

COMPOSITION CHIMIQUE DES RUISSEAUX NON POLLUÉS DE FRANCE

Michel MEYBECK*

RÉSUMÉ — La composition chimique naturelle des eaux (pH, cond., Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, Sr⁺⁺, NH₄⁺, Cl⁻, SO₄⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻, PO₄⁻³, F⁻, B, Corg) est étudiée, sur 232 bassins versants monolithologiques représentant 25 types de roches, des granites aux évaporites. Chaque bassin a été choisi sans aucune source de pollution directe et loin de rejets atmosphériques. Le bassin moyen est forestier, il a 8 km², un débit de 8 l.s⁻¹.km², une altitude moyenne de 650 m et a été échantillonné 1,4 fois.

Les aérosols océaniques influencent la plupart des éléments, sauf les nutriments (Corg, N, P) et la silice, sur une bande côtière de 200 km, notamment dans les Landes et en Bretagne. En dehors de ces régions, chaque analyse a été corrigée des apports atmosphériques (MEYBECK, 1983), pour examiner les liaisons entre lithologie et composition des eaux. La lithologie est responsable de variations très marquées des concentrations, de 1 à 10 pour SiO₂ et K⁺, et de 1 à 1000 pour Na⁺, Cl⁻, SO₄⁻ et la somme des cations Σ⁺ (de 70 à 70 000 μeq/l). Pour chaque roche, les eaux superficielles sont caractérisées par SiO₂, Σ⁺, les proportions de cations, certains rapports (Ca⁺⁺/Mg⁺⁺). Trois origines principales sont définies :

- (1) l'altération des silicates des roches cristallines et sédimentaires correspond à un « bruit de fond » en Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, Sr⁺⁺, F⁻, B ; ces eaux sont caractérisées par $100 < \Sigma^+ < 800 \mu\text{eq/l}$, $0,35 < \text{SiO}_2/\Sigma^+ < 1$, $\text{Ca}^{++}/\text{Na}^+ < 5$;
- (2) l'altération des carbonates (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, HCO₃⁻ ; $2000 < \Sigma^+ < 5000 \mu\text{eq/l}$; $\text{Ca}^{++}/\text{Na}^+ > 10$; $\text{SiO}_2/\Sigma^+ < 0,1$;
- (3) la dissolution des évaporites gypseuses (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Sr⁺⁺, SO₄⁻, B, F ; $\Sigma^+ \approx 10\,000 \mu\text{eq/l}$) et salées (Na⁺, Cl⁻ ; $\Sigma^+ > 20\,000 \mu\text{eq/l}$). Les sulfates proviennent également de l'oxydation des minéraux sulfurés (schistes), B et Cl⁻ des argiles marines, SiO₂ de la silice amorphe (craie).

L'altération des silicates, appréciée par SiO₂, décroît avec l'altitude dans chaque catégorie d'eau. Presque toutes les combinaisons ioniques entre Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ et Cl⁻, SO₄⁻, HCO₃⁻ ont été trouvées, mais K⁺ est toujours secondaire. Les nutriments sont surtout liés aux conditions hydrogéologiques. L'ordre relatif de minéralisation des eaux est : granite 1, gneiss et micaschistes 1,2, grès 1,3, basaltes-trachyandésites-rhyolites 3, gabbro 3,5, pépite 5, amphibolites et serpentinites 10, carbonates 20, gypse 60, halite 120.

Rivières, Composition chimique, Apport atmosphérique, Altération, France

Chemical composition of headwater streams in France

SUMMARY — Natural water chemical composition (pH, cond., Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, Sr⁺⁺, NH₄⁺, Cl⁻, SO₄⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻, PO₄⁻³, F⁻, B, Corg) is studied on 232 monolithologic watersheds corresponding to 25 major rock types. Each basin has been carefully selected to eliminate direct pollutant sources with the exception of moderate atmospheric pollution. The typical watershed is 100 % covered with forest, has an area of 8 km², a discharge of 8 l.s⁻¹.km², a mean altitude of 650 m and has been sampled 1.4 time.

Oceanic inputs have an influence on most elements, with the exception of nutrients (Corg, N, P) and silica, over a 200 km coastal stretch, specially in the Landes and Brittany. Outside these regions each analysis has been corrected from atmospheric inputs (MEYBECK, 1983) to study the relations between lithology and water composition. Rock type is responsible for extended ranges of contents, from 1 to 10 for SiO₂ and K⁺ up to 1 to 1000 for Na⁺, Cl⁻ and the total cationic content Σ⁺ (from 70 to 70 000 μeq/l). For each rock, waters have been characterized by SiO₂, Σ⁺, cationic percentage and some ratios (Ca⁺⁺, Na⁺, Ca⁺⁺/Mg⁺⁺). Three major groups can be defined :

- (1) weathering of silicate minerals occurring in crystalline and sedimentary rocks, which constitutes a background of Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, Sr⁺⁺, F⁻, B ; these waters are characterized by $100 < \Sigma^+ < 800 \mu\text{eq/l}$, $0,35 < \text{SiO}_2/\Sigma^+ < 1$ and $\text{Ca}^{++}/\text{Na}^+ < 5$;
- (2) carbonate weathering adding Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, HCO₃⁻ in which $2000 < \Sigma^+ < 5000 \mu\text{eq/l}$, $\text{Ca}^{++}/\text{Na}^+ > 10$, $\text{SiO}_2/\Sigma^+ < 0,1$;
- (3) dissolution of gypsum evaporites (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Sr⁺⁺, SO₄⁻, B, F ; $\Sigma^+ \approx 10\,000 \mu\text{eq/l}$) and halite evaporites (Na⁺, Cl⁻ ; $\Sigma^+ > 20\,000 \mu\text{eq/l}$). Sulphates may also derive from pyrite oxidation (shales), B and Cl⁻ from marine clays and SiO₂ from amorphous silica (chalk).

Silicate weathering, as estimated by SiO₂ content, is decreasing with altitude for any rock type. Almost any ionic combination between Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ and Cl⁻, SO₄⁻, HCO₃⁻, has been found ; K⁺ is always a secondary cation ; nutrients are linked to soil conditions. The relative water mineralization order is : granite 1, gneiss and micaschists 1.2, sandstone 1.3, basalt-trachyandesite-rhyolite 3, gabbro 3.5, shale 5, amphibolite and serpentine 10, carbonate 10, gypsum 60 and halite deposit 120.

Stream, Chemical composition, Water quality, Atmospheric inputs, Weathering, France

* Laboratoire de Géologie, Ecole Normale Supérieure, 46 rue d'Ulm, 75230 Paris Cedex 05, France.