text{s.}$

3.2. Bilan direct 77-78

| Valeur de w | Références de w | ΔST m^3/s | $Q_{5,78} - Q_{5,77}$ m^3/s | $Q_{1,78}$ |
|-------------|---|--------------------------------------|--|------------|
| 1 % | Essais de pompage en zone non karstique | 0,128 | 0,134 | 0,262 |
| 3 % | Derycke - Legrand, 1979 | 0,385 | 0,134 | 0,519 |
| 5 % | Laurent - Henry, 1979 | 0,642 | 0,134 | 0,776 |
| 20 % | Mania, 1978 | 2,568 | 0,134 | 2,702 |

Conclusion: très sensible à porosité, chercher mesure de celle-ci.

3.3. Bilan indirect avec appui mod. dispersif. On trouve $W = 5,81 \%$ d'où
 $Q_{\text{infil.}, 78} = 0,905 \text{ m}^3/\text{s.}$
 $\text{ép. utile} = 38,9 \text{ m}$ (Bondues 37,7 m; micromoul.)

Conclusion: Richesse du modèle hydrodispersif >>> que celle du modèle quantitatif.

Tableau II. - Les types de pollution lors de l'accident de 1977.

| | |
|--|---|
| <p><u>POLLUTION DIRECTE</u></p> <p>Dispersion de l'eau de l'Escaut dans l'aquifère</p> <p><u>TYPE</u> : C₁ Bis S.N.D.E. Estaimbourg-Tannerie Masure</p> | <p>Cl ↗ progression (vers 80 - 90)</p> <p>NO₃ - NO₂ ↗</p> |
| <p><u>POLLUTION INDUITE DE REMONTEE DE LA NAPPE</u></p> <p><u>TYPE</u> : Templeuve Source</p> | <p>TH ↗↗ (> 100) TAC ↘ (< 30)</p> <p>Cl faible (<< Escaut 30 à 40)</p> <p>Fe ↗ SO₄ ↗↗ (>150 jusqu'à 1500)</p> <p>Zn ↗ pH ↘ (< 7) mat. org.</p> |
| <p><u>POLLUTION LOCALE 1</u></p> <p>Turonien ↓ Calcaire carbonifère</p> <p><u>TYPE</u> : Duphénieux</p> | <p>Cl ↗↗ très vite (vers >150)</p> <p>acidité légère (6,7)</p> <p>50 < TH < 60 (voir sources de pollution)</p> |
| <p><u>POLLUTION LOCALE 2</u></p> <p>Rejet concentré</p> <p><u>TYPE</u> : Templeuve S.G. (avec superposition à pollution induite légère)</p> | <p>Cl > Cl Escaut d'ailleurs Escaut non arrivé</p> <p>t° plus élevée</p> <p>acidité (< 7)</p> <p>NO₃ ↗↗ (jusqu'à 100 ppm)</p> |

Le deuxième acquis important de cette étude est l'explication du mécanisme de la pollution induite (Laurent & Henry, 1979). Ce phénomène est schématisé à la figure 2.

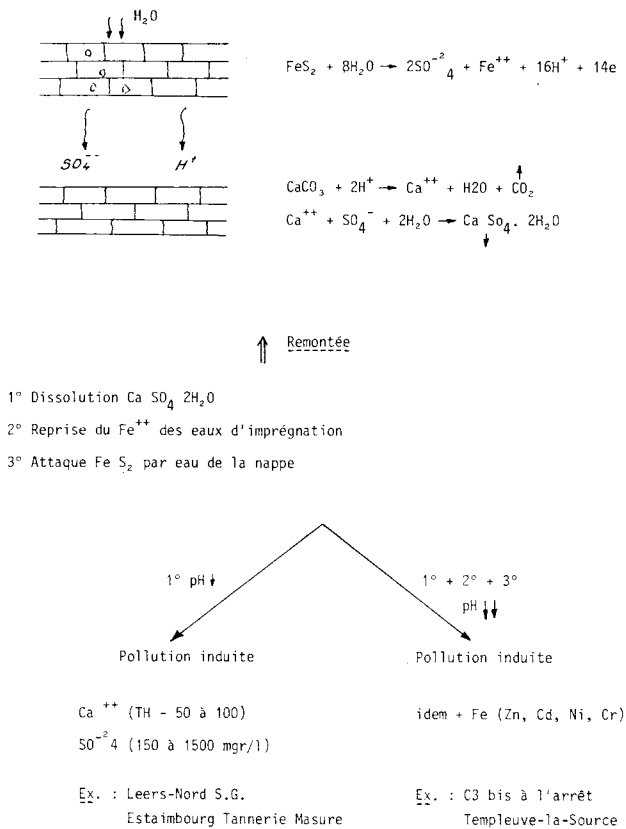


Figure 2. - Pollution induite.

Ce mécanisme comporte deux phases :

- Une altération par les eaux descendantes avec formation de gypse et acidification de l'eau d'imprégnation des zones calcaires riches en sulfures.
- Une phase de paroxysme liée à la remontée de la nappe et comportant une dissolution de gypse néo-formé et une attaque plus ou moins vive du fer des eaux d'imprégnation, des oxydes et hydroxydes formés dans la phase descendante et des sulfures non encore altérés. Ce processus peut provoquer des teneurs de plus de 1000 mg/l en SO_4^- et de 400 mg/l en Ca^{++} .

Parmi les preuves de ce mécanisme, nous rappellerons comme preuves directes :

- la composition des échantillons d'eau prélevés;
- l'apparition ou la disparition du phénomène dans les puits C₃b de la S.N.D.E. à Pecq en fonction d'une remontée ou d'une reprise du pompage.

Mais une preuve indirecte fournie par l'évolution de l'eau dans le puits de Templeuve ("La Source") est bien plus instructive. A la figure 3, cette évolution est représentée sur un diagramme d'équilibre des carbonates.

Cette figure permet de tirer les conclusions suivantes :

1. La pollution induite est bien liée à la remontée de la nappe et se produit suivant le mécanisme précité;
2. cette pollution est génératrice localement de karsts accélérés liés à une remontée intempestive de la nappe. Le choix du site de réalimentation est capital pour éviter cet inconvénient. Les seules considérations quantitatives de facilité d'infiltration sont donc insuffisantes;
3. en cas de connaissance insuffisante du système, celui-ci réagit de façon imprévisible à une sollicitation extérieure. En l'occurrence, il réagit en provoquant une pollution induite et une karstification accélérée dont les effets sont de loin plus nocifs que ceux de la dispersion d'eau de l'Escaut. Le bienfait quantitatif de remontée de la nappe ne saurait compenser de tels inconvénients.
4. les études de réalimentation devront donc envisager plusieurs sites et dans chacun d'eux, la pollution induite devra être examinée avec soin. Une réalimentation mal étudiée peut devenir par pollution induite une activité humaine engendrant des karsts artificiels accélérés.

Le troisième apport de l'étude de l'incident de 1977 est l'établissement d'un modèle hydrodispersif avec détermination des paramètres hydrogéologiques des environs de la zone sinistrée (tab. I).

L'étude du modèle hydrodispersif fournit aussi des données quantitatives. Ainsi, l'afflux initial d'eau de l'Escaut a pu être calculé. Ce débit initial est de 1,16 m³/s. Le colmatage par les Travaux publics et l'auto-colmatage ont amené ce débit à une valeur moyenne de 0,905 m³/s sur l'année 1977. Ces résultats n'ont été acquis que grâce à la détermination directe de la porosité par le modèle hydrodispersif. Les bilans hydrogéologiques sont en effet très sensibles à la valeur de ce paramètre (tab. I, 3.2.).

En conclusion des résultats de cette étude, on peut dégager, comme dans le tableau II de notre allocution d'ouverture (voir ce même volume), l'importance des mesures qualitatives et la nécessité d'une approche globale comportant des sous-modèles d'écoulement, de dispersion et d'interaction eau-minéraux.

Terminons l'examen des puits naturels par la liste des facteurs de formation des karsts verticaux générateurs des effondrements.

Dans l'étude de Delattre (1983), plusieurs éléments intervenant dans la localisation et la genèse de ces puits sont repris en détail :

- la zone hydrologiquement découverte de l'aquifère;
- l'aire dénoyée de la nappe;
- l'endroit d'infiltration de la nappe landénienne (Kain-Breuze);

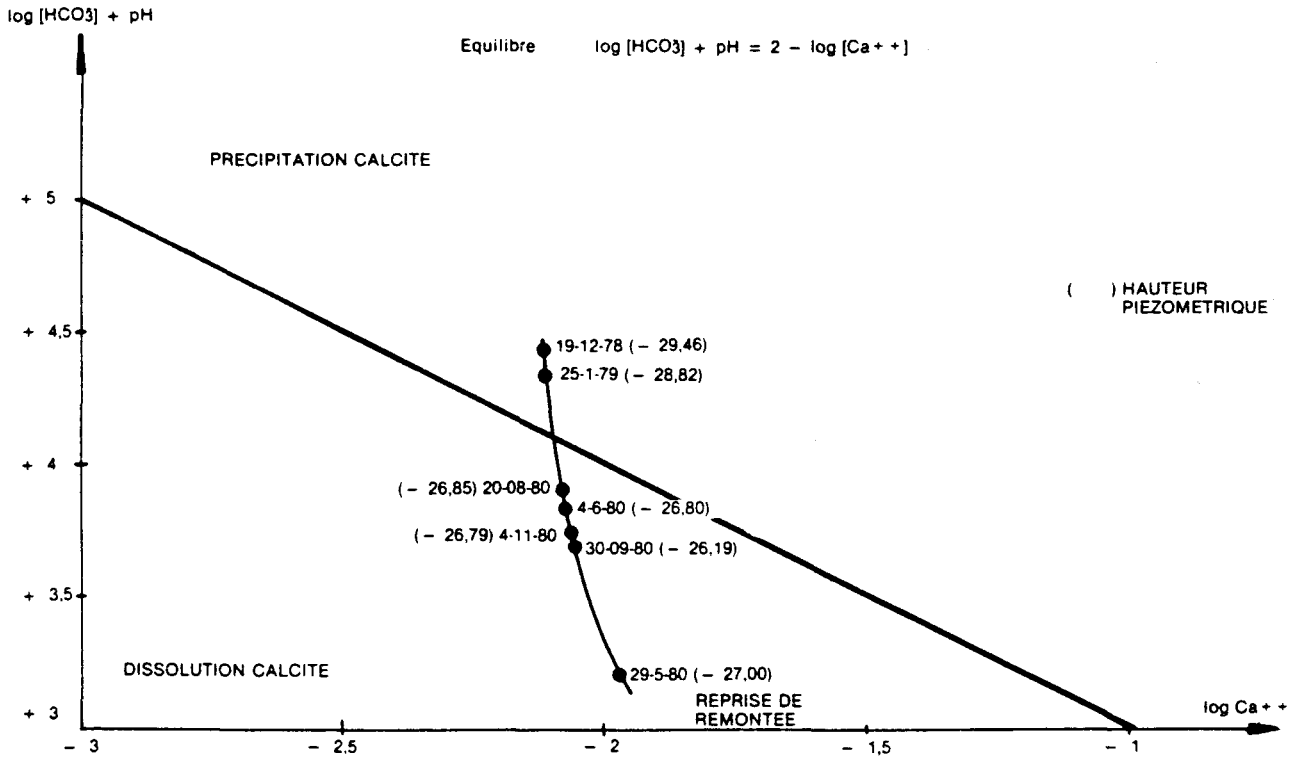


Figure 3. - Evolution de l'eau dans le puits dit "La Source" à Templeuve. Pollution induite.

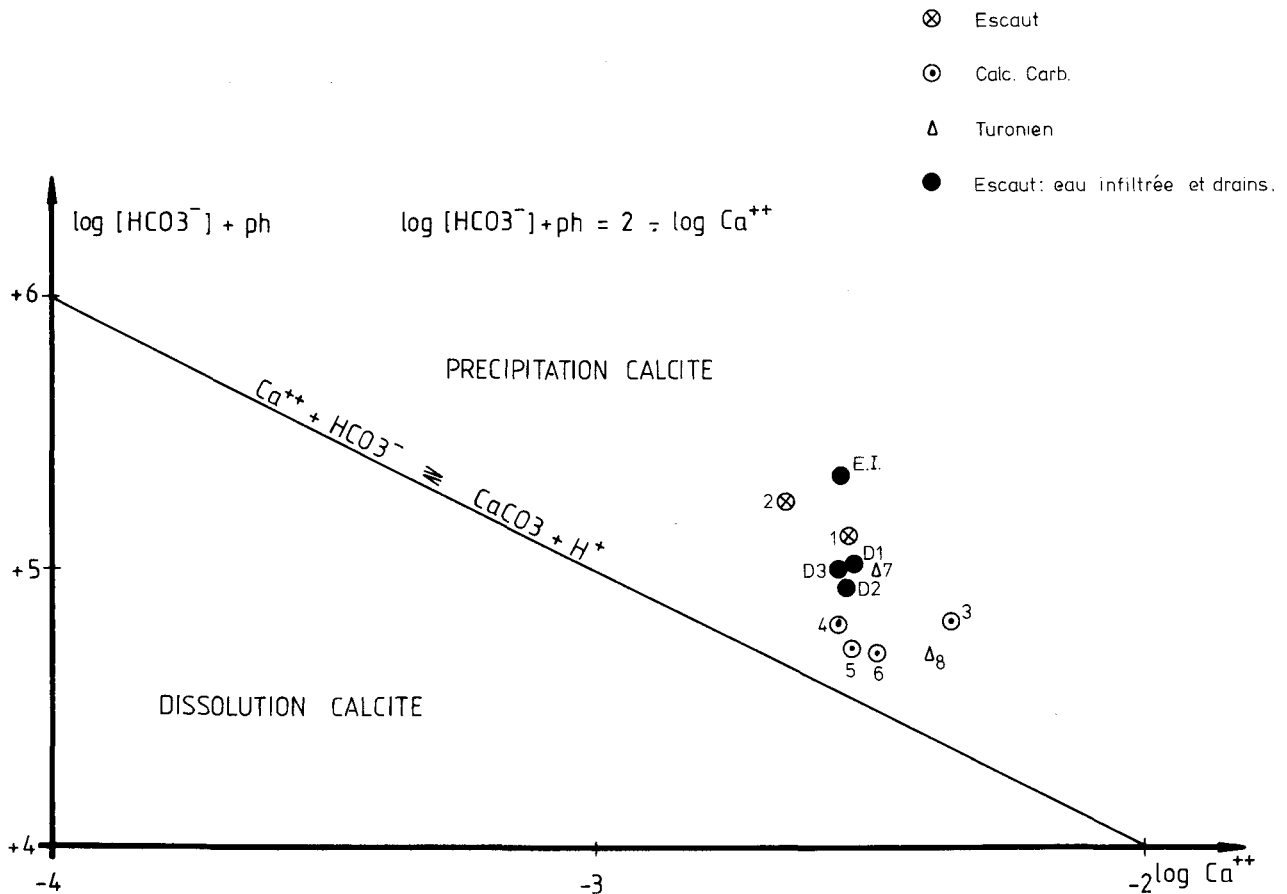


Figure 4. - Accident à Kain en 1977 et réalimentation de l'Escaut.

1. Eau Escaut, moyenne 73-75; 2. Eau Escaut, 3.10.77; 3. Eau souterraine, Mourcourt, 6.10.77; 4. C 3 bis, 12.7.77; 5. C 2 bis, 16.8.77; 6. Ramegnies-Chin, 3.10.77; 7. Sotrud, 3.10.77; 8. Duphénéux, 5.10.77.
E.I. Eau de l'Escaut infiltrée; D 1 à 3. Drains 1 à 3.

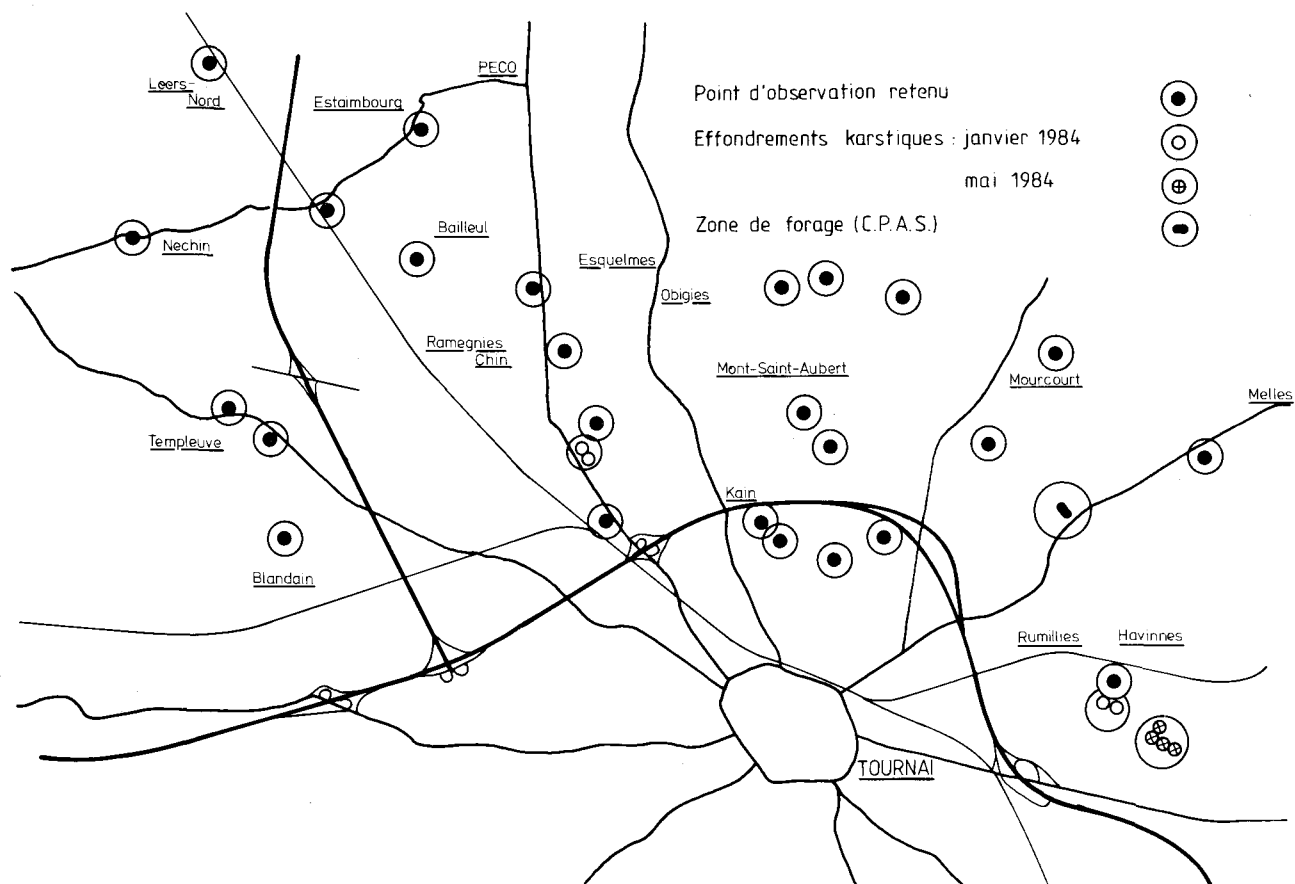


Figure 5. - Réseau de surveillance des puits naturels.

- la trouée de Kain avec déversement de la nappe pléistocène dans le calcaire viséen;
- l'infiltration induite de ces cours d'eau :
 - Escaut
 - Rieu d'Havinnes
 - Rieu de Warchin;
- l'effet cumulatif de la réalimentation forcée à Kain.

Le dernier facteur oppose cet auteur aux versions officielles de Derycke & Legrand (1979).

Les arguments de ces derniers auteurs cités dans le mémoire de Delattre sont le trop faible débit de la réalimentation, pour occasionner une dissolution locale, par rapport à l'infiltration habituelle de cette zone. La thèse de Delattre est qu'une zone déjà sujette à des effondrements en 1966 à cause de plusieurs facteurs précités doit être caractérisée par une fragilité du sol telle qu'elle ne supporte aucune perturbation et certainement pas une réinfiltration forcée.

L'auteur signale que les activités de réalimentation forcée ont repris et conclut que les événements déparageront les deux thèses.

Pour ma part, je n'ose imaginer qu'une direction régionale flamande de la S.N.D.E. ait repris des essais de réalimentation après le désastre de 1977 sans autorisation de rejet dans la nappe ni dans l'Escaut.

Mais revenons à nos considérations hydrogéologiques et géochimiques pour voir si des éléments peuvent être fournis en faveur de l'une ou l'autre thèse.

Il faut d'abord constater que l'argument des rapports de débits avancé ne vaut que si les eaux sont géochimiquement comparables. La figure 4 donne le comportement de quelques eaux à prendre en considération dans la comparaison.

Elle nous apprend que les eaux de la nappe pléistocène sont en général non corrosives, de même l'eau de l'Escaut. Mais l'eau du calcaire à Ramegnies-Chin est particulièrement proche de la droite d'équilibre et en tout cas beaucoup plus proche du domaine de dissolution que l'eau de l'Escaut comme si un processus analogue à la phase descendante de la pollution induite avait modifié l'eau de l'Escaut pendant son infiltration induite dans le site de Kain.

Un tel processus d'acidification se produisait bien dans le site de réalimentation entre l'eau des bassins et l'eau du sous-sol comme l'indique la figure 4. Cette figure indique non seulement que la thèse de Delattre est la plus vraisemblable mais aussi que le mode de réalimentation était mal choisi. Un apport direct par puits d'eau purifiée de l'Escaut ne risquait pas de modifier cette eau non corrosive pour les calcaires.

Pour conclure, la station ne fut qu'un facteur de plus d'instabilité du site de Kain à la fois par le mode de réalimentation, par le poids supplémentaire des couches superficielles au-dessus des karsts préexistants et par la tendance vers la limite de liquidité de ces sables superficiels.

Dans la liste des circonstances favorables aux

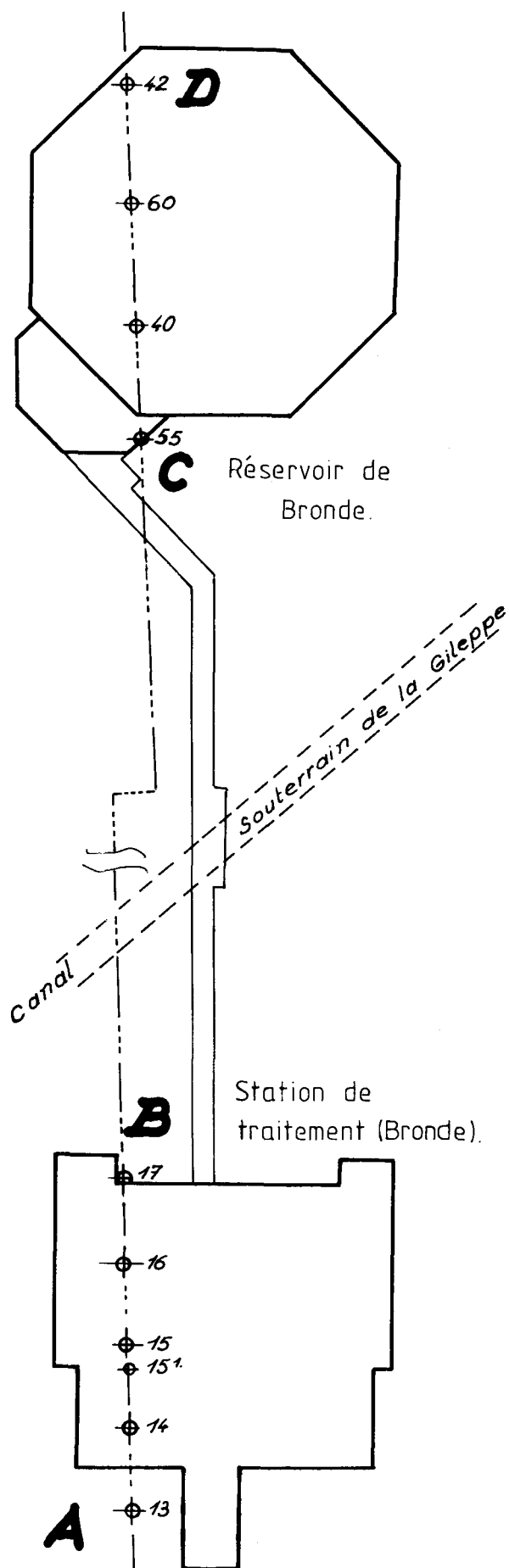


Figure 6. - Le réservoir de Bronde et la station de traitement des eaux de la Gileppe à Bronde.

puits naturels, il convient donc d'ajouter :

- la pollution induite dans ses deux phases dans les sites atteints par une remontée de la nappe;
- les réalimentations éventuelles dans les sites présentant la première phase lors de la percolation des eaux.

En conclusion, on ne peut que remettre en cause le choix d'un site aussi pourri et regretter le refus des études complémentaires demandées avant l'accident de 1977.

Pour surveiller les effets des nouveaux effondrements, un réseau de surveillance (fig. 5) a été retenu. Plusieurs points ont été ajoutés par rapport aux prélèvements des années 77-80 en vue de contrôler aussi les dispersions possibles d'eau du Rieu de Warchin.

L'Exécutif régional wallon, sur proposition du Ministre Féaux, vient de prendre la décision d'engager le personnel nécessaire aux prélèvements dans ce réseau.

3. - DECOUVERTE D'UN KARST SOUS LE SITE DE LA STATION DE TRAITEMENT DES EAUX DE LA GILEPPE

L'eau distribuée dans la région verviétoise et provenant du barrage de la Gileppe est caractérisée par une pollution permanente due au plomb des anciennes conduites attaquées par l'eau agressive. Parfois, une contamination bactériologique vient se greffer sur l'agressivité permanente de l'eau.

Afin de traiter cette eau brute, une station de traitement de 90.000 m³/jour est prévue.

Au cours des sondages préliminaires dans le site du réservoir associé à la station et à l'endroit de celle-ci, une fissuration et une karstification des calcaires ont été mis en évidence. La figure 6 donne la position du réservoir de Bronde et de la future station de traitement.

Remarquons que le terrain descend du réservoir vers la station et que l'aqueduc transportant l'eau brute du barrage est situé entre les emplacements des deux ouvrages.

Une coupe caractéristique à travers le sous-sol des deux ouvrages en projet est donnée à la figure 7.

On remarque une karstification nettement plus importante sous le site de la station de traitement que dans le sous-sol du réservoir de Bronde.

Graulich (1984) attribue le grand pourcentage de vides sous la station à des fuites de l'aqueduc situé entre les deux sites.

Un examen des cartes montre en effet qu'au point de vue percolation d'eau superficielle, les deux sites sont très analogues. Les pentes sont identiques et la couverture de limon comparable. Les coupes montrent

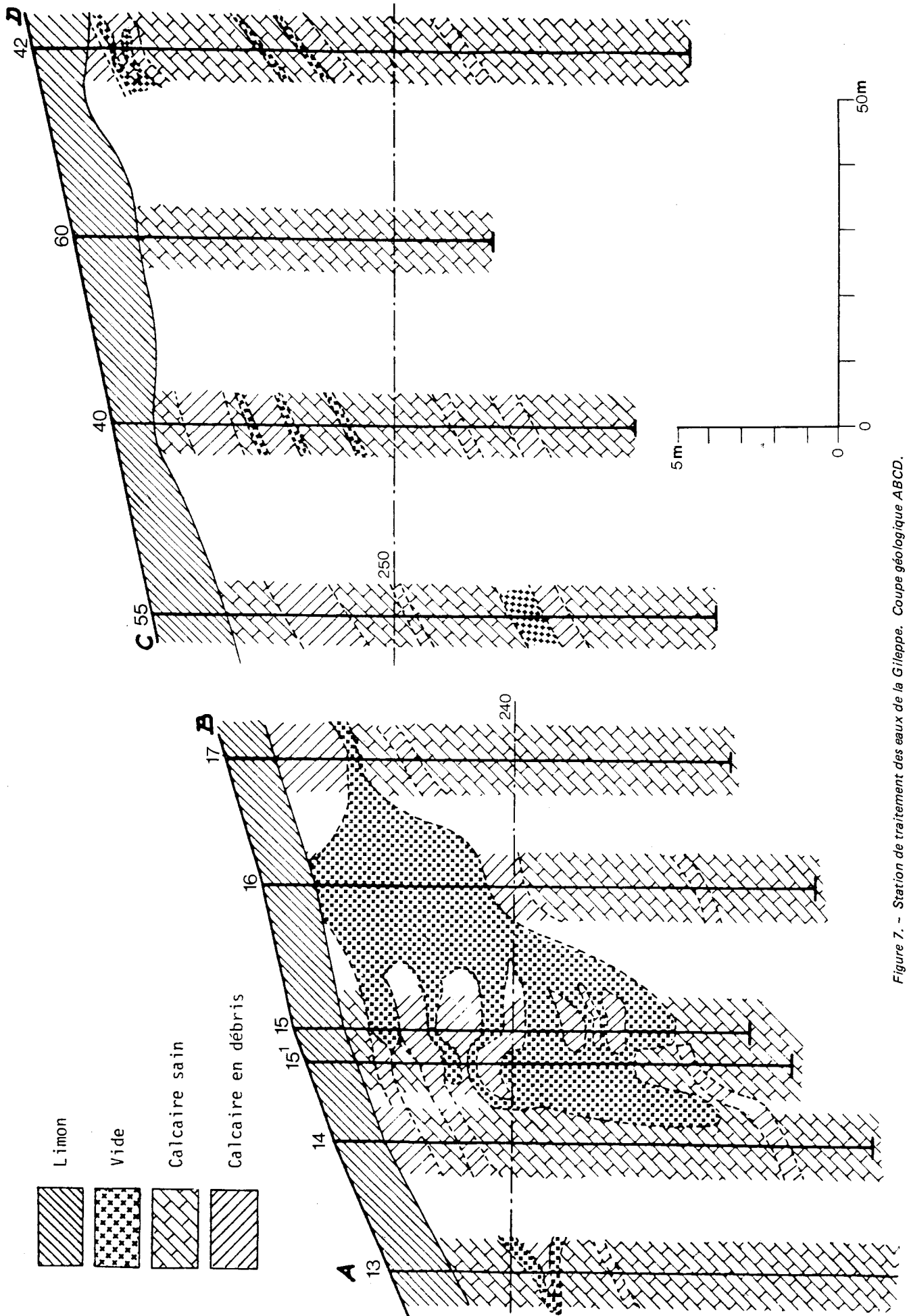


Figure 7. - Station de traitement des eaux de la Gilleppe. Coupe géologique ABCD.

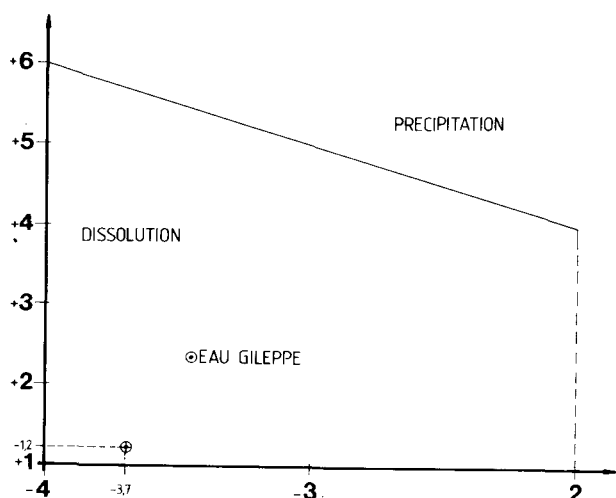


Figure 8. - Les carbonates au site de la station de la Gileppe.

toutefois en moyenne une karstification moins poussée sous les épaisseurs plus faibles de limon. Cet effet peut expliquer une partie de la différence entre les deux sites mais le contraste des pourcentages de vide est trop grand pour être attribué à cette seule cause. Les pertes de l'aqueduc sont donc certainement à prendre en considération. Examinons thermodynamiquement l'action d'une eau de l'aqueduc sur les calcaires du sous-sol. L'eau brute de l'aqueduc est représentée à la figure 8.

L'agressivité très élevée des fuites de l'aqueduc est évidente puisque le point représentatif est situé loin de l'équilibre dans le domaine de dissolution des carbonates.

L'hypothèse de Graulich est donc très plausible. Aussi des travaux devront être entrepris à l'aqueduc en vue d'éliminer les pertes au moins en amont et sur

le site de la future station. En effet, à l'aval de celle-ci, l'eau traitée ne sera plus corrosive grâce à la filtration sur calcite au cours du traitement.

BIBLIOGRAPHIE

- DELATTRE, N., 1983. Les puits naturels du Tournaisis. Contribution à l'étude de leur genèse. Mém. de lic. en Sc. géogr., Inédit, Université de Liège, 127 p.
- DERYCKE, F. & LEGRAND, R., 1979. Percée du lit de l'Escaut, dans "Tournaisis 77-78", Prof. Pap. 1979/1, 157 : 32-37.
- GRAULICH, J.M., 1984. Reconnaissances géologiques de la station de traitement des eaux de la Gileppe, Comm. pers. et plans du Ministère de la région wallone.
- GULINCK, M., 1979. Surveillance de la nappe des alluvions pléistocènes, dans "Tournaisis 77-78", Prof. paper 1979/1, n° 157 : 26-31.
- GULINCK, M. & LOY, W., 1973. Reconnaissance géologique et essais préliminaires d'infiltration dans la région de Kain, Rapport interne au groupe franco-belge, 11 p.
- LAURENT, E. & HENRY, J., 1979. Evolution qualitative de la nappe du Calcaire carbonifère du Tournaisis suite à l'infiltration d'eau de l'Escaut à Pont-à-Chin. 1ère partie : Les observations et les types de pollution, La Technique de l'eau, n° 389, mai 1979 : 9-16.
- LAURENT, E. & HENRY, J., 1979. Evolution qualitative de la nappe du Calcaire carbonifère du Tournaisis suite à l'infiltration d'eau de l'Escaut à Pont-à-Chin. 2ème partie, Interprétation hydrogéologique de l'infiltration, La Technique de l'eau, n° 390-391, juin 1979 : 21-30.
- LAURENT, E., 1979. Détermination des coefficients intrinsèques de dispersion d'un aquifère, La Technique de l'eau, n° 388, avril 1979 : 29-35.

PLANCHE 1**PUITS NATUREL A GAURAIN-RAMECROIX**

Cette cavité, ouverte le 10 octobre 1984 dans le cours récemment détourné du Rieu de Warchin, provoqua sa perte totale. Le détournement du cours d'eau fut réalisé suite à l'apparition d'une première génération de puits dont deux engloutirent une première fois le ruisseau. L'intérêt majeur de ces phénomènes est de dévoiler la morphologie du calcaire sous sa couverture. La coupe montre de bas en haut le calcaire tournaisien (assise de Gaurain-Ramecroix), 70 cm de marnes turoniennes, peu visibles sur la photo, 1,60 m de sables landéniens et 1,65 m de limons. Le Calcaire est incisé par un surcreusement en méandre, haut et étroit, qui a soutiré les terrains de couverture. Cette incision se transforme en galerie que l'on voit s'enfoncer dans le calcaire. Un chantoir voisin a permis, après des travaux de désobstruction, l'exploration d'une dizaine de mètres de galeries subhorizontales dont la morphologie et les dépôts indiquent une phase de creusement en karst noyé suivi d'une phase de circulation en régime dénoyé ayant généré un surcreusement et des marmites de géant (Quinif, Bouko, Cantillana, Drumel et Rorive, à paraître). Les puits naturels de Gaurain-Ramecroix ont ainsi révélé l'existence de galeries karstiques superficielles ayant fonctionné dans un passé géologiquement proche.

Y.Q.

Y. QUINIF, Ph. BOUKO, R. CANTILLANA, P. DRUMEL et A. RORIVE. Découverte d'un réseau karstique superficiel à Gaurain-Ramecroix (Hainaut Occidental, Belgique) à la faveur de nouveaux puits naturels (à paraître).

