

## Résumé

---

Au Bénin, les eaux souterraines sont beaucoup exploitées pour l'approvisionnement en eau potable des communautés. Dans la partie centrale du pays (département des Collines), ces ressources sont localisées dans des aquifères discontinus granito-gneissique d'âge Précambrien, peu productifs et contaminés. Les problèmes de qualité des eaux souterraines de la région concernent surtout les teneurs hors normes en fluorure (jusqu' à 7 mg/L) et en nitrate (supérieures à 350 mg/L). Dans cette région du pays, la fluorose dentaire reste endémique.

Le présent travail a pour but d'expliquer les processus hydrogéochimiques gouvernant la minéralisation des eaux souterraines de la région ainsi que d'identifier l'origine des fortes teneurs en fluorure enregistrées afin de proposer les solutions appropriées pour mieux contrôler cette situation. Il est essentiellement basé sur deux approches complémentaires: d'une part, une étude hydrogéochimique et d'autre part, une étude pétrographique, minéralogique et géochimique des formations aquifères.

Les résultats de ces investigations montrent que la minéralisation des eaux est surtout contrôlée par l'interaction eau-roche, notamment l'hydrolyse des minéraux silicatés, même si les apports externes influencent énormément les teneurs en certains éléments comme le nitrate et le chlorure. Les concentrations en fluorure des eaux sont principalement liées à l'hydrolyse des ferromagnésiens comme la biotite. Les phénomènes d'échanges anioniques ( $\text{OH}^-/\text{F}^-$ ) semblent aussi avoir une certaine contribution à la libération de fluorure dans les eaux.

Les investigations géochimiques indiquent que les teneurs en fluor des roches aquifères, varient entre 60 et 2900 ppm avec une moyenne de 1170 ppm. Ces valeurs sont similaires à celles obtenues dans d'autres régions du monde caractérisées par des contextes géologiques semblables et confrontées aux fortes teneurs en fluorure des eaux souterraines. Plusieurs minéraux susceptibles de contenir le fluor ont été identifiés. Il s'agit notamment de la fluorine, de la biotite, de la muscovite, de l'apatite, des amphiboles, du sphène, du fluor-allanite. Même si la fluorine et l'apatite sont les minéraux qui concentrent le plus le fluor, la biotite est le minéral qui contribuerait de façon prépondérante à sa présence dans la roche. Les zones à forte charges cationiques des eaux et ayant de fortes teneurs en fluorure sont celles situées dans les régions où les roches aquifères présentent les fortes teneurs en fluor. Dans ces zones, les signes d'altérabilité des roches également sont les plus visibles.

Une modélisation géostatistique des données collectées a permis de proposer des supports d'aide à la décision à travers la réalisation de cartes d'estimation des concentrations en fluorure et de probabilités de dépassement de la norme dans les eaux souterraines du Département des Collines.

**Mots-clés:** qualité des eaux souterraines, aquifère de socle précambrien, fluorure, hydrogéochimie, Bénin, Département des Collines.

## Abstract

---

In Benin, groundwater is widely used for drinking-water supply for the populations. In the central part of the country (Département des Collines) characterized by hard Precambrian rocks, aquifers are unproductive and the water quality is affected by contamination. Groundwater quality problems concern particularly high fluoride concentration (up to 7 mg/L) and nitrate concentration (up to 350 mg/L). Dental fluorosis is also endemic in the area.

This work aims to explain the hydrogeochemical processes which govern mineralization of groundwater and the origin of high fluoride concentration. It will finally help for a better management and control of this environmental issue.

The investigations were essentially based on two complementary approaches: hydrochemistry in one hand and in other hand, petrography, mineralogy and geochemistry study of the crystalline aquifer rock materials.

Results show that the water mineralization is dominated by water-rock interaction, including the hydrolysis of silicate minerals. However, external inputs also greatly influence the concentration of certain chemical elements such as nitrate and chloride. Fluoride concentrations seem to be mainly due to hydrolysis of ferromagnesian minerals like biotite. Ion exchanges ( $\text{OH}^-/\text{F}^-$ ) between groundwater and the rock matrix also contribute to increase fluoride concentrations in groundwater.

Geochemical investigations show that in the crystalline rocks constitutive minerals, fluorine concentrations are in the range of 60 - 2900 ppm with an average of 1170 ppm. Similar values were obtained in similar worldwide geological formations characterized by high concentrations of fluoride in groundwater. Several fluorine bearing minerals have been identified, such as fluorite, biotite, muscovite, apatite, amphibole, sphene, allanite were identified the basement rocks. Despite the fact that fluorite and apatite are the fluorine most concentrating minerals, biotite seems to be the most contributing mineral to fluorine content of the crystalline rocks. Furthermore, groundwater samples with high fluoride concentration are located in area which basement rocks have important F concentration and higher alterability index.

From a geostatistical modeling of the collected data, decision support tools are proposed. Those tools are maps of spatial estimation of fluoride concentrations and probabilities to exceed the guideline value in the groundwater in Collines Department.

**Keywords:** groundwater quality, precambrian hard aquifer, fluoride, hydrogeochemistry, Benin, Département des Collines