

**BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES**

**SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL**

B.P. 6009 – 45018 Orléans Cédex – Tél.: (38) 63.00.12

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT  
INDUSTRIEL ET SCIENTIFIQUE

---

REPARTITION DU FLUOR  
DANS LES EAUX DE QUELQUES AQUIFÈRES LORRAINS

---

MAI 1977

J. RICOUR B.r.g.m.SGR/LOR  
A. LANDREAU B.r.g.m.-HYD  
S. RAMON AFBRM



**Service géologique régional LORRAINE**

77, avenue du Général-Leclerc - 54000 NANCY

Tél.: (28) 51.43.51 et 51.46.60

## S O M M A I R E

-----

- 1 - Préambule
- 2 - Répartition du fluor dans les eaux de quelques aquifères lorrains
  - 2.1. Calcaires du Portlandien
  - 2.2. Calcaires du Kimméridgien
  - 2.3. Calcaires de l'Oxfordien
  - 2.4. Calcaires du Dogger
  - 2.5. Grès du Trias
- 3 - Comparaison avec les données disponibles sur d'autres aquifères
  - 3.1. Calcaires du carbonifère
  - 3.2. Craie du Turonien - Sénonien
  - 3.3. Autres aquifères
- 4 - Facteurs influençant la géochimie du fluor dans les eaux souterraines
  - 4.1. Analyse en composantes principales
  - 4.2. Facteurs influençant la géochimie du fluor
- 5 - Conclusions

## R E S U M E

-----

L'examen de la répartition du fluor dans les eaux souterraines de quelques réservoirs aquifères (grès du Trias, calcaires du Dogger, calcaires de l'Oxfordien, calcaires du Portlandien en Lorraine principalement) et l'analyse statistique des résultats a permis de préciser l'évolution des concentrations en fluor en nappe captive ainsi que les facteurs influençant la géochimie de cet élément dans les eaux souterraines. Les fortes concentrations en fluor observées sur les eaux de certains réservoirs aquifères profonds paraissent être liées aux phénomènes d'échange de base entre la matrice argilo-calcaire ou sablo-argileuse des réservoirs ; ce processus paraît d'autant plus important que les temps de transfert sont longs et la perméabilité du réservoir plus faible en nappe captive. Des analyses réalisées sur les isotopes de l'hydrogène (calcaires portlandiens du Barrois, calcaires du Dogger en Woëvre) sembleraient confirmer cette hypothèse.

## 1 - PREAMBULE -

L'étude de la répartition du fluor dans les eaux souterraines a déjà été abordée par de nombreux auteurs.

Ce métalloïde nocif à fortes doses peut provoquer des lésions importantes (arthrose, déficience rénale) ; fréquent dans les eaux souterraines à des concentrations variant de 0,15 à 13-14 mg/l, de fortes teneurs ont été relevées sur les eaux de forages profonds de la Woëvre, dans le département de la Meuse, en 1976.

La présente note tente d'approfondir les phénomènes qui conduisent à ces concentrations anormales dans les eaux des calcaires du Bajocien inférieur et moyen. L'examen de la géochimie du fluor dans quelques autres aquifères permettra de mettre en lumière les mécanismes qui semblent conduire à des concentrations élevées en fluor dans les eaux souterraines.

## 2 - REPARTITION DU FLUOR DANS LES EAUX DE QUELQUES AQUIFERES LORRAINS -

### 2.1. Calcaires du Portlandien inférieur

Dans le département de la Meuse, ceux-ci constituent les côtes du Barrois et s'enfoncent progressivement sous couverture crétacée vers le Sud-Ouest. Ces calcaires fissurés sous couverture à l'Ouest de Bar-le-Duc sont massifs sous recouvrement au Nord-Est de la Meuse.

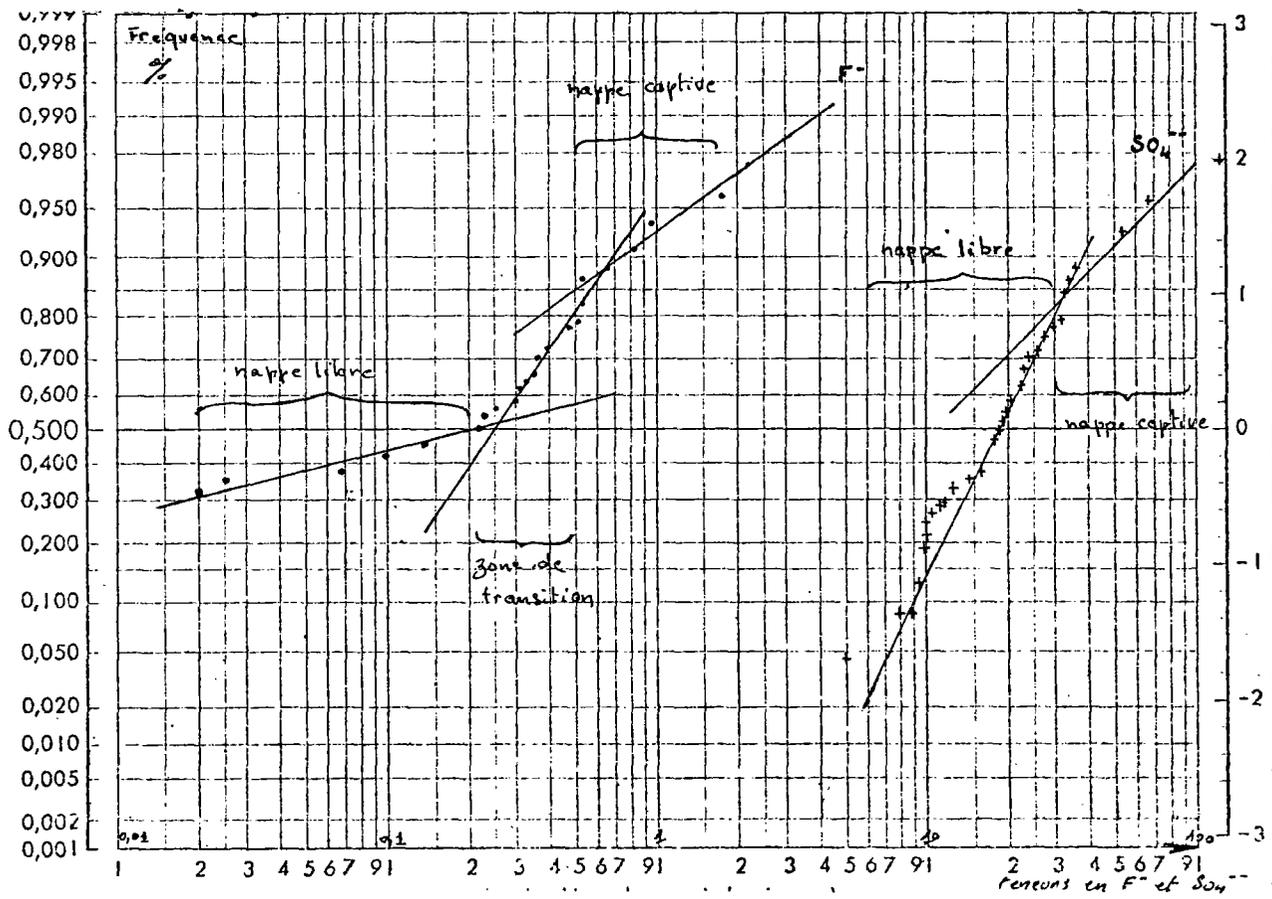
Vingt huit analyses complètes effectuées sur des eaux de sources ou de forages ont permis de mettre en évidence les résultats suivants :

- valeur moyenne de la concentration en fluor :
  - . nappe libre (19 valeurs) = 0,31 mg/l
  - . nappe captive (9 valeurs) = 1,07 mg/l



AJUSTEMENT D'UN ECHANTILLON DE TENEURS EN FLUOR  
 A LA LOI GAUSSO-LOGARITHMIQUE

Fluor et sulfates dans les eaux des Calcaires portlandiens du Barrois (44 analyses)



- valeur moyenne du rapport alcalins/alcalino-terreux :
  - . nappe libre = 0,07
  - . nappe captive = 0,45

- valeurs extrêmes enregistrées sur un échantillonnage de 44 valeurs :

	MAXIMUM	MINIMUM
SITUATION DE L'OUVRAGE	Le Neufour (55) 160.4.1008	Nantois (55) 227.8.39
TYPE DE CAPTAGE	Forage	Source
ETAT DE LA NAPPE	Captive	Libre
F <sup>-</sup> mg/l	2,2 à 2,6 mg/l	0,007 mg/l
SO <sub>4</sub> <sup>---</sup> mg/l	122 à 190 mg/l	5 mg/l
$\frac{Na + K}{Ca + Mg}$	3,05	0,013

Ces quelques données permettent de noter :

- un accroissement des teneurs en ion fluor en nappe captive, variant dans le même sens que les concentrations en sulfates et que le rapport  $\frac{Na + K}{Ca + Mg}$  ;
- une grande dispersion des teneurs en fluor en nappe libre. Ceci semble être lié, pour l'essentiel, à l'influence des activités humaines et aux variations d'alimentation naturelle de la nappe.

## 2.2. Calcaires du Kimméridgien

En Lorraine, les calcaires du Kimméridgien constituent deux niveaux aquifères dont mur et substratum sont représentés par les marnes à Exogyres ; seules dix analyses complètes sont disponibles sur ces réservoirs, d'importance très locale :

VALEURS MOYENNES			
	F <sup>-</sup> en mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> en mg/l	$\frac{Na + K}{Ca + Mg}$
PUITS ou FORAGES:	0,38	27	0,018
SOURCES	0,17	33	0,011
MOYENNE GENERALE:	0,38	27,9	0,018

Les valeurs extrêmes mesurées sont résumées ci-dessous :

	MAXIMUM	MINIMUM
SITUATION DE L'OUVRAGE	Bouée (55) 221.6.41	Culey (55) 227.3.10
TYPE DE CAPTAGE	Forage	Source
ETAT DE LA NAPPE	Captive	Libre
F <sup>-</sup> en mg/l	1,4	0,020
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> en mg/l	51	14
$\frac{Na + K}{Ca + Mg}$	0,03	0,01
OBSERVATION	Séquanien + Kimméridgien	Kimméridgien

Les remarques similaires à celles formulées pour les eaux des calcaires portlandiens du Barrois paraissent pouvoir être étendues aux eaux des calcaires Kimméridgiens en nappe captive.

2.3. Calcaires de l'Oxfordien (= Argovo-Rauracien)

Cette puissante série de calcaire oolithique et récifal constitue les rives de la Meuse et s'enfonce progressivement vers l'Ouest sous le recouvrement marneux et marno-calcaire du Kimméridgien - Séquanien. Cinquante huit analyses partielles ou complètes étaient disponibles sur les eaux de cet aquifère d'importance primordiale pour la Lorraine. La répartition des teneurs en fluor sur un échantillonnage de 51 valeurs est résumée dans le tableau ci-dessous :

TYPE D'OUVRAGE	F <sup>-</sup> en mg/l	$\frac{Na + K}{Ca + Mg}$	OBSERVATIONS
Puits ou forage	0,40 mg/l	0,04	:En général, nappe :semi-captive (aqui- :fère bicouche cal- :caire + alluvions)
Sources	0,27 mg/l	0,03	:Nappe libre (cal- :caire en affleure- :ment)

Les optima observés sont les suivants :

	MAXIMUM	MINIMUM
SITUATION DE L'OUVRAGE	GENICOURT (55) 162.5.5	AUBLY (55) 162.5.54
TYPE DE CAPTAGE	Forage	Source
ETAT DE LA NAPPE	Captive	Libre
F <sup>-</sup> mg/l	1,20 mg/l	0,09 mg/l
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	25,5 mg/l	12,5 mg/l
$\frac{\text{Na} + \text{K}}{\text{Ca} + \text{Mg}}$	0,23	0,01

Outre les remarques déjà formulées pour la nappe des calcaires du Portlandien et du Kimméridgien, on notera que :

- la teneur en fluor des eaux du forage ORTF de Moulainville est relativement élevée (0,82 mg/l pour une moyenne de 0,28 mg/l portant sur 58 valeurs) ; ceci paraît correspondre au niveau très profond de la nappe des calcaires de l'Oxfordien (environ 90 m/sol naturel) et à une tranche d'aquifère saturé limitée (quelques mètres) ;
- la nappe des calcaires oxfordiens, en position sous-alluviale, présente les teneurs en fluor supérieures à celles enregistrées sur les sources ; ceci pourrait être lié :
  - . d'une part, à un cheminement plus long des eaux souterraines, maximum au niveau de la nappe alluviale de la Meuse qui draine l'ensemble de ce réservoir,
  - . d'autre part, aux activités humaines concentrées le long de la vallée de la Meuse.



#### 2.4. Calcaires du Dogger

La puissante série marno-calcaire du Dogger, qui constitue les Côtes de Moselle, représente un aquifère multicouche dont certains écrans marneux sont discontinus (passages latéraux importants). Le principal réservoir est formé par les calcaires oolithiques et récifaux du Bajocien inférieur et moyen qui présente la particularité d'être drainé localement à sa partie basale par le biais de l'exhaure des mines de fer.

Cinquante trois analyses complètes sont disponibles sur ce réservoir dont 25 ont été réalisées en 1975 sur les eaux d'exhaure du Bassin d'Ottange - Amermont, par l'Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse. La moyenne de la teneur en fluor des eaux d'exhaure est de 0,76 mg/l (écart type = 0,30 mg/l). Cette moyenne relativement élevée peut être mise en parallèle avec l'accroissement des teneurs en sulfates et de la dureté des eaux stockées dans les albraques des mines du bassin de Briey et d'Hayange.

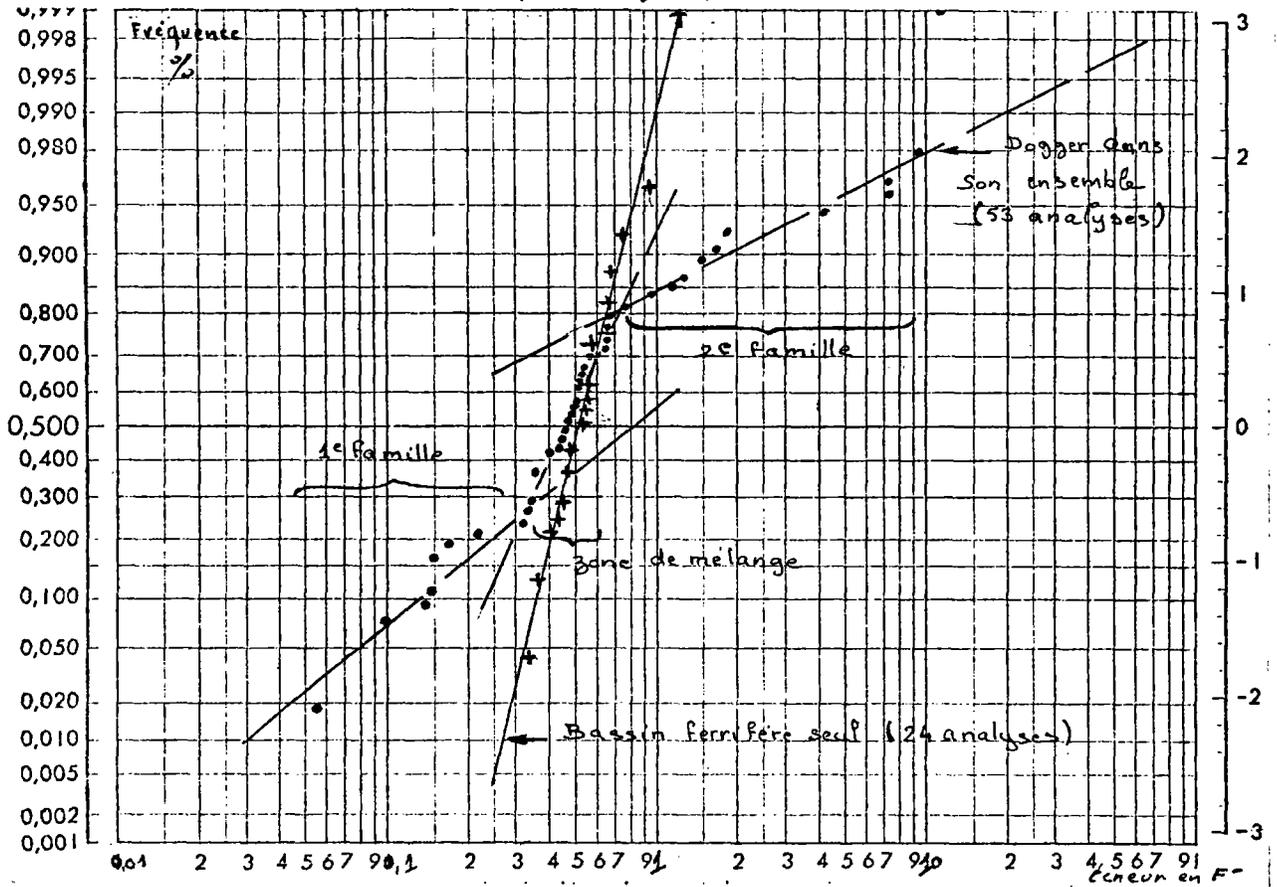
Les données disponibles sur les sources et forages (16 analyses) montrent une teneur moyenne de 2,54 mg/l. La valeur maximale a été enregistrée sur le forage d'Herméville-en-Woëvre (136.6.32) avec une concentration de 11,50 mg/l.

Les résultats de quelques analyses provenant d'échantillons prélevés sur des forages de la Woëvre (secteur d'Étain) ont été représentés, ci-contre, sous forme de diagramme de Piper ; l'accroissement de la teneur en fluor s'accompagne d'une modification sensible de la géochimie des eaux : aux faibles concentrations, correspondent des eaux bicarbonatées calciques et aux fortes concentrations des eaux sulfatées et chlorurées sodiques.

AJUSTEMENT D'UN ECHANTILLON DE TENEURS EN FLUOR  
 A LA LOI GAUSSO-LOGARITHMIQUE

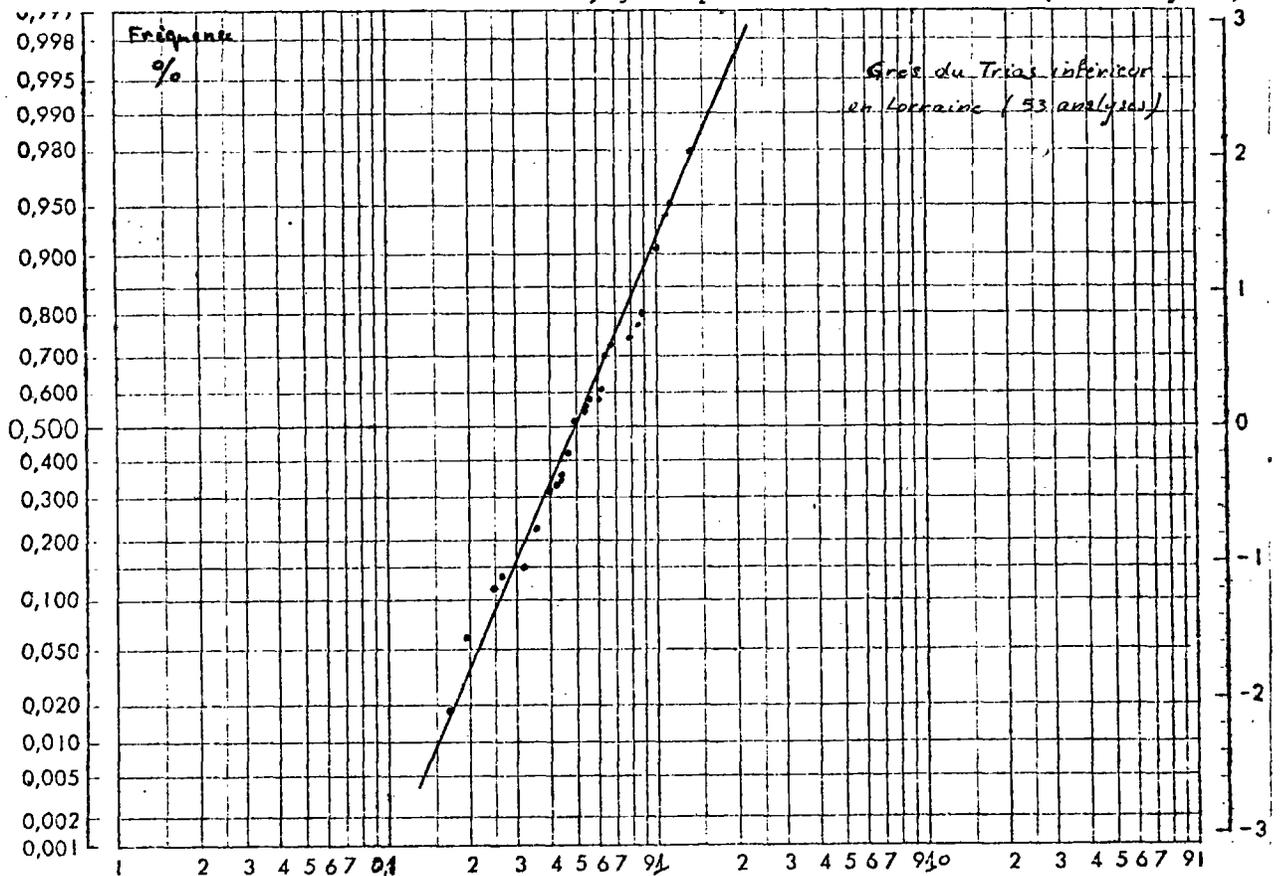
1) Fluor dans les eaux des calcaires du Dogger en Lorraine

- ◆ ensemble du Dogger, y compris Bassin ferrifère (53 analyses)
- + Bassin ferrifère seul (24 analyses)



2) Fluor dans les eaux des grès du Trias inférieur en Lorraine

- ensemble du Trias inférieur, y compris Bassin houiller (53 analyses)



Un essai d'ajustement de l'échantillonnage disponible des teneurs en fluor à une loi gausso-logarithmique met en évidence :

- une seule famille quand les eaux d'exhaure sont traitées indépendamment (concentration en fluor comprise entre 0,32 et 1,3 mg/l),
- deux familles quand l'ensemble de l'échantillonnage est traité globalement, avec une zone de transition pour des concentrations variant de 0,3 à 0,6 mg/l. La 1ère famille semble correspondre à la nappe à l'état libre (forage peu profond en zone d'affleurement et sources), la 2ième à la nappe en charge sous couverture.

F étant la teneur en fluor, C la conductivité et A le rapport  $\frac{\text{Na} + \text{K}}{\text{Ca} + \text{Mg}}$  mesuré sur les 16 analyses des eaux du Bajocien en nappe captive, la corrélation suivante a pu être établie :

$$F = 0,409 \cdot A + 1490 \cdot C - 0,338$$

avec les valeurs moyennes :

$$\bar{F} = 2,538 \text{ mg/l} \quad \bar{C} = 0,0009 \mu\text{s} \quad \bar{A} = 3,923$$

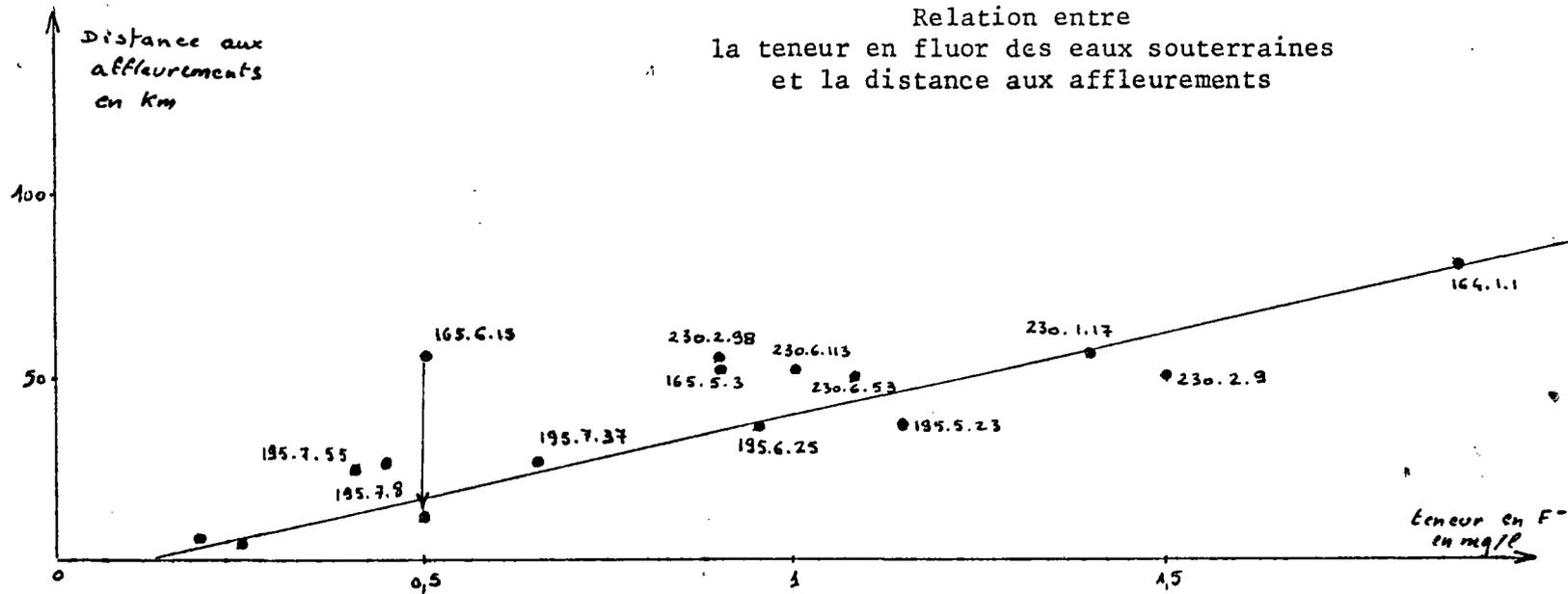
et un coefficient de corrélation entre ces variables de 0,96

## 2.5. Grès du Trias inférieur

Ce réservoir gréseux qui forme une auréole sur l'ensemble du versant ouest des Vosges, s'enfonce progressivement sous couverture vers le centre du Bassin Parisien. Exploité de façon intensive pour l'alimentation en eau des collectivités et des industries à l'Est du méridien Nancy - Metz et, plus particulièrement, en secteur d'affleurement au niveau du bassin houiller, ce réservoir aquifère est relativement bien connu du point de vue hydrogéologique.

Grès du Trias inférieur en Lorraine

Relation entre  
la teneur en fluor des eaux souterraines  
et la distance aux affleurements



La moyenne des concentrations en fluor est de 0,47 mg/l pour le bassin houiller lorrain (écart type 0,20 pour 28 valeurs) et de 1,87 mg/l en nappe captive sous recouvrement (écart type 0,06 pour 24 valeurs).

Un ajustement d'un échantillonnage des teneurs en fluor (53 analyses) suivant une loi lognormale montre une seule famille homogène. La relation entre la teneur en fluor et "la distance aux affleurements" (longueur de la ligne de courant entre le point de prélèvement et les affleurements situés à l'amont-nappe) a été établie ci-contre. Cette relation apparaît comme sensiblement linéaire, un seul point s'écartant de la valeur moyenne ; ce point correspond à la bordure sud du bassin houiller où les écoulements naturels des eaux souterraines sont perturbés par l'exhaure minière.

F étant la teneur en fluor, C la conductivité et A le rapport  $\frac{Na + K}{Ca + Mg}$  des eaux des grès du Buntsandstein en nappe captive, la relation suivante a pu être établie par corrélation à partir de 24 analyses :

$$F = 1,701 A - 85,3 C - 1,005$$

avec un coefficient de corrélation de 0,97.

### 3 - COMPARAISON AVEC LES DONNEES DISPONIBLES SUR D'AUTRES AQUIFERES -

#### 3.1. Calcaires carbonifères

La géochimie des eaux de cet aquifère calcaire, captif dans les Flandres françaises, a été étudiée (S. RAMON - 1972). Soit F la teneur en fluor des eaux, C la conductivité et A le rapport alcalins sur alcalino-terreux ( $Na + K / Ca + Mg$ ). Les résultats suivants ont été obtenus sur un échantillonnage portant sur 23 analyses :

$$\begin{array}{ll} \text{moyenne } \bar{F} = 1,336 \text{ mg/l} & \text{écart type } \sigma_F = 0,82 \\ \bar{C} = 0,001 \mu\text{s} & \sigma_C = 0,001 \\ \bar{A} = 7,795 & \sigma_A = 11,377 \end{array}$$

F est liée aux variables C et A par la relation :

$$F = 4,66 A - 27350 C - 1,31$$

avec un coefficient de corrélation de 0,52.

La valeur optimale de la concentration en fluor observée en 1972 a été de 3,20 mg/l (forage de Mons-en-Baroeul 14.7.231) pour une teneur en sulfates de 146 mg/l.

### 3.2. Craie du Turonien - Sénonien

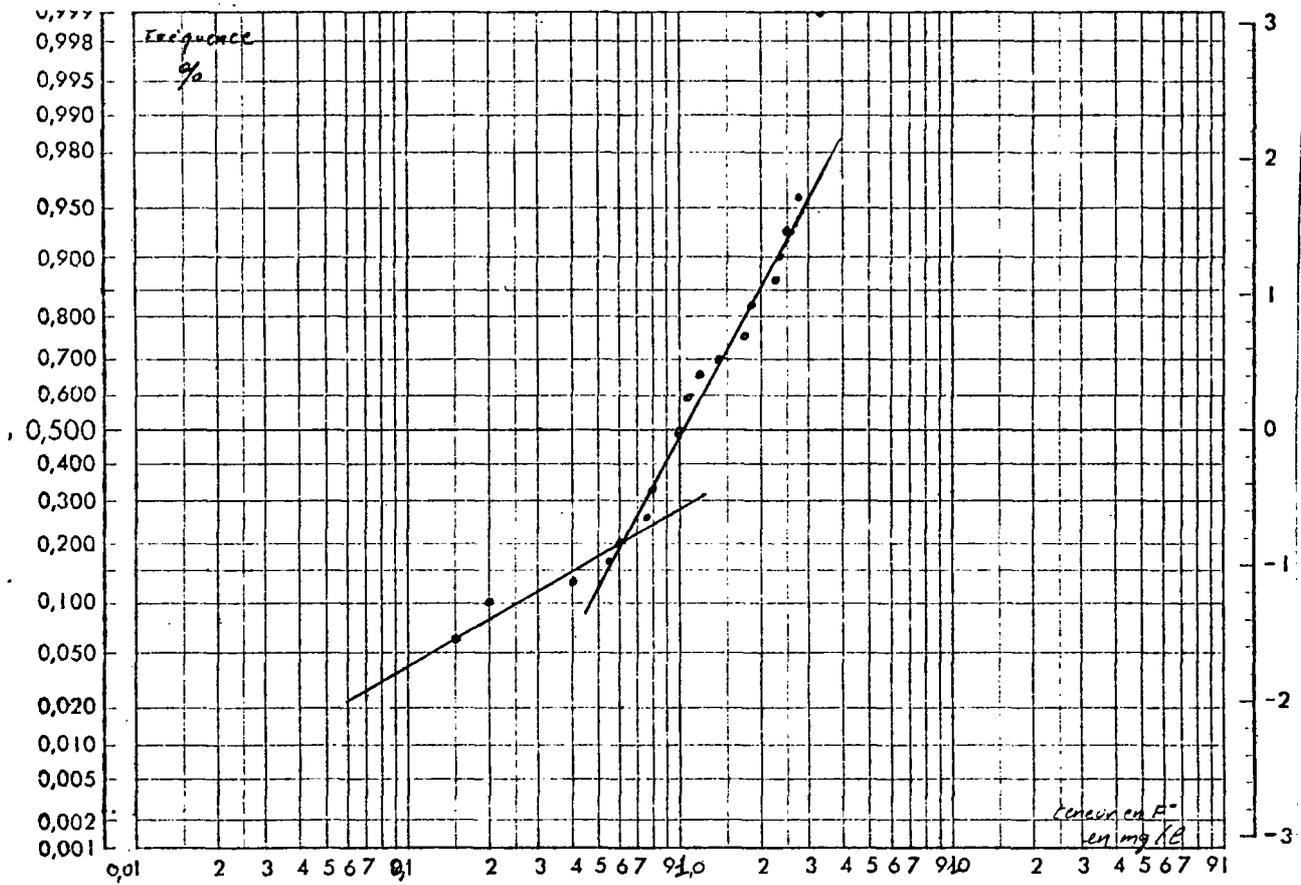
Cet aquifère dont les caractéristiques hydrogéologiques ont été bien étudiées dans l'Artois - Picardie (Bassin d'Orchies en particulier) a aussi été l'objet de recherches en Angleterre (Bassin de Londres en affleurement et sous couverture). Dans les deux cas (SUCKLING 1944, S.RAMON 1973), les eaux provenant de nappe captive présentent des teneurs en fluor notables (de 0,8 à 5 mg/l) et sont de type chloruré et sulfaté sodique.

Dans la région de Valenciennes, la moyenne des teneurs en fluor en nappe libre n'est que de 0,20 mg/l (38 analyses) alors qu'elle est de 1,24 mg/l en nappe captive (13 analyses) pour une valeur moyenne du rapport Na + K/Ca + Mg de 7,03 et une teneur moyenne en sulfates de 112 mg/l.

Dans la région parisienne (JL. LACHAIZE 1968), la valeur moyenne des teneurs en fluor et de 0,95 mg/l (11 analyses) pour la nappe de la craie.

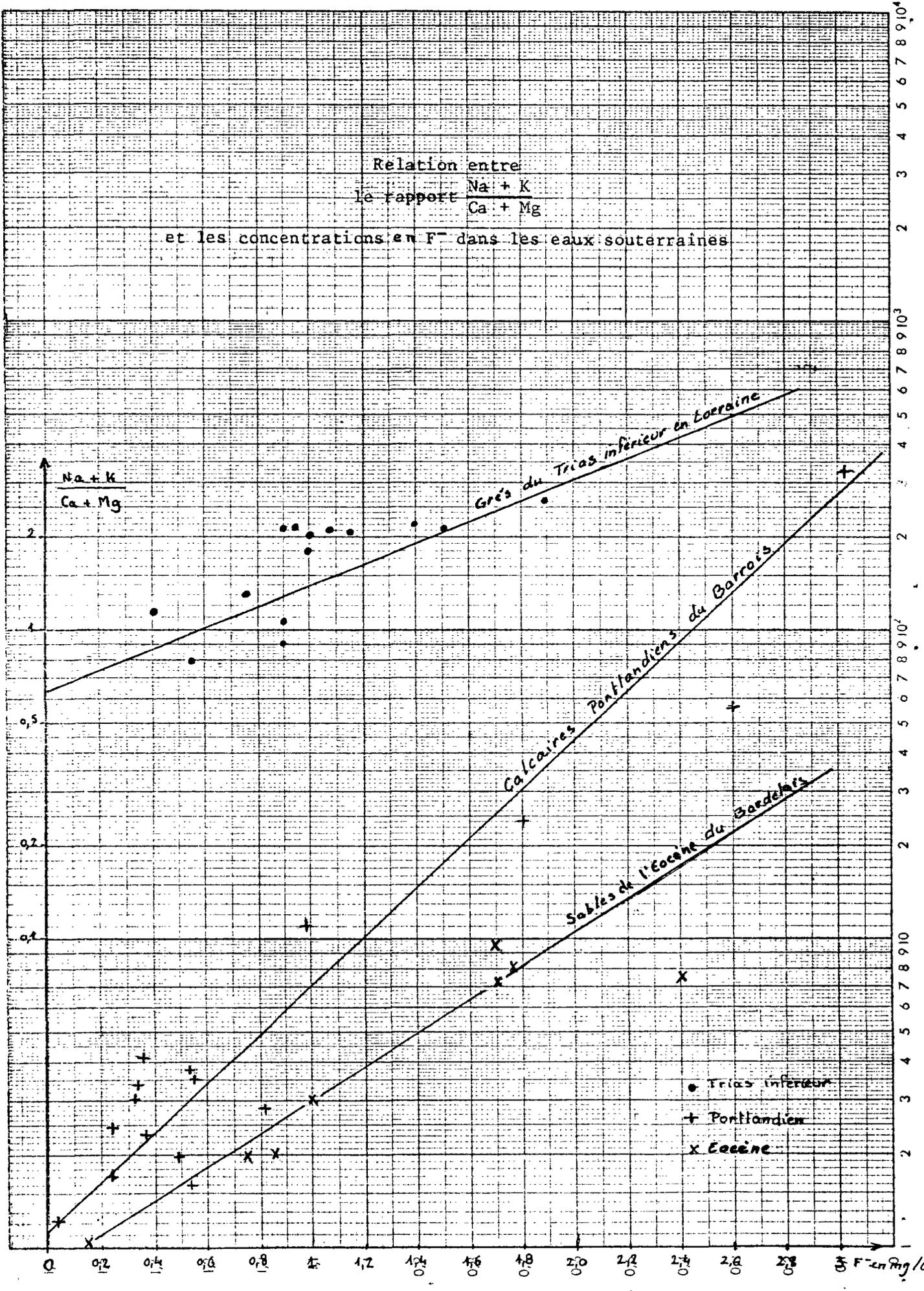
AJUSTEMENT D'UN ECHANTILLON DE TENEURS EN FLUOR  
A LA LOI GAUSSO-LOGARITHMIQUE

Fluor dans les eaux des Calcaires carbonifères des Flandres françaises  
(30 analyses).



Relation entre  
le rapport  $\frac{Na + K}{Ca + Mg}$

et les concentrations en  $F^-$  dans les eaux souterraines



### 3.3. Autres aquifères

Quelques données sont disponibles sur d'autres réservoirs aquifères et ont été résumées dans le tableau ci-après :

RESERVOIR AQUIFERE	REGION	ORIGINE DES DONNEES	NOMBRE D'ANALYSES	VALEURS MOYENNES TENEURS F (mg/l)
Sparnacien	Bassin de Paris	Thèse de JL. LACHAIZE 1968	17	1,01
Lutétien	Bassin de Paris	"	24	1,9
Sables albiens	Bassin de Paris	"	9	0,41
Calcaire de St- Ouen et de Cham- pigny	Bassin de Paris	"	7	0,43
Sables de l'Eocene	Bordelais	J. BARDY J. LAFOND GRELLETY 1975	8	1,34 (nappe captive)
Sables Landé- niens	Flandres	J. MANIA	2	7 (nappe captive)
Alluvions du Rhén	Alsace	D.D.A.	35	0,122 écart-type 0,036
Alluvions de la Moselle	Moselle	S.R.A.E.L.	29	0,85

A titre de référence, on peut noter que la teneur en fluor des eaux de pluies de la région parisienne, mesurée en 1968 par JL. LACHAIZE, est comprise entre 0,16 et 0,21 mg/l.

#### 4.1. Analyse en composantes principales

L'analyse en composantes principales portant sur 89 analyses, réparties sur 9 réservoirs aquifères (grès du Trias inférieur, calcaires dolomitiques du Muschelkalk en Lorraine, calcaires carbonifères des Flandres, Craie du Turonien - Sénonien du Valenciennois, calcaires du Dogger du bassin ferrifère Lorrain, calcaires portlandiens du Barrois, calcaires oxfordiens des Côtes de Meuse, calcaires Kimméridgien - Séquanien de Meuse, sables de l'Eocène moyen du Bordelais) a été tentée, en ne considérant que les résultats se rapportant à des nappes captives.

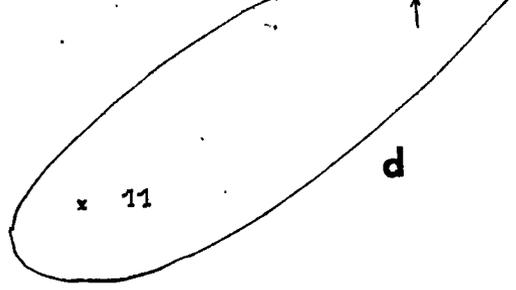
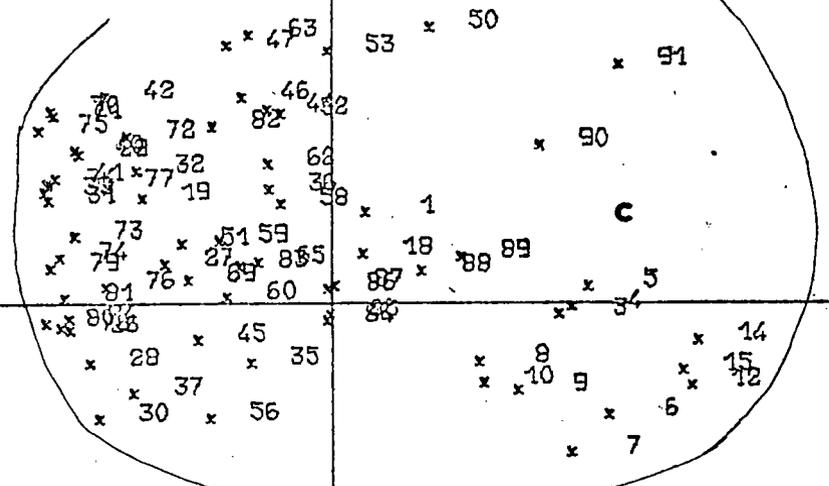
Les variables suivantes ont été prises en compte : indice de référence du point de prélèvement, température, résidu sec, calcium, magnésium, sodium, potassium, chlorure, sulfates, bicarbonates, rapport alcalin sur alcalino-terreux, fluor. En outre, on a tenté de tenir compte de la nature lithologique du réservoir en introduisant un indice numérique de 3 chiffres dont la somme est égale à 3. Ces 3 chiffres se rapportent successivement aux calcaires, sables et argiles (une argile sableuse étant représentée, par exemple, par l'indice 012).

Les 15 variables représentées peuvent être réduites en 3 groupes correspondant approximativement aux 3 axes factoriels. Ces 3 axes expliquent environ 65 % de la variance (63,45).

AXE 1. Comme dans toutes les analyses statistiques faites sur la chimie des eaux, le premier axe correspond à la minéralisation des eaux décrites, ici, principalement par la minéralisation totale (résidu sec à 105 °C) et par le chlorure de sodium sur le plan principal 1.2 concernant les échantillons ; les analyses situées à droite sur cet axe correspondent aux eaux minéralisées. C'est le cas particulièrement des eaux 2 - 11 et 13 (cf. figure).

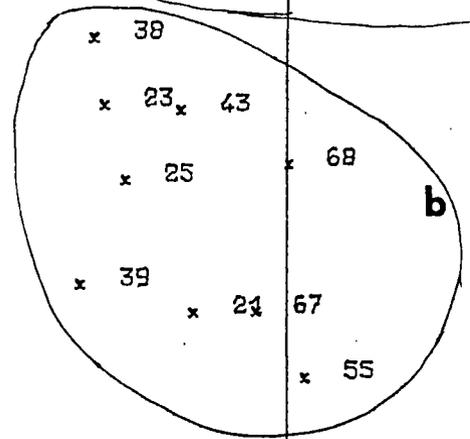
(rapport  $\frac{Ca}{Ca + Mg}$ )

AXE 3



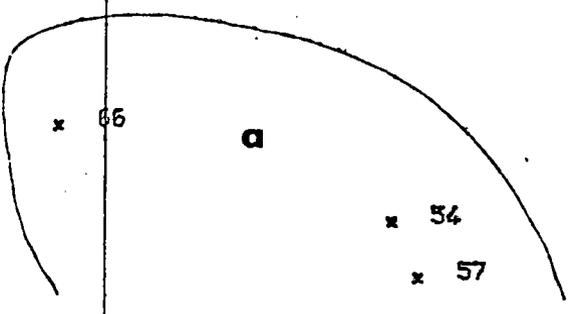
AXE 1

(minéralisation total  
résidu sec à 105 °C)



x 22

Valeurs propres : 3,80    2,75  
 Inerties : 25,33    18,33



AXE 2

(nature lithologique  
du réservoir)

x 22



x 20

x 48

2

x 34

x 21

x 50

x 57

x 13

AXE 1

Minéralisation  
totale  
(résidu sec à  
105 °C)

x 11

1

x 91

x 90

x 89

x 19

x 88

x 14

x 12

x 15

87

x 3

86

x 6

85

x 7

84

x 10

x 9

Valeurs propres : 3,80

2,97

Inerties : 25,33

19,80

3

AXE 2. Il est essentiellement caractérisé par les variables qui rendent compte de l'appartenance à un type d'aquifère (calcaire, sable, argile ou marne). Il faut toutefois remarquer que l'aquifère à dominante argileuse (ou marneuse) est assez mal représenté. A cet axe, il faut associer, par ailleurs,  $\text{HCO}_3^-$  corrélé avec l'indice "calcaire" (0,66) et "sable" (0,68).

AXE 3. Il est caractérisé par le fluor et le rapport RAP (alcalins sur alcalino-terreux). La corrélation entre ces 2 variables est de 0,68. A noter également le coefficient de corrélation de 0,33 entre concentration en fluor et proportion d'argile (ou marne) du réservoir (notée A).

Sur le plan "1.2 échantillons", il est possible de discerner 3 groupes d'eaux semblables :

- groupe 1 = eaux minéralisées 2 - 11 et 13,
- groupe 1 et 3 = en relation avec l'axe 2 (nature lithologique du réservoir).

Sur le plan "1.3 échantillons", on peut définir 4 groupes qui se différencient, pour l'essentiel, par des concentrations en fluor et un rapport alcalins sur alcalino-terreux (noté RAP) différents.

La matrice de corrélation, de par les coefficients fluor - RAP et fluor - proportion d'argile A du réservoir, ainsi que l'analyse statistique semble bien confirmer que l'évolution des concentrations en fluor est liée à des phénomènes naturels.

+ MATRICE DE CORRELATION +

	Tre	C	SU	A	TH	RS	CA	MG	NA	K	Cl	SO4	HCO3	RAP	F
Tre	1.00	-0.53	0.51	0.17	0.09	0.23	-0.14	-0.16	0.28	0.16	0.42	-0.16	-0.47	-0.00	0.01
C	-0.53	1.00	-0.83	-0.51	0.02	-0.14	-0.02	0.15	-0.14	0.15	-0.32	0.08	0.66	0.03	-0.08
S	0.51	-0.83	1.00	-0.05	-0.03	0.09	-0.04	-0.14	0.13	-0.13	0.28	-0.14	-0.68	-0.16	-0.12
A	0.17	-0.51	-0.05	1.00	-0.00	0.10	0.10	-0.04	0.05	-0.06	0.14	0.07	-0.15	0.19	0.32
TH	0.09	0.02	-0.03	-0.00	1.00	0.27	0.47	0.61	0.09	0.33	0.31	0.05	-0.07	-0.44	-0.26
RS	0.23	-0.14	0.09	0.10	0.27	1.00	0.44	0.06	0.88	0.27	0.87	0.56	-0.10	0.31	0.16
CA	-0.14	-0.02	-0.04	0.10	0.47	0.44	1.00	0.36	0.07	0.14	0.29	0.38	-0.08	-0.36	-0.25
MG	-0.16	0.15	-0.14	-0.04	0.61	0.06	0.36	1.00	-0.17	0.18	-0.09	0.32	0.12	-0.36	-0.16
NA	0.28	-0.14	0.13	0.05	0.09	<u>0.88</u>	0.07	-0.17	1.00	0.26	0.86	0.37	-0.12	0.46	0.13
K	0.16	0.15	-0.13	-0.06	0.33	0.27	0.14	0.18	0.26	1.00	0.23	0.19	0.18	0.03	-0.03
Cl	0.42	-0.32	0.28	0.14	0.31	<u>0.87</u>	0.29	-0.09	0.86	0.23	1.00	0.14	-0.33	0.15	0.10
SO4	-0.16	0.08	-0.14	0.07	0.05	0.56	0.38	0.32	0.37	0.19	0.14	1.00	0.14	0.41	0.17
HCO3	-0.47	0.66	-0.68	-0.15	-0.07	-0.10	-0.08	0.12	-0.12	0.18	-0.33	0.14	1.00	0.30	0.27
RAP	-0.00	0.03	-0.16	0.19	-0.44	0.31	-0.36	-0.36	0.46	0.03	0.15	0.41	0.30	1.00	0.68
F	0.01	-0.08	-0.12	<u>0.23</u>	-0.26	0.16	-0.25	-0.16	0.13	-0.03	0.10	0.17	0.27	<u>0.68</u>	1.00

#### 4.2. Facteurs influençant la géochimie du fluor

La lithologie du réservoir paraît avoir un rôle prépondérant dans la répartition des teneurs en fluor dans les eaux souterraines. Les concentrations les plus fortes correspondent, en général :

- soit à des calcaires marneux (Dogger, par exemple),
- soit à des sables argileux (Sables Landéniens).

Le schéma suivant peut être proposé pour expliquer les fortes concentrations en fluor observées en nappe captive :

- les eaux souterraines transitent très lentement (quelques mètres par an) dans les réservoirs aquifères, quand les nappes sont en charge ; il en résulte un temps de contact prolongé entre la matrice du réservoir et les eaux souterraines, du fait des perméabilités très faibles. Cette durée de transit favorise les échanges ioniques entre la matrice argileuse ou marneuse et les eaux souterraines. Les ponts fluorés liant les feuillets silicatés des argiles, et plus particulièrement des illites et montmorillonites, seraient remplacés par des ponts oxydryles. Cet échange, d'autant plus aisé que les propriétés de l'ion fluor et de l'ion oxydryle sont voisines l'une de l'autre (rayon et charge ionique), provoquerait un enrichissement des eaux souterraines en ion fluor.

Plusieurs arguments viendraient étayer cette hypothèse :

- accroissement des teneurs en fluor quand on s'éloigne des affleurements,
- augmentation concomitante du rapport  $\frac{Na + K}{Ca + Mg}$ , des concentrations en sulfates et en fluor qui sont les indices d'un échange de base entre matrice du réservoir et eau,
- valeur optimale des concentrations en fluor dans les réservoirs peu perméables, à forte proportion d'argile ou de marnes.

5 - CONCLUSIONS -

L'examen de quelques données hydrochimiques disponibles sur les principaux réservoirs aquifères lorrains et la comparaison avec d'autres données disponibles sur d'autres réservoirs a permis de montrer qu'il existe un enrichissement systématique des eaux souterraines en fluor en nappe captive quand on s'éloigne des affleurements.

Un schéma explicitant le phénomène observé (d'origine naturelle) et s'appuyant sur diverses observations très générales a pu être ainsi ébauché.

Les quelques données rassemblées conduisent ainsi à conclure que les teneurs en fluor peuvent être un facteur limitatif en ce qui concerne l'exploitation des nappes captives à distance importante des affleurements ; ceci paraît être le cas particulier des calcaires du Bajocien inférieur et moyen en Woëvre, dans le département de la Meuse.

J. RICOUR	B.r.g.m./SGR-LOR
S. RAMON	A.F.B.R.M.
A. LANDREAU	B.r.g.m./Hyd.

## B I B L I O G R A P H I E

-----

- J. BARDY  
J. LAFOND-GRELLETY  
Teneur en fluor et minéralisation des eaux profondes du Bordelais (Laboratoire Municipal de Bordeaux).
- S. RAMON  
A. PHILIPPART  
A. JOURNET  
Chimisme de la nappe des calcaires carbonifères dans la région de Lille - Roubaix - Tourcoing (72 SGN 169 NPA).
- J. ROCHE  
Forage pour l'alimentation en eau de la commune de Blagnac (Hte Garonne). Comptendu final des travaux (B.r.g.m.).
- JL. LACHAIZE  
Problèmes posés par la teneur en fluor des eaux servant à l'alimentation. Normes internationales (B.r.g.m.).
- G. GRANDAROVSKY  
Etude de la qualité des eaux souterraines dans la plaine du Rhin. Recherche des éléments - traces et des micro-polluants (B.r.g.m.).
- J. GONI - J. GREFFARD  
M. LELEU - L. MONITION  
Le fluor dans les eaux de Boissons (B.r.g.m.).
- JL. LACHAIZE  
Contribution à l'étude géochimique du fluor dans les eaux de la région parisienne (thèse 3ième cycle).
- BABOT  
Etude de la nappe des grès infratriasiques dans l'Est de la France (SGAL B.r.g.m.).
- Laboratoire de l'Equipement  
de Nancy  
Etude de la vulnérabilité des grès du Trias dans le bassin houiller lorrain (Equipement).
- J. RICOUR  
Etude de la qualité des eaux de la nappe alluviale de la Meurthe et de la Moselle dans le département de la Meurthe-et-Moselle (B.r.g.m.-SGR/LOR).
- S. RAMON  
Etude de la qualité des eaux d'exhaure du Bassin ferrifère de Briey - Longwy (A.F.B.R.M.)

- B. RAULT Notice de défluoration des eaux (DEGREMONT).
- F.J. MAIER Méthodes of removing fluorides from water.
- DOBROVOLSKII (E.V.)  
DOBROVOL'SKIJ (E.V.)  
LYALKO (E.V.)  
LYAL'KO (V.I.) Study of kinetics and mechanism of interaction of fluorite - bearing underground waters and carbonate rocks (dynamic schéma) 1974.
- SINHA (BPC)  
KAKAR (YP) Géochimistry of fluoride in groundwaters of North - Central Rajasthan, India. 1974.
- PETRAKOV (E.V.)  
KOZLOVA (EH.V.)  
SARGSYANTS (N.A.) Quelques particularités de la migration du fluor dans les eaux de la Moldavie. 1973.
- SCHOELLER H. Contribution à l'étude du fluor dans les eaux souterraines 1952.
- J. RICOUR Etude de la qualité des eaux de la nappe de l'Argovo-Rauracien au niveau de l'auto-route A4 et à l'aplomb de Verdun (1975).
- J. MANIA Contribution à l'étude hydrogéologique des sables Landéniens dans les Flandres franco-belges.
- S. RAMON Chimisme de la nappe de la craie dans la région du Valenciennois (73 SGN 174 NPA).