Bogumił Wicik

LES PROCESSUS GÉOCHIMIQUES (HYPERGÉNIQUES) S'OPÉRANT DANS LES PAYSAGES GYPSEUX DU CENTRE-SUD DE LA POLOGNE

Les surfaces constituées de roches gypseuses présentent les paysages physico-géographiques uniques dans la zone de forêts située sous les latitudes tempérées. La solution facile des sédiments favorise le dynamisme des processus générateurs des paysages; d'autre part, les conditions différenciées de la migration du soufre dans la zone de l'hypergenèse sont à l'origine de la formation des caractéristiques chimiques propres aux géocomplexes locaux, importants du point de vue économique.

Les roches gypseuses qui affleurent à la superficie de 40 km² environ, dans la Dépression de la Nida, sont attribuées à l'âge miocène (fig.1). Elles se sont amassées dans les déflexions provenant des formations plus anciennes (jurassiques) et reposent, le plus souvent, sur des calcaires poreux du Tertiaire, sur des marnes, des sables et, localement, sur des argiles. La série gypseuse dont l'épaisseur moyenne est de 30-35 m est surmontée d'argiles du Tertiaire récent (le Sarmatien). La couverture des dépôts pléistocènes est discontinue dans cette région de la Pologne.

La structure de la série gypseuse est assez homogène. Le substratum est constitué de gypses macrocristallins (sélénites), la longueur de cristaux atteignant 5,0 m.

La partie centrale est constituée de gypses phanérogènes (dont l'épaisseur est de 9 m env.) se transformant, dans les parties supérieures, en gypses schisteux atteignant, le plus souvent, l'épaisseur de 4 m environ. Le toit de la série comprend des gypses cryptocristallins compacts à clivage ardoisier. Par contre, la composition chimique des gypses présente des différences considérables — M.Strzemski (Strzemski 1950) et S.Kozłowski (Kozłowski 1986) y attirent l'attention. Les gypses de la région située entre Wislica, Stawiany et Busko contiennent: SiO₂ — 0,12-4,65%; Al₂O₃ — 0,06 - 0,82%; Fe₂O — 0,025-1,63%; MgO — jusqu'à 1,72%; CaO — 30,5-40,8%; SO₃ — 45,2-57,4%; CO₂ — 0,19-1,30%. Quant aux autres éléments, on y trouve, entre autres, le potassium (env.0,14%), le strontium (0,13-0,27%) et le baryum (0,01%).

Dans certains gisements, il y a des additions bien nettes d'hydrocarbures (Jurkiewicz 1951); également les roches qui apparaissent dans le soubassement des gypses, de même que celles qui en constituent le revêtement, sont localement et à un degré divers imprégnées d'hydrocarbures. Les gisements de gypses contiennent d'autres additions encore, tels que les grains de quartz et les argiles riches en aluminosilicates. Le matériel obtenu de la solution et du lessivage des sulfates et des carbonates est composé d'env. 2% de grains $> 0,1$ mm et de 87,0% $< 0,01$ mm (Strzemski, 1950).

Le terrain où apparaissent les gypses subissait des déformations tectoniques pendant la sédimentation miocène, et même après. Des structures peu importantes des massifs et des cuvettes tectoniques se sont formées à la suite de ces déformations. Le réseau de failles qui limite les structures ci-

Fig. 1. Les gypses miocènes de la bordure méridionale des Montagnes de Sainte-Croix (d'après E. et J. Fijałkowski 1968) 1 — formations miocènes, 2 — affleurements des gypses, 3 — soubassement ancien, 4 — gisements de gypses

dessus, coupant également les dépôts plus anciens — paléozoïques — suit généralement les directions NW — SE et SW — NE. En déformant la continuité des nappes aquifères, les lignes de dislocation décident de la complexité hydrogéologique de la région en question. La zone de l'hypergenèse est pénétrée par les eaux chlorurées fortement minéralisées (env. 15 g/dm^3), venant des dépôts du Crétacé inférieur, et contenant, entre autres, jusqu'à 350 mg/dm^3 de Mg, et jusqu'à 30 mg/dm^3 d'ions NH_4 . Le chlorure de sodium qu'elles contiennent remonte probablement à la période de Zechstein.

Les eaux du Crétacé inférieur présentent une pression hydrostatique assez importante. Pénétrant les roches gypseuses du Miocène, ces eaux apparaissent parfois à la surface, dans des sources chloro-sulphatées, accompagnées de H_2S . Près de leur sortie, on observe de petits espaces de végétation halophyte. Dans les dépôts du Crétacé supérieur, de même que dans ceux du Tertiaire infragypseux plus ancien, apparaissent les eaux non salines, souvent sous pression, dont la minéralisation atteint $0,5\text{-}0,8 \text{ g/dm}^3$.

Dans une telle situation géologique, les gypses sont soumis à des processus d'altération où participent les eaux aux caractéristiques diverses. Des chlorures, des composés d'azote, des sels de magnésium qu'elles contiennent ainsi que des hydrocarbures qui se diffusent en allant vers la surface, ce sont des composants stimulant les processus de dissolution de la roche sulfatée. En résultat de ces processus, on voit se former des variétés spécifiques du paysage gypseux.

Les surfaces ne subissant pas d'influence d'eaux de sous-sol sont couverts de produits d'altération des gypses, épais d'env. 1,7 m. D'habitude, sur les crêtes et les fragments abrupts des pentes se maintient une couche discontinue de produits poussiéreux d'altération, épaisse de $0,1\text{-}0,4 \text{ m}$. Le matériel dont elle est constituée présente les traits caractérisant le début de l'éluvion et, comparé à la roche-mère, est enrichi, entre autres, de SiO_2 et Al_2O_3 . Situés ainsi, les sols initiaux sont couverts d'herbes xérothermiques (dont, entre autres, *Stipa sp.*) et de lichens lithophiles. L'horizon humifère mince (3-10 cm) et discontinu se caractérise par la réaction neutre ou légèrement acide. Sur ces surfaces apparaissent parfois des bruyères (*Calluna vulgaris*) en petite quantité et, dans ce cas, les parties supérieures de l'altération sont acides (pH 4,4-5,6).

Les secteurs inférieurs de pentes, et des fragments de la surface faiblement inclinés, sont couverts de matériel poussiéreux sulfato-carbonaté contenant jusqu'à 16% de CO_2 . Les sols appartiennent à la catégorie des rendzines carbonato-sulfatées. La transformation du gypse en carbonate de calcium s'opère ici dans les conditions favorisant une forte oxydation et, probablement, c'est un processus restant en rapport avec la minéralisation des substances organiques du sol. La minéralisation peut donner, entre autres, le carbonate d'ammonium dont on peut constater une influence destructive sur la roche gypseuse dans les solutions aqueuses, conformément à la réaction:

En résultat de cette réaction, les ions sulfatés peuvent être évacués avec les solutions tandis que le calcium (sous forme de CaCO_3) enrichirait les produits d'altération.

La transformation des produits d'altération sulfatés ou carbonatés favorise une concentration de certains éléments chimiques dont, entre autres, le strontium (tab.1). Comparés au gypse, les produits carbonatés de son altération sont plus de dix fois plus riches en strontium. Ce fait permet de considérer les géocomplexes à l'altération carbonatée des gypses comme des unités distinctes "à strontium" du paysage géochimique. L'identification de cette anomalie est très importante du point de vue de l'écologie géochimique et de la géographie médicale. Nous pouvons citer comme exemple la "maladie d'Urowo" se manifestant par le rachitisme très avancé du système osseux. Les symptômes de cette maladie ont été constatés chez les individus habitant les régions où l'on observe une concentration importante de strontium, accompagnée d'insuffisance de calcium (Kowalski 1974). La quantité élevée de strontium dans les produits d'altération de gypses pourrait être considérée comme un trait diagnostique important caractérisant les dépôts.

Les observations ci-dessus indiquent également le caractère biphasé du processus d'altération des gypses. Dans la première phase, le sulfate de calcium est transformé en carbonate de calcium, avec une élimination simultanée de sulfates. Dans la seconde phase, le calcium est dissolu et évacué hors du lieu de l'altération [sous forme de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$].

Dans la région présentée, les paysages hydrogéniques apparaissent, le plus souvent, dans les zones de contact des roches gypseuses avec des argiles, plus récentes du point de vue stratigraphique. Ce sont de petits espaces marécageux et de petits lacs sans écoulement naturel, envahis par des végétaux, localisés dans des endroits où se décharge la pression hydrostatique, d'habitude peu importante, d'eaux de sous-sol. Le développement des processus hypergéniques est à l'origine du déplacement continu des rebords des cavités en direction de la roche en dissolution. Ainsi, les éléments morphologiques les plus anciens sont les fragments périphériques de ces géocomplexes dont parfois l'hydromorphisme est déjà faible, et les éléments les plus récents — les surfaces contiguës à la roche gypseuse. Les eaux de sous-sol qui s'écoulent dans la zone de contact des gypses avec les dépôts "limniques" superposés contiennent une quantité élevée d'ions sulfato-carbonatés et de H_2S . C'est par cette voie qu'arrivent les substances bitumiques, apparaissant parfois à la surface de petits lacs sous forme de taches d'hydrocarbures.

Tableau 1

Les Eléments-trace dans les produits d'altération des gypses (mg/kg)

Description de l'échantillon, localisation	Cd	Pb	Ni	Co	As	Zn	Cu	Mn	Sr
1. Altération sans carbonates, peu profonde. Choteleckie Góry, 1, prof. — 30 cm	0,0	10,0	1,0	1,0	-	0,0	10,0	6,0	6,000,0
2. Altération carbonatée. Choteleckie Góry, 2, prof. — 30 cm	0,0	30,0	8,0	6,0	-	0,0	20,0	120,0	plus de 30000,0
"Argiles noires" altérées (humifères)									
3. Marzęcin — petits lacs, 50 cm au-dessous du fond	0,8	26,0	18,0	4,5	5,4	97,2	17,2	plus de 10000,0	
4. Choteleckie Góry 14, prof. — 140 cm (un bétroire ancien?)	0,0	60,0	8,0	3,0	-	80,0	40,0	2400,0	60,0
5. La réserve "Grabowiec", 1, prof. — 5-10 cm	0,9	22,0	14,0	4,1	7,8	83,5	11,5	413,7	13,6
6. Les "clarks" de la lithosphère, d'après Taylor 1964 (Rosler, Lange, 1972)	0,2	12,5	75,0	25,0	1,8	70,0	55,0	950,0	375,0

La présence d'hydrocarbures dans les dépôts soumis aux processus d'hypergenèse, attestée dans plusieurs endroits (Marzęcin, Kobylniki, Gaik) indique une étendue spatiale assez grande de la diffusion desdites substances dont l'importance dans les processus géochimiques est soulignée dans la littérature spécialisée. La genèse de gisements miocènes du soufre, exploités dans la région de Staszów et de Tarnobrzeg reste en rapport avec le rôle stimulant d'hydrocarbures dans la transformation des gypses en calcaires sulfatés (Czerwiński, Osmólski 1974). Les processus biochimiques en question sont présentés sous forme des équations conformes au schéma suivant:

La réduction microbiologique des sulfates en H_2S s'opérant en présence d'apports continus de substances organiques ainsi qu'une oxydation ultérieure de H_2S en soufre élémentaire se fait dans des conditions réductrices, dans un système clos. Cette condition n'est pas remplie dans les paysages hydrogéniques de la Dépression de la Nida. Les ions du soufre, sous forme de H_2S , sont évacués soit à l'atmosphère soit avec les eaux de sous-sol. Une partie du soufre s'accumule également dans les dépôts sous forme de sulfures métalliques. La quantité de calcium évacué hors du lieu

de la réaction est proportionnelle à l'écoulement souterrain. Les dépôts s'étant formés en résultat de la solution des gypses dans les conditions subaquales contiennent 5- 20% de CaCO_3 précipités sous forme de bandes et de nids farineux ainsi que de concrétions dures et aiguës. Dans les paysages géochimiques de ce genre où la réaction des solutions aqueuses est faiblement alcaline, H_2S prend la forme de l'ion typomorphique de migration. Ces paysages devraient être signalés par des signes avertisseurs spéciaux car la concentration saisonnière très forte de l'hydrogène sulfuré, surtout dans la couche de l'air s'étendant directement au-dessus de l'eau, pourrait être la cause d'empoisonnements subits et mortels.

L'altération des gypses dans les conditions subaquales donne les argiles dont la teneur en substances organiques, en carbonates et en sulfates, est variable. Ces formations plastiques contiennent les concrétions de manganèse assez riches (atteignant le diamètre de 4 mm) et des précipitations ferrugineuses moins nombreuses. Les lentilles du gaz (CH_4 , H_2S ?), épaisses de 20-35 cm, sont présentes presque partout. Les argiles bleu-vert sont épaisses de 1,5-4,0 m.

Les parties supérieures des argiles, probablement holocènes, sont noir de jais et font penser à l'asphalte. Étant donné leur localisation ainsi que les traits physiques, celles-ci appartiennent probablement au groupe d'argiles produites par l'altération et décrites par W.Kubiena (Kubiena 1986) comme étant des formations de sols géologiques. Elles contiennent 1,5-6,0% de substances organiques, partiellement alluvionnées des sols avoisinants. L'épaisseur d'argiles noires qui apparaissent sous le fond de petits lacs ou sous une couche de tourbe s'élève à 0,4-1,2 m. Un matériel pareil, épais de 1,7-2,5 m, remplit des cavités sèches, situées quelques décimètres à peine plus bas que les gypses qui les entourent. Dans ce cas, la zone de contact d'argiles noires avec les gypses est mince — c'est une couche d'argile sans carbonates, avec des débris de gypse. Le matériel en question, de couleur gris-brun avec des taches rouille, contient des traces d'additions de bitumes.

La plupart des rendzines gypseuses possèdent des traits caractéristiques semblables à ceux d'argiles noires (Strzemiński 1950). Les niveaux d'humus de ces rendzines sont constitués de produits d'altération des gypses. Comparées à l'éluvion des gypses formé aux étapes préliminaires de l'altération, les argiles noires présentent un enrichissement très grand aussi bien en éléments chimiques principaux de la lithosphère qu'en micro-éléments dont Cd, Pb, Zn, Cu, Mn. Ce sont les microéléments facilement précipités des solutions aqueuses au dépôt, dans les milieux réducteurs, avec H_2S produit en abondance (l'ainsi dite barrière géo-chimique de paysage à hydrogène sulfuré). Néanmoins, nous ne disposons pas encore de matériaux qui pourraient documenter aussi bien le paléohydromorphisme que le caractère des processus biochimiques contemporains s'opérant dans le composant lithologique de sols des paysages gypseux de cette région. Dans ce cas, il serait urgent et important d'examiner les processus

microbiologiques, lesdits processus permettant d'expliquer, entre autres, le rôle d'hydrocarbures dans la stimulation de la production biologique (végétale) sensiblement accrue que l'on observe dans les paysages hydrogéniques en question.

BIBLIOGRAPHIE

- Czerwiński, J., Osmólski, T., 1974, "Stosunki izotopowe siarki i węgla w rudzie siarki i utworach jej towarzyszących a geneza złóż siarki w Polsce (Les proportions isotopiques entre le soufre et le carbone dans le minerai de soufre et les formations qui l'accompagnent, et la genèse des gisements de soufre en Pologne), *Kwartalnik Geologiczny*, 2, Warszawa.
- Fijałkowska, E., Fijałkowski, J., 1968, "Występowanie gipsów w Górach Świętokrzyskich" (Les Gisements de gypses dans les Montagnes de Sainte-Croix), *Zeszyty Przyrodnicze Muzeum Świętokrzyskiego*, t.1.
- Jurkiewicz, E., 1951, Dolina Nidy — złoża gipsu Gacki — Krzyżanowice (La Vallée de la Nida — gisement de gypses de Gacki — Krzyżanowice), Biuro Projektów Materiałów Wiążących, Kraków (manuscrit).
- Kowalski, V.V., 1974, *Geokhimitcheskaia ekologia* (Ecologie géochimique), Moskwa.
- Kozłowski, S., 1986, *Surowce skalne Polski* (Matières premières rocheuses de la Pologne), Warszawa.
- Kubiena, W.L., 1986, *Grundzüge der Geopedologie und der Formenwandel der Boden*, Vienne.
- Parafiniuk, J., 1987, "Stront i bar w siarkonośnych utworach miocenu północnej części zapadliska przedkarpackiego" (Le strontium et le baryum dans les formations sulfurifères du Miocène dans la partie septentrionale de la dépression précédant l'avant-pays carpatique), *Archiwum Mineralogiczne*, T.XLIII, fasc.1, Warszawa.
- Rosler, H.J., Lange, H., 1972, *Geochemical Tables*, Leipzig.
- Strzemiński, M., 1950, "Rędziny i borowiny gipsowe okolic Buska i Wiślicy" (Les rendzines et les boues gypseuses de la région de Busko et de Wiślica), *Roczniki Nauk Rolniczych*, T.54, Warszawa.