

SCIENCES

GÉOLOGiques

HYDROGÉOLOGIE ET HYDROCHIMIE DES
AQUIFÈRES DU SÉNÉGAL

HYDROGÉOCHIMIE DU FLUOR
DANS LES EAUX SOUTERRAINES

Yves TRAVI

Docteur ès Sciences

Table des matières

Résumé	1
INTRODUCTION	3
Première Partie	
CONDITIONS DE GISEMENT DES EAUX SOUTERRAINES FLUORURÉES	5
Chapitre I LE CAS PARTICULIER DES EAUX THERMOMINÉRALES	7
I - QUELQUES EXEMPLES	7
II - DES CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES PARTICULIÈRES	7
III - UNE ÉVOLUTION CHIMIQUE COMPLEXE	7
Chapitre II LES EAUX SOUTERRAINES FLUORURÉES DU SÉNÉGAL	9
I - LE BASSIN SÉDIMENTAIRE	9
1. Contexte hydrogéologique	9
2. Distribution géographique et géologique des teneurs en fluor	11
3. Rôle des roches phosphatées	13
II - LES TERRAINS ANCIENS DU SÉNÉGAL ORIENTAL	17
1. Les réservoirs exploités	18
2. Nature chimique des eaux	18
3. Répartition des teneurs en fluor dans les eaux	20
Chapitre III LES EAUX SOUTERRAINES FLUORURÉES EN TUNISIE	21
I - CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE	21
II - VALEURS ET RÉPARTITION DES TENEURS EN FLUOR	23
III - POSITION ET RÔLE DES PHOSPHATES	23
Chapitre IV LES EAUX SOUTERRAINES FLUORURÉES DE PAR LE MONDE. QUELQUES EXEMPLES	27
I - QUELQUES DONNÉES SUR LA DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DES EAUX FLUO- RURÉES	27
II - LES GRANDS BASSINS SÉDIMENTAIRES	30
1. Les données	30
2. L'origine du fluor	31

III - LES RÉGIONS DE SOCLE CRISTALLIN ET CRISTALLOPHYLLIEN	32
Chapitre V CONCLUSIONS	35
I - LE FLUOR DANS LES EAUX SOUTERRAINES : UN PHÉNOMÈNE FRÉQUENT	35
II - DÉFINITION ET CARTOGRAPHIE D'UN "RISQUE FLUOROTIQUE"	35
III - ORIGINE DU FLUOR : LIAISON MATRICE-SOLUTION	36
1. Dans les réservoirs pluto-volcaniques et métamorphiques	37
2. Dans les réservoirs sédimentaires	37
IV - DES CONTRADICTIONS APPARENTES	38
Deuxième Partie	
ÉTUDE DE BASSINS A FLUOR	
	39
Chapitre VI UTILISATION DES CALCULS D'ÉQUILIBRE : LE PROGRAMME EQUIL(T)	41
Chapitre VII AQUIFÈRES FLUORURÉS DU BASSIN SÉNÉGALAIS	43
I - LE "SIGNAL ENTRÉE" CHIMIQUE ET ISOTOPIQUE	43
1. Les précipitations atmosphériques	43
2. Les eaux récemment infiltrées	43
3. Conclusion	44
II - LA "NAPPE MAESTRICHTIENNE"	45
A - Nature et géométrie du réservoir	45
B - Hydrodynamisme - Paléohydrodynamisme	47
C - Hydrogéochimie	48
1. Les données disponibles	48
2. Stabilité dans le temps	49
3. Données générales sur la chimie de la nappe	50
4. Température et gradient géothermique	50
5. Evolution hydrochimique suivant deux profils E-W	52
6. Les espèces carbonatées	56
7. Les éléments "mineurs" et en trace	58
8. Les isotopes stables	59
9. Les géochronomètres et marqueurs paléoclimatiques	61
D - Conclusions	64
III - LES NAPPES ÉOCÈNES ET PALÉOCÈNES	65
A - Nature et géométrie des réservoirs	66
B - Fonctionnement de l'aquifère paléocène	68
C - Hydrogéochimie	70
1. Données générales	70
2. Les éléments mineurs et en trace	73
3. Les mesures isotopiques	73

4. Fonctionnement hydrochimique de l'aquifère paléocène	75
5. Echanges nappe paléocène-nappe "maastrichtienne"	76
IV – LA NAPPE "OLIGO-MIOCÈNE"	77
A – Nature et géométrie de l'aquifère	77
B – Fonctionnement de la nappe	77
1. Caractéristiques hydrodynamiques	77
2. Piézométrie	78
C – Hydrochimie	78
1. Les données hydrochimiques	78
2. Interprétation	79
3. Les mesures isotopiques	80
V – CONCLUSIONS	82
Chapitre VIII AQUIFÈRES FLUORURÉS DE TUNISIE	85
I – NORD-OUEST TUNISIEN	85
1. Fonctionnement des aquifères	85
2. Caractéristiques physico-chimiques des eaux	85
II – LE SUD TUNISIEN (BASSIN DE GAFSA, PRESQU'ÎLE DE KEBILI)	86
1. Les nappes du "Complexe Terminal"	86
2. Les nappes du "Continental Intercalaire"	88
3. Echanges par drainance	88
4. Position hydrogéologique des points d'eau étudiés	88
Chapitre IX FLUOR - HYDRODYNAMISME - HYDROCHIMIE	91
I – FLUOR ET HYDRODYNAMISME	91
1. Le problème	91
2. Les faits	91
3. Les conclusions	92
II – FLUOR ET CHIMIE DES EAUX	93
A – Les données	93
1. Comportement du fluor dans les différentes nappes	93
2. Etats de saturation vis-à-vis de la fluorine (CaF ₂)	97
3. Etats de saturation vis-à-vis de la fluor-apatite	101
B – Interprétations	102
1. Mobilisation du fluor à partir d'une matrice phosphatée	102
2. Migration du fluor ; le contrôle chimique	103
3. Rôle des ions magnésium et bore	103
III – CONCLUSIONS	106

Troisième Partie

MÉCANISMES DE LA MIGRATION DU FLUOR DANS LES EAUX SOUTERRAINES :		
ESSAI DE RÉINTERPRÉTATION DE GISEMENTS		107
Chapitre X	BRÈVE ANALYSE CRITIQUE DES TRAVAUX ANTÉRIEURS	109
Chapitre XI	COMPORTEMENT DU FLUOR DANS LA PARTIE ATMOSPHÉRIQUE DU CYCLE DE L'EAU	111
I -	EAUX DES PRÉCIPITATIONS	111
	1. Les concentrations en fluor	111
	2. Origine du fluor	112
II -	EAUX DE SURFACE ET ÉVAPORATION	112
	1. Fleuve Sénégal et lac de Guiers	112
	2. Chott El Jerid et lac Natron	114
	3. Conclusions	115
III -	ZONE NON SATURÉE	115
Chapitre XII	MODÈLE THÉORIQUE	117
I -	TRANSPORT A L'ÉTAT LIBRE	117
	1. Dans le système Ca-CO ₂ -F-H ₂ O	117
	2. Dans le système Ca-SO ₄ -F-H ₂ O	118
	3. Dans le système Ca-PO ₄ -F-H ₂ O	119
	4. Rôle des complexes calciques	119
II -	TRANSPORT SOUS FORME DE COMPLEXES FLUORURÉS	119
Chapitre XIII	LA SATURATION VIS-A-VIS DE LA FLUORINE, BASE DU COMPORTEMENT DE F DANS LES EAUX SOUTERRAINES :	
DES EXEMPLES		123
I -	RELATION INDICE DE SATURATION-FACTEUR DE CONCENTRATION	123
II -	COMPORTEMENT DE F ⁻ DANS LES EAUX NON SATURÉES	123
III -	COMPORTEMENT DE F ⁻ DANS LES EAUX SATURÉES	126
	1. Les exemples	126
	2. Conclusions	128
IV -	LES EAUX SURSATURÉES	130
Chapitre XIV	INFLUENCE DES COMPLEXES FLUORÉS	131
CONCLUSIONS		133
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES		135
Annexes		143
Liste des figures		151
Liste des tableaux		155