



AGENCE DE L'EAU RHIN-MEUSE

Etude prospective de la teneur en nitrates
des puits d'alimentation en eau potable
de la plaine d'Alsace

Juin 1988



13027

G. KREBS

88 SGN 460 ALS

AGENCE DE L'EAU RHIN-MEUSE

Etude prospective de la teneur en nitrates des puits
d'alimentation en eau potable de la
Plaine d'Alsace

88 SGN 460 ALS

Juin 1988

R E S U M E

Depuis une dizaine d'années la plupart des puits d'alimentation en eau potable de la plaine d'Alsace présentent une augmentation sensible en nitrates.

Afin d'avoir un aperçu de l'évolution future à moyen et long terme de cette tendance, une étude prospective basée sur la technique des concentrations progressives a été réalisée en exploitant les historiques de teneurs en nitrates, extraits de la banque de données régionale Eau, relatifs aux 149 forages recensés en plaine.

Les résultats obtenus au terme de cette étude ont montré que :

- l'augmentation des concentrations en nitrates d'ici l'an 2000 serait relativement limitée;
- par contre, la teneur d'équilibre qui serait atteinte au bout d'un temps plus ou moins long dépasserait largement les normes de potabilité en vigueur sur la plus grande partie de la nappe, à l'exclusion du secteur Strasbourg Nord et des secteurs boisés ou soumis à d'importants apports du réseau superficiel.

Etabli par : G. KREBS, Ingénieur hydrogéologue, et
C. KIEFFER, Technicien hydrogéologue
avec la collaboration de S. RAMON
de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse

16 pages, 5 figures, 5 annexes

S O M M A I R E

	Pages
INTRODUCTION	1
1. PRESENTATION DU SECTEUR D'ETUDE	1
1.1 Cadre hydrogéologique	1
1.2 Vulnérabilité de la nappe phréatique	1
2. ORIGINE DES NITRATES	2
3. ETUDE PROSPECTIVE DES CONCENTRATIONS EN NITRATES	2
3.1 Principe de la méthode	2
3.1.1 Hypothèses de base	2
3.1.2. Critiques des hypothèses retenues	3
3.2 Méthodologie utilisée	4
4. PRESENTATION DES RESULTATS OBTENUS	4
4.1 Calcul du facteur de dilution "a"	4
4.2 Courbes d'évolution des teneurs en nitrates	6
4.2.1 Généralités	6
4.2.2 Courbes d'évolution des teneurs en nitrates ...	7
5. CARTOGRAPHIE DES TENEURS PREVISIONNELLES EN NITRATES	9
5.1 Remarque préliminaire	9
5.2 Carte de la teneur d'équilibre en nitrates	9
5.3 Carte des teneurs en nitrates à l'horizon 2000	13
CONCLUSIONS	16

INTRODUCTION

Le suivi de la qualité des eaux souterraines en plaine d'Alsace a permis de mettre en évidence une augmentation sensible des teneurs en nitrates qui, dans la plupart des puits d'alimentation en eau potable, ont pratiquement doublé au cours de la décennie écoulée.

Afin d'avoir un aperçu de l'évolution future de ces teneurs en nitrates, l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse a confié au Service Géologique Régional Alsace une étude prospective de la teneur potentielle en nitrates de la nappe, basée sur la technique des concentrations progressives proposée par l'Agence de Bassin Seine-Normandie.

Le présent rapport, réalisé en étroite collaboration avec Monsieur RAMON de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, rend compte de la méthodologie utilisée et présente une cartographie de la teneur d'équilibre des nitrates, au droit des puits d'alimentation en eau potable de la plaine d'Alsace.

1. PRESENTATION DU SECTEUR D'ETUDE

1.1 Cadre hydrogéologique

Le secteur d'étude correspond à la plaine alluviale proprement dite qui s'étend de Bâle à Lauterbourg sur une longueur de 170 km et sur un maximum de 25 km de large. Les alluvions accumulées par le Rhin et ses affluents couvrent une surface de près de 2800 km². Leur épaisseur dépasse généralement 100 m et peut atteindre plus de 200 m dans la partie centrale de la plaine aux alentours de Neuf-Brisach. On estime à 50 milliards de mètres cubes le volume d'eau contenue, le renouvellement de ces eaux étant assuré, à raison de 1,3 milliard de mètre cubes par an dont un tiers par infiltration des pluies.

1.2 Vulnérabilité de la nappe phréatique

Cette ressource en eau présente une grande vulnérabilité aux pollutions car les terrains de couverture peu perméables sont rares. Cette vulnérabilité est mise en évidence par les grandes pollutions qui l'affectent (sel du bassin potassique, sulfates de la vallée de la Thur et au Nord de Strasbourg, nitrates le long de sa limite vosgienne) par infiltration au niveau de la zone de pollution, par infiltration d'eau de rivières contaminées ou, de manière plus diffuse, sur de grandes étendues de nappe dans le cas des nitrates.

2. ORIGINE DES NITRATES

Les nitrates forment un maillon du cycle que constituent les diverses formes azotées rencontrées dans la nature. En effet, suivant les conditions d'oxydo-réduction du milieu ambiant, les composés azotés sont susceptibles de transformations réversibles sous forme minérale, organique, voire gazeuse. Dans les eaux souterraines, la forme nitraté est relativement stable étant donné un milieu généralement oxydant et par suite de l'absence d'organismes dénitrifiants.

D'après le "bilan nitrates" de la nappe dans le département du Haut-Rhin (rapport SGAL de février 1982), la part des pratiques agricoles dans les apports azotés à la nappe et de l'ordre de 60 %, les autres origines étant, pour parts égales : la pollution domestique et la pollution industrielle.

Pour mémoire, il est utile de rappeler que la concentration limite en nitrates pour les eaux de boisson est de 50 mg/l. Au delà de cette teneur, les nitrates peuvent donner lieu, par action de la flore gastro-intestinale, à la formation soit de nitrites provoquant des cas de méthémoglobinémie chez les nourrissons, soit de nitrosamine dont l'effet cancérigène est suspecté.

3. ETUDE PROSPECTIVE DES CONCENTRATIONS EN NITRATES

Dès que l'on s'est préoccupé de l'excès de nitrates dans les eaux souterraines, des travaux de synthèse effectués à partir du recueil des données existantes ont permis de dresser un constat de la qualité des eaux souterraines et d'appréhender l'ampleur de l'accroissement de cet élément au cours des années passées. A la suite de cette acquisition des données, des travaux de prévision ont été engagés à partir de modèles plus ou moins complexes.

A côté de ces modèles, un travail original de l'**Agence de Bassin Seine Normandie** a permis de déterminer les teneurs limites en nitrates des eaux souterraines à partir d'un calcul simple, tenant compte des pertes de nitrates vers la nappe et de sa vitesse de renouvellement.

3.1 Principe de la méthode

3.1.1 Hypothèse de base

La méthode repose sur les hypothèses simplificatrices suivantes :

- La recharge par les pluies reste stable dans le temps et équivaut aux exhaures de nappe.
- La recharge par les pluies entraîne une quantité de nitrates supposée constante au cours du temps.

Dans ces conditions, l'augmentation de la quantité de nitrates contenue dans la nappe équivaut à la différence entre la charge en nitrates injectée par la pluie et celle qui sort aux émergences.

En notant :

C_n la concentration en nitrates de la nappe pour l'année n,

C_i la concentration de l'eau infiltrée et

"a" le rapport entre les réserves globales de l'aquifère et la recharge annuelle,

on peut établir la formule de récurrence suivante :

$$C_n = (a C_{n-1} + C_i) / a + 1$$

Cette formule permet de constater = :

- . que la teneur maximale pouvant être atteinte par la nappe est C_i : quand l'eau de la nappe aura la concentration de l'eau infiltrée C_i , il n'y aura, en effet, plus de possibilité d'accroissement.
- . que la vitesse de croissance des teneur de la nappe dépend de la valeur de "a" : si les réserves sont faibles devant la recharge, la croissance sera rapide et la limite atteinte rapidement. Dans le sens contraire, l'évolution sera plus lente bien que tendant vers la même limite.

3.1.2 Critique des hypothèses retenues

Cette méthode basée sur le principe des concentrations progressives suppose à la fois :

- que les exhaures de nappe correspondent aux apports de la pluie efficace alors qu'en réalité, elles ne représentent qu'un volume de 400 millions de m³/an, soit le tiers du renouvellement annuel de l'aquifère. Le solde du renouvellement correspond aux apports des rivières vosgiennes et du Rhin dont la teneur en nitrates est comprise entre 5 et 10 mg/l.
- que la quantité de nitrates injectée dans la nappe se maintienne dans le temps. En réalité, les consommations d'engrais de même que les surfaces cultivées ont régulièrement augmenté en Alsace au cours des années passées et il conviendrait en toute rigueur de tenir compte de cet accroissement.

On s'aperçoit que les deux hypothèses retenues ont tendance d'une part à surestimer (non prise en compte de la dilution), d'autre part, à sous-estimer (non prise en compte de l'augmentation des engrais utilisés) les teneurs d'équilibres en nitrates. Il reste toutefois délicat d'affirmer que ces deux tendances opposées tendent à s'annuler.

3.2 Méthodologie utilisée

Afin de déterminer la concentration finale en nitrates au droit des puits destinés à l'alimentation en eau potables (A.E.P.), la méthodologie suivante a été adoptée :

- tracer, à partir de la formule de récurrence du § 3.1, d'une série d'abaques associées aux différents facteurs de dilution de l'aquifère pour des concentrations limites comprises entre 20 et 200 mg/l (cf. abaques de l'annexe 1);
- tracer à la même échelle, de l'historique des teneurs en nitrates des différents puits AEP entre 1970 et 1987 et détermination du facteur de dilution "a" de chacun de ces points;
- superposition de ce graphique d'évolution à l'abaque de même coefficient "a" (en maintenant les axes parallèles), ce qui permet d'apprécier pour chaque ouvrage sa concentration d'équilibre finale en nitrates.

Cette manière de procéder, ne tenant pas compte du facteur temps, a été complétée par une esquisse des teneurs en nitrates susceptibles d'être atteintes en l'an 2000.

4. PRESENTATION DES RESULTATS OBTENUS

4.1 Calcul du facteur de dilution "a"

Le facteur de dilution correspond au rapport entre les réserves de l'aquifère et les apports des pluies efficaces (V/v).

- les apports des pluies (cf. figure 1 de la page suivante) ont été déterminés à partir des pluies efficaces moyennes des 20 dernières années de tous les postes pluviométriques existants en Alsace.

Ils ont été calculés d'après la méthode de Thornthwaite en supposant une capacité de rétention du sol égale à 100 mm.

L'examen de la figure 1 montre que ces apports varient entre 80 et 300 mm/an. Les pluies efficaces maximales correspondent à la plaine de l'Ochsenfeld (débouché de la vallée de la Thur) alors que le secteur caractérisé par des apports inférieurs à 100 mm s'étend au centre plaine d'Ensisheim à Strasbourg.

- En ce qui concerne les réserves de l'aquifère, nous avons considéré une porosité totale uniforme de 25 % et supposé que les apports en nitrates étaient limités aux 50 premiers mètres de l'aquifère. En effet, des études ponctuelles ont montré qu'au delà de cette profondeur, les concentrations en nitrates étaient pratiquement nulles. Il convient de remarquer à ce sujet que l'accroissement des teneurs en nitrates, observé sur les puits AEP de Strasbourg ou de Colmar, qui sollicitent la nappe au delà de 50 m de profondeur doit être attribué à des apports de surface localisés au droit des puits (cône de dépression de pompages maintenus en permanence) et non pas à des variations de concentration en nitrates des strates inférieures de l'aquifère.

Le tableau récapitulatif des résultats (annexe 2) présente pour les 149 ouvrages recensés (85 dans le Bas-Rhin, 64 dans le Haut-Rhin) les valeurs du facteur de dilution "a" qui sont comprises entre 10 et 140.

Ces valeurs sont minimales (facteur de dilution important) dans les secteurs de nappe caractérisés par une faible épaisseur d'alluvions et une pluie efficace supérieure à 200 mm :

- bassin potassique (entre 10 et 20),
- nappe du Pliocène de Haguenau (entre 20 et 30),
- secteur de Bâle-Mulhouse (entre 20 et 30)
- limite occidentale des alluvions (< 50).

Elles sont maximales au centre plaine (supérieure à 100) qui se caractérise à la fois par une épaisseur d'alluvions supérieure à 50 m et des pluies efficaces voisines de 100 mm/an.

4.2 Courbes d'évolution des teneurs en nitrates

4.2.1 Généralités

L'exploitation de la banque de données régionale Eau du SGAL a permis de tracer les courbes d'évolution en NO_3 des 149 forages situés en plaine d'Alsace. L'annexe 3 présente un échantillonnage de ces différents graphiques.

L'analyse de ces graphiques permet de souligner quatre remarques essentielles :

- 1) - dans les secteurs de nappe caractérisés par un taux de renouvellement important ("a" faible), les teneurs en nitrates présentent une forte amplitude de variation, avec un "bruit de fond" des concentrations relativement élevé, proche des 20 mg/l :

puits 199-3-19 à Mothern (a = 10),
puits 234-1-24 à Mommenheim (a = 20),
puits 307-4-2 à Zellwiller (a = 48),
puits 445-3-2 à Schlierbach (a = 10).

Il en est de même pour les puits soumis à une forte contamination industrielle comme, par exemple, le puits 413-4-4 de Chalampé (a = 80), en aval des puits de fixation Rhône-Poulenc qui vraisemblablement n'interceptent pas en permanence la contamination engendrée par cet établissement.

- 2) - Dans les secteurs de nappe ou par contre le taux de renouvellement est faible ("a" élevé), les courbes sont plus atténuées, le bruit de fond des concentrations en NO_3 avant 1970 se maintenant à moins de 10 mg/l : cf. graphiques des puits suivants :

puits 234-6-1 d'Oberhausbergen (a = 85),
puits 234-7-24 de Reichstett (a = 85),
puits 272-3-1 du Polygone à Strasbourg (a = 75),
puits 342-7-1 du Grosser Dornig à Colmar (a = 105).

- 3) - A proximité du Rhin, l'évolution des teneurs en NO_3 dans la plupart des puits superficiels ne marque aucune tendance et se stabilise vers 10 mg/l (cf. puits 199-3-43 de Seltz, puits 199-3-20 à Lauterbourg).
- 4) - Dans les sables pliocènes de Haguenau, compte-tenu de l'absence de culture (forêt de Haguenau) et d'un milieu plus ou moins réducteur, les teneurs en nitrates sont pratiquement nulles (cf. puits 198-8-20 de Kaltenhouse).

En dehors de ces remarques, on peut signaler un certain nombre de points particuliers tels :

- le décrochement vers le haut de la courbe des nitrates en 1975 sur la plupart des puits du Polygone (272-3-1). Il doit être mis en relation avec un changement du régime de la nappe : accentuation des apports d'eau plus nitrates en provenance du centre plaine, provoqué par la construction de la darse IV.
- la différence de teneur pouvant apparaître au niveau de plusieurs ouvrages faisant partie d'un même champ captant. Cette différence peut être attribuée à l'extension de leurs zones d'emprunt respectives mais est la plupart du temps liée à la différence de profondeur entre ces puits, comme par exemple les deux puits d'Erstein : 272-6-6 et 308-2-59, crépinés entre 12 et 26 m (28 mg/l de NO_3) et entre 26 et 60 m (15 mg/l).

4.2.2 Evolution des teneurs en nitrates entre 1970 et 1987

Le tableau de synthèse des teneurs moyennes annuelles en nitrates par point de prélèvement, illustré figure 2, a permis de visualiser à l'échelle annuelle l'accroissement des teneurs moyennes en nitrates à l'échelle de l'Alsace et des deux départements.

Le tableau de la page suivante récapitule les différents chiffres obtenus au cours de la période 1970-87. Bien que ne se rapportant pas au même échantillonnage, il convient néanmoins de remarquer que cette évolution des teneurs (cf. figure 3) qui sont passées de 12 à 20 mg/l en moyenne de 1970 à 1987 (soit 1/2 mg/l de plus par an) peut être mise en parallèle avec les courbes des quantités d'azote épandables à l'hectare fertilisable, publiées par la Mission "Eau-Nitrates" des Ministères de l'Agriculture et de l'Environnement (cf. figure 4). Ces deux figures permettent de visualiser de façon très explicite, tant au niveau régional que pour chaque département, les relations entre l'élévation des teneurs en nitrates observée dans la nappe et la consommation d'engrais. On observe en particulier :

- une stabilité des courbes de 1970 à 1974,
- une augmentation très sensible depuis cette date avec des "creux" en 1981 et 1983. On observe en outre une nette différence entre le Bas-Rhin où les teneurs évoluent peu depuis 10 ans, et le Haut-Rhin où les teneurs augmentent régulièrement.

5. CARTOGRAPHIE DES TENEURS FUTURES EN NITRATES

5.1 Remarques préliminaires

Si l'on fait abstraction du facteur temps, la concentration limite d'équilibre en nitrates est, d'après la formule présentée au § 3.1, uniquement liée au facteur de dilution "a" et à la charge en nitrates injectée.

D'après les différentes études effectuées, la perte en nitrates qui rejoint la nappe équivaut à 40 unité d'azote par hectare de céréales (bien géré d'un point de vue fumure). Cette charge correspond à des teneurs injectées de près de :

- 120 mg/l de NO_3 pour une pluie efficace de 150 mm,
- 180 mg/l de NO_3 pour une pluie efficace de 100 mm.

Ces teneurs limites qui peuvent paraître excessives seront atteintes au bout d'un nombre d'années plus ou moins long. Elles ne tiennent évidemment pas compte de l'impact éventuel des apports des cours d'eau qui atténuent localement cette teneur limite, ni de celui des fertilisations excessives.

5.2 Carte des teneurs d'équilibre en nitrates

La superposition des courbes d'évolution en nitrates de chaque ouvrage avec l'abaque de calcul des concentrations d'équilibre associé (même facteur de dilution "a") a permis de définir les teneurs potentielles en nitrates en chaque point (cf. annexe 2, tableau des résultats).

Années	Bas-Rhin		Haut-Rhin		Alsace	
	Nombre de points	Moyenne	Nombre de points	Moyenne	Nombre de points	Moyenne
1970	62	11,1	32	15	94	12,4
1971	55	12,1	40	11,5	95	11,8
1972	59	10,6	42	12,4	101	11,4
1973	59	11,4	42	13,1	101	12,1
1974	35	10,9	38	10,7	73	10,8
1975	40	12,6	48	15,5	88	14,2
1976	74	17,8	47	18,4	121	18,1
1977	77	16,0	41	19,8	118	17,3
1978	78	16,4	44	18,5	122	17,2
1979	77	16,9	41	21,2	118	18,4
1980	82	15,6	51	22,4	133	18,2
1981	81	15,2	49	21,8	130	17,7
1982	82	17,1	44	23,0	126	19,1
1983	81	18,1	53	24,3	134	20,5
1984	76	16,5	31	22,0	107	18,1
1985	78	16,7	33	20,8	111	17,9
1986	77	18,0	37	26,4	114	20,7
1987	75	18,7	21	23,6	96	19,8

TABLEAU DES TENEURS MOYENNES ANNUELLES EN NO₃ (mg/l)

L'annexe 4 illustre la distribution géographique de ces teneurs d'équilibre.

Pour le dessin de cette carte, nous avons tenu compte du contexte géographique en gardant sous forêt et dans les zones d'infiltration massive des cours d'eau (Ill, Rhin, Vallées vosgiennes) les faibles teneurs observées tant vers 1970 qu'en 1983.

L'analyse de ce document permet de dégager les principaux commentaires suivants :

- Les teneurs inférieures au seuil de potabilité (< 50 mg/l) seront limitées :
 - . dans le département du Bas-Rhin, au secteur Nord de Strasbourg et de la frange rhénane en aval de Marckolsheim;
 - . dans le département du Haut-Rhin, aux secteurs du Bassin Potassique, de la Doller et de la forêt de la Hardt.
- Partout ailleurs, les concentrations en nitrates dépasseront le seuil de potabilité. Les secteurs à forte concentration en NO_3 (> à 100 mg/l) s'étendraient :
 - . au droit des anomalies nitratées actuelles : bordure occidentale des alluvions, anomalie de Fessenheim,
 - . dans un nouveau secteur de nappe, en rive droite de l'Ill, entre Marckolsheim et Geispolsheim (teneurs actuelles voisines de 25 mg/l) caractérisé d'un point de vue géologique par un recouvrement limoneux (cultures intensives).

En ce qui concerne les teneurs d'équilibre des puits d'alimentation en eau potable des principales agglomérations alsaciennes, il convient de noter que si l'eau distribuée par Strasbourg et Mulhouse restera en deçà des normes de potabilité, les puits de Colmar atteindraient, à terme, environ 60 mg/l. Cette teneur n'est cependant pas alarmiste dans la mesure où les calculs effectués montrent que le seuil des 50 mg/l serait atteint d'ici une centaine d'année (en supposant la poursuite des pratiques culturelles actuelles).

5.3 Carte des teneurs en nitrates à l'horizon 2000

Afin d'intégrer le facteur temps à l'étude prospective des concentrations futures en nitrates, nous avons calculé pour chaque ouvrage l'accroissement prévisible des teneurs à l'horizon 2000.

Ces teneurs ont été calculées à partir de la formule du § 3.1, en additionnant au "bruit de fond" naturel de la nappe l'augmentation de teneur correspondant à un nombre d'années égal à l'an 2000 moins l'année de départ de l'accroissement constaté sur les graphiques d'évolution des nitrates (annexe 3).

Ces teneurs prévisibles en l'an 2000 sont consignées en annexe 2. Compte tenu du taux de renouvellement relativement faible de la nappe des alluvions du Rhin ("a" généralement > 100), ces concentrations prévisibles restent du même ordre de grandeur que les concentrations actuelles.

En effet, les valeurs moyennes passent de 20 à 26 mg/l, le seuil de potabilité (50 mg/l) étant atteint ou dépassé en 11 % des points en l'an 2000, alors qu'actuellement 6 % des forages dépassent cette norme et qu'aucun ouvrage n'atteignait cette limite en 1970. (cf. histogramme des teneurs en NO₃, figure 5).

La représentation cartographique des teneurs prévisibles en l'an 2000 (cf. annexe 5) recoupe tout à fait la carte des teneurs en nitrates de l'état actuel :

- teneurs élevées, supérieures aux normes de potabilité, le long de la bordure vosgienne des alluvions ainsi que dans les secteurs de Fessenheim et de Bâle-Mulhouse;
- teneurs inférieures à 20 mg/l le long du Rhin, dans le secteur alluvial Nord de Strasbourg, ainsi qu'aux débouchés des vallées vosgiennes.

Par rapport à la carte des teneurs potentielles en nitrates (annexe 4), il convient de remarquer que le secteur central de la plaine au Nord de Marckolsheim, qui se caractérisait par des teneurs supérieures à 100 mg/l, reste en deçà des normes de potabilité. Les teneurs prévisibles dans ce secteur restent, en effet, comprises entre 35 et 50 mg/l.

CONCLUSIONS

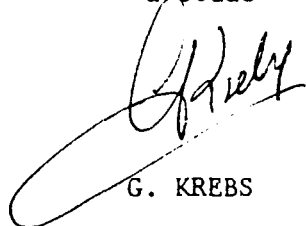
L'étude prospective de la teneur potentielle en nitrates de la nappe phréatique de la plaine d'Alsace a été réalisée à partir de la technique des concentrations progressives. Bien qu'imparfaite, cette méthode aisée à mettre en pratique a permis :

- d'une part, d'apprécier les teneurs en nitrates susceptibles d'être atteintes à long terme;
- d'autre part, d'esquisser une carte des teneurs en nitrates en l'an 2000.

Si d'ici une quinzaine d'années, on n'enregistre pas de variations catastrophiques des teneurs en nitrates au droit des principaux puits de distribution d'eau potable, il convient de prendre dès à présent des mesures destinées à limiter les apports d'azote à la nappe. En effet, les pratiques agricoles actuelles qui sont, pour l'essentiel, à l'origine des anomalies nitratées existantes, engendreront des teneurs d'équilibre en NO_3 voisines ou supérieures à 100 mg/l (le double du seuil de potabilité) sur la plus grande partie de la nappe, à l'exclusion :

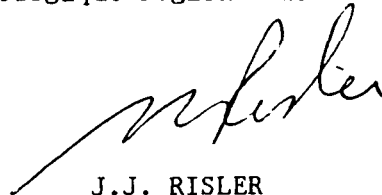
- du secteur Nord de Strasbourg,
- des secteurs boisés de Haguenau et de la Hardt,
- des secteurs soumis à des infiltrations massives des cours d'eau (débouchés des vallées vosgiennes, zone de débordement de l'Ill au niveau de Sélestat, zone de bordure rhénane).

L'Ingénieur chargé
d'étude



G. KREBS

Le Directeur du Service
Géologique Régional Alsace



J.J. RISLER