

Les boues rouges hongroises, seront-elles le long du bassin du Danube, une catastrophe écologique majeure ou un accident local ?



Vue satellite (NASA) du chemin pris par la coulée de boue du 4 octobre 2010

Lundi 4 octobre 2010, 10h30 à Ajka, petite bourgade hongroise à 165 Km au sud-ouest de Budapest, une digue de protection d'un bassin de décantation des boues rouges, résidus de la métallurgie de l'Aluminium cède et cette énorme masse visqueuse corrosive, déferle immédiatement vers les villages avoisinants.

1. Pourquoi une telle catastrophe ?

Selon toute vraisemblance ce sont les pluies abondantes de l'été qui ont entraîné un trop plein, que n'a pu contenir la digue de retenue.

Selon les autorités hongroises environ, 700 000 mètres cubes, d'une boue rouge très agressive, se sont échappés par la brèche et sont déversés vers les 7 villages alentours.

Optimiste, le gouvernement hongrois, avance que seulement 4% de la capacité du bassin de rétention n°10 s'est échappée...et pourtant selon l'ONG WWF, ce bassin de rétention fuyait depuis des mois, et ceci sans émuouvoir personne [1].

Les Hongrois semblent donc l'avoir échappé belle...mince consolation il faut l'avouer, quand on n'est pas à l'abri d'une nouvelle brèche ! Heureusement, l'état d'urgence fut immédiatement décrété dans les trois départements concernés par cette catastrophe écologique majeure, la plus importante que n'ai jamais subi la Hongrie.

2. Quelle bilan immédiat ?

Le bilan a été d'emblée très lourd : 4 morts, plusieurs disparus et 120 blessés dont certains gravement brûlés par cette boue alcaline, très corrosive.

Dès que cette boue caustique atteignait les rivières environnantes, des milliers de poissons mourraient immédiatement, suite à l'augmentation du pH qui pouvait atteindre 13, c'est-à-dire un pH extrêmement alcalin, puisque le

maximum de basicité se situe conventionnellement à 14, sur une échelle d'acido-basicité de 0 à 14.

Par ailleurs sur son passage, la déferlante rouge a endommagé les habitations et va stériliser pour longtemps les terres agricoles. Qu'arrivera-t-il lorsque les boues auront séchées et donneront naissance à des nuages de poussières toxiques, voire légèrement radioactives ?

3. Que fait t'on dans l'usine d'Aluminium d'Ajka ?

En réalité, rien d'original par rapport aux usines de ce type à travers le monde, aux États-Unis, au Canada, en Australie ou en France... sauf que cette usine hongroise, datant de 1943, est très vétuste et la direction n'était semble t'il, pas trop regardante vis-à-vis de la Sécurité et de l'Environnement.

C'est certainement un atout majeur pour une future catastrophe, annoncée du reste depuis longtemps par les écologistes locaux.

Le propriétaire actuel est la Magyar-Aluminium (MAL) qui exploite d'autres sites de Bauxite en Hongrie et qui fait partie des plus grosses fortunes du pays.

En général l'obtention de l'Aluminium s'opère à partir de la Bauxite, une roche constituée pour 60% d'Alumine hydratée ($Al_2O_3 \cdot nH_2O$) et secondairement d'Oxyde ferrique (Fe_2O_3), lequel lui confère sa couleur rougeâtre.

Historiquement le nom de Bauxite vient du village de Baux en Provence, dont les mines alimentent l'usine d'Aluminium de Gardanne, au nord de Marseille et dont l'activité industrielle commença dès 1893 et qui perdure actuellement [2,3].

C'est Alain Bombard, médecin écologiste de renom, qui aurait le premier qualifié de boues rouges ces déchets, produits au cours de la préparation de l'Aluminium [3].

En moyenne la production d'une tonne d'Aluminium entraîne la formation de près de trois tonnes de boues rouges, dont le stockage ou l'élimination en mer (comme pour Gardanne, dont l'élimination se fait au large de Cassis) est une source permanente de conflits écologiques [3].

4. Comment extrait-on l'Aluminium à partir du minerai de Bauxite ?

Pour séparer dans la Bauxite, l'Aluminium, un métal léger (et non un métal lourd comme beaucoup le déclarent dans la presse...), il faut classiquement opérer en deux étapes bien distinctes [4] :

- dans une première phase, dite de solubilisation, selon le procédé Bayer (1887) on va dissoudre sélectivement l'Alumine hydratée (Al_2O_3, nH_2O) et former de l'Aluminate de sodium (AlO_2Na) hydrosoluble. Les impuretés, sous forme insoluble, constitueront les boues rouges.
- dans une seconde étape l'Aluminate de sodium (AlO_2Na), déshydraté par pyrolyse sous forme d'Alumine anhydre (Al_2O_3) est réduit à chaud ($920\text{ }^\circ C$) par électrochimie et conduit à de l'Aluminium très pur (99,9%) comme l'indique le schéma 1.

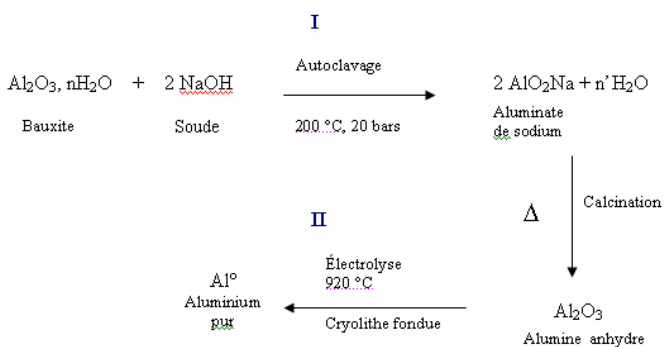


Schéma 1 : Réactions mises en œuvre dans la préparation de l'Aluminium à partir de la Bauxite, selon le procédé de Bayer (1887).

La première étape de solubilisation de la Bauxite, selon le procédé de Bayer s'effectue dans des autoclaves (des sortes de cocottes-minutes géantes) en présence de Soude (NaOH), une base minérale extrêmement corrosive. Après chauffage à 150-200 °C sous 15-20 bars on obtient l'Aluminate de sodium (AlO_2Na), que l'on sépare des impuretés insolubles par décantation puis filtration.

En général les boues rouges ainsi séparées, sont stockées dans d'immenses bassins de rétention, où elles sont mises à sécher.

Ultérieurement les boues rouges seront soit stockées ou éliminées dans l'environnement soit valorisées, par voie chimique ou microbiologique.

Le schéma 2 met en évidence la dualité entre la valorisation de l'Aluminium, un métal à la valeur ajoutée certaine et les impacts négatifs apportés par cette métallurgie, à l'origine, peu vertueuse, vis-à-vis de l'Environnement et de la Santé des Travailleurs.

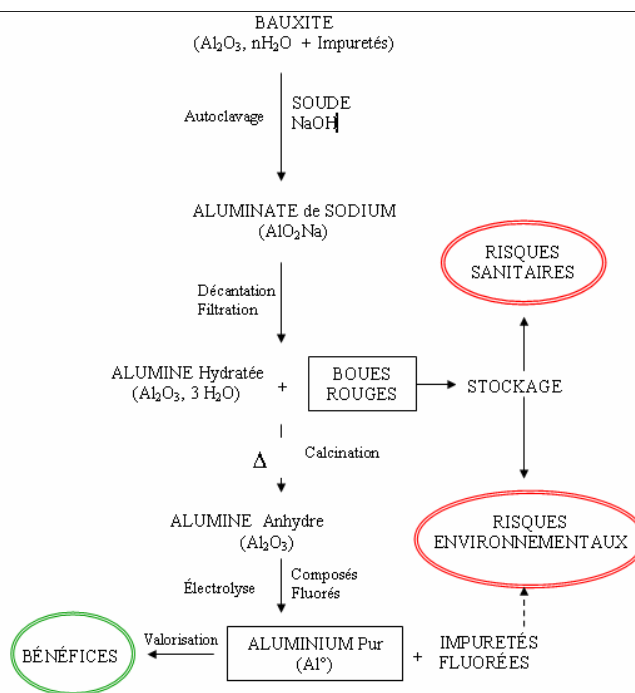


Schéma 2 : La Métallurgie de l'Aluminium, entre bénéfiques et risques

5. Qu'elle est la Composition de ces boues rouges ?

Selon la nature de la Bauxite, la composition des boues rouges sera très variable, mais contiendra toujours au moins 6 Éléments chimiques principaux et ceci sous forme de Composés oxygénés, comme les Oxydes ou les Hydroxydes.

Quatre d'entre eux proviennent de la Bauxite de départ :

- de l'Aluminium résiduaire, à l'état d'Alumine (10 à 15%),
- du Fer, sous forme d'Oxyde (40 à 45%),
- du Silicium, à l'état de Silice (10 à 15%),
- et enfin du Titane (4 à 5 %), lui aussi à l'état de Dioxyde (TiO_2).

Par ailleurs, suite aux divers traitements chimiques subis par la Bauxite, on trouvera aussi dans les boues rouges, d'une part du Sodium (Na^+), apporté par la Soude résiduaire (entre 3 et 12 kilos par tonne d'Aluminium, obtenu en final) et qui sera responsable de la forte corrosivité de ces résidus.

D'autre part on peut aussi y rencontrer du Calcium (Ca^{2+}), de l'ordre de 6 à 10% en provenance de la Chaux, souvent adjointe à la Soude, ce qui ne peut que renforcer la corrosivité de cette dernière.

La Bauxite, étant un minerai complexe, d'autres éléments peuvent aussi, selon la nature des sols, s'y concentrer et ainsi se retrouver en final dans les boues rouges.

En général, leur concentration, y est assez faible, mais il peut y avoir des exceptions.

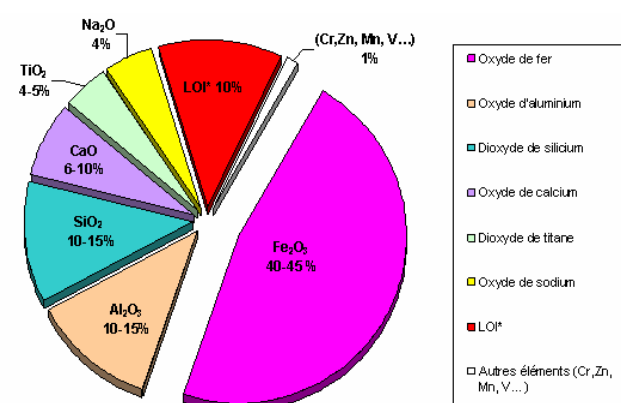
Ainsi en Australie, l'épandage agricole de boues rouges riches en Composés du Chrome hexavalent (Chromates...), entraîna de sérieux empoisonnements du bétail local.

A coté du Chrome, assez fréquent, on peut trouver des Composés oxydés du Manganèse, du Vanadium, voire du Zinc ...dont l'impact environnemental est en général peu important.

Plus étonnant, est le taux relativement élevé de Métaux Traces Toxiques comme le Plomb (Pb²⁺), ou le Mercure (Hg²⁺), ainsi que d'un Élément mixte comme l'Arsenic (As³⁺), qui ont été mesurés dans les boues rouges hongroises.

D'où peuvent provenir ces Éléments chimiques, qui généralement accompagnent rarement l'Aluminium dans la Bauxite ?

Difficile de répondre à cette présence plutôt insolite, mais la nature précise de la Bauxite ainsi que les traitements qu'elle a subi, devrait permettre de répondre à ces interrogations. Reste les chiffres publiés par la société MAL, propriétaire des mines qu'on ne peut que reproduire ici tel quel dans le schéma 3.



*Loss On Ignition correspond à la perte par chauffage de l'Eau et des Composés carbonés (floculants...)

Schéma 3 : Composition des boues rouges du site d'Ajka, fournie par MAL.

6. Quel est l'impact sur la Santé humaine et l'Environnement, des boues rouges d'Ajka ?

Difficile, à l'heure actuelle de répondre, à cette question tant les données analytiques et écologiques, sont pour l'instant imprécises.

Bien entendu les effets immédiats de nature corrosive, ont été rapidement constatés et traités en priorité.

Responsable de cet effet destructeur spectaculaire, la Soude, secondée selon toute vraisemblance par la Chaux.

Comment agissent ces Bases fortes, sur les tissus vivants ?

Tout simplement en détruisant les principaux constituants des biomembranes cellulaires, ces parois qui empêchent l'Eau de s'échapper des cellules biologiques, qui sont des Lipides, toujours associés à des Protéines, d'où leur dénomination de Lipoprotéines.

Les Lipides (communément regroupés sous le terme de Graisses) sont formés par la liaison fragile entre un Alcool, le plus souvent le Glycérol (la Glycérine) et des Acides organiques à poids moléculaire moyennement élevé, dénommés Acides gras, connus de tous, comme par exemple l'Acide palmitique (Acide gras saturé) ou l'Acide oléique (un Acide gras insaturé).

Sous l'action de Bases fortes, cette liaison Ester se coupe en libérant ses constituants, comme l'indique le schéma 4, détruisant de ce fait la structure membranaire ; c'est l'initiation de la nécrose qui va rapidement aboutir à la mort cellulaire.

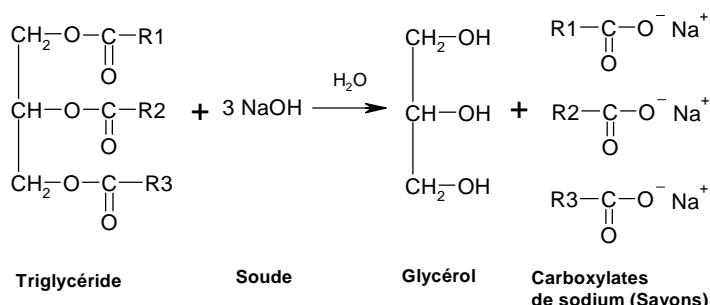


Schéma 4 : Hydrolyse d'un Triglycéride, en présence de Soude

Cet effet corrosif, détruit profondément les tissus et leur régénération est en général très longue, car très sensible, entre autre, aux attaques microbiennes.

Il est évident qu'un apport brutal d'un excès d'une Base forte comme la Soude, va entraîner la mort rapide de toute vie aquatique : flores microbiennes et végétales, batraciens, poissons...

Il est admis qu'une alcalinité de l'Eau supérieure à 10, est difficilement supportable pour les êtres vivants.

C'est ce qui à été constaté dans la région d'Ajka dans la rivière Marcal, qui se jette dans le Raab, un affluent du Danube et qui, dès l'arrivée des boues, a charrié dans les heures qui ont suivi la rupture de la digue, d'innombrables poissons morts. Le pH de cette rivière est monté rapidement au dessus de 13, anéantissant de ce fait, toute forme de vie.

Beaucoup plus difficile à cerner est le futur impact à long terme de ces boues rouges agressives.

Leur dépôt sur les terrains agricoles va certainement les rendre pendant très longtemps totalement stériles, asphyxiant, en fait, toute vie dans le sol.

Le soleil aidant, ces boues ont commencé à se disperser dans l'air, le rendant très nocif pour les voies respiratoires des habitants et des animaux domestiques ou sauvages.

Si l'on examine l'impact à long terme, des différents constituants de ces boues rouges (hormis la Soude et la Chaux) on constate que l'on ne dispose pratiquement pas de données, tant les analyses chimiques sont actuellement quasi inexistantes.

Bien entendu, il y a quelques accidents de nature proche à celui d'Ajka dont on a étudié l'impact et ceci tant au Canada qu'en Australie où ailleurs, mais aucun n'avait jusqu'à présent atteint une telle gravité.

L'élément le plus abondant dans les boues rouges, le Fer, sous forme d'Oxyde (Fe_2O_3) ne présente pas de risques importants pour l'Homme. Par contre à long terme, sur les populations animales, en particulier aquatiques, l'impact peut être beaucoup plus grave surtout au niveau de la reproduction. Ainsi à la concentration de 3 mg par litre, le Fer est susceptible d'empêcher la reproduction de plusieurs variétés de poissons.

Comme on l'a signalé précédemment, les boues rouges riches en Chrome hexavalent (Chromates...) sont particulièrement nocives pour la faune aquatique. Par ailleurs, certains végétaux concentrent de nombreux Métaux de transition (Métaux autrefois dits de la famille du Fer), dont la consommation peut être très préjudiciable à la santé des animaux végétariens.

Si les données des analyses effectuées sur les boues rouges d'Ajka par Greenpeace sont confirmées : 600 mg/kg de Chrome hexavalent, 110 mg/kg d'Arsenic et 1, 3 mg/kg de Cation mercurique, il est évident que leur accumulation tout au long du parcours de ces polluants redoutables, aura à coup sûr des conséquences environnementales désastreuses, tant sur la flore que sur la faune... sans oublier l'Homme, en bout de chaîne des écosystèmes aquatiques et terrestres.

Reste le problème de l'Aluminium en milieu aquatique : un sujet à polémique actuellement non résolu [6]. Sans rentrer dans les détails, on peut considérer comme admis que dans certaines circonstances, l'Aluminium, sous sa forme ionique trivalente (Al^{3+}), peut devenir un neurotoxique non négligeable pour l'Homme, entraînant entre autre une accélération du vieillissement cérébral, qui peut par exemple, se manifester sous forme de la maladie d'Alzheimer [5].

Évidemment il est trop tôt pour faire une évaluation sur le réel impact à long terme des boues rouges d'Ajka, tant sur la Santé des populations touchées, que sur les différents Écosystèmes, mais il est important pour la suite de rester très vigilant.

On doit constater qu'il est assez paradoxal que la Hongrie, dont la politique de défense de l'Environnement a souvent été citée en exemple dans l'Union européenne, ait tant de difficulté à réellement appliquer la réglementation existante, quant il s'agit des Risques chimiques industriels.

Plusieurs Association écologiques dont WWF jugent que la législation européenne concernant les déchets industriels est insuffisante. En effet la boue rouge produite à partir de la Bauxite n'est pas considérée

comme un déchet dangereux, mais rentre dans la catégorie des résidus inertes.

Ceci est totalement paradoxal, car les boues rouges contiennent toujours de la Soude, une Base minérale très agressive et ces résidus, comme on l'a signalé précédemment, peuvent être parfois légèrement radioactifs.

La catastrophe écologique sans précédent des boues rouges est malheureusement un bien triste exemple, de cette course effrénée au profit, au détriment de la Sécurité de l'Environnement et en final de la Santé des populations environnantes.

Il est vrai que cette production d'Aluminium, de qualité médiocre, héritée de l'époque soviétique, aurait due être arrêtée depuis bien longtemps, étant non compétitive au niveau international et sans intérêt économique pour la population hongroise.

Souhaitons que les autres pays riverains du Danube, prennent réellement conscience de l'importance de l'environnement pour le développement harmonieux de leurs pays respectifs et ceci en protégeant au mieux le Danube, leur beau fleuve bleu nourricier, qui n'y gagnerait pas à devenir rouge !

André Picot et Jérôme Tsakiris

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- 1- WWF <http://www.wwf.fr> et <http://www.wwf.ch/fr>
- 2- Mioche P. 1997.
L'Aluminium à Gardanne, de la deuxième industrialisation à fin des années 1960. p 85-94
Dans Grinberg I et Hachez-Leroy F. *Industrialisation et sociétés en Europe occidentale de la fin du XIXe siècle à nos jours. L'âge de l'aluminium.*
A Colin Ed, Paris.
- 3- Loison M.C et Pezet A. 2006.
L'entreprise verte et les boues rouges. Les pratiques controversées de la responsabilité sociétale à l'usine d'alumine de Gardanne (1960-1966), *Entreprises et Histoire*, n°45
http://halshs.archives-ouvertes.fr/docs/00/15/05/17/PDF/e_h_pezet_loison_3_.pdf
- 4- Morvan R.G. 1969
Aluminium.
Dans Encyclopédie Internationale des Sciences et des Techniques.
Vol 1. p 368-377.
Groupe des Presses de la Cité, Paris.
- 5- Exley.C. 2008.
Aluminium and Medecine.
Dans *Molecular and Supramolecular Bioinorganic Chemistry*. p 45-68
Nova Science Pa.
- 6- Belle V. 2010.
Quand l'Aluminium nous empoisonne - Enquête sur un scandale sanitaire.
Max Milo Ed, Paris