

Les minéraux à usages nouveaux : nouvelles chances pour l'Algérie

Mohamed KECIR

Institut National des Hydrocarbures et de la Chimie Département de Géologie,
Route de l'Indépendance - 35 000 Boumerdès

Résumé: L'Art des Mines évolue plus rapidement que d'autres métiers anciens, en particulier en ce qui concerne la prospection, l'exploitation et la valorisation de minéraux à usages industriels nouveaux.

Il s'agit presque toujours de minéraux connus depuis longtemps et parfois fort banals auxquels les technologies modernes ont conféré une nouvelle jeunesse.

Certains de ces minéraux pourraient exister et être exploités en Algérie et l'objectif de cet article est de sensibiliser les Scientifiques et techniciens sur leur intérêt.

Les minéraux envisagés ici sont le trona, la monazite grise, les zéolites, l'eudialyte et le quartz ultra pur.

L'industrie minière de l'Algérie a intérêt à promouvoir la production de ces matières premières dont l'avenir est très prometteur car les industries de pointe ont un besoin croissant de jour en jour de ces minéraux.

Mots-clés : Minéraux - Usages nouveaux - Trona - Monazite - Zéolites - Eudialyte - Quartz ultra pur - Lasca.

Minerals with new applications : new occasions for Algeria.

Abstract : The Art of Mining progresses more rapidly than others old sectors, particularly concerning the prospection, the exploitation and the beneficiation of the minerals for new industrial applications.

In most of cases, those minerals are well known since a long time and sometimes are banal. But modern technologies conferred them a new youth.

Some of those minerals could exist and could be exploited in Algeria countries and the target of this communication is to make the scientists and the technicians sensitive to their interest.

The concerned minerals are the trona, the grey monazite, the zeolites, the eudialyte and the ultra pure quartz.

The algerian mining industry has a stake in promoting the production of those raw materials for which the future is hopeful because the high technology industry has an increased need in those minerals.

Key words : Minerals - New applications - Trona - Monazite - Zeolites - Eudialyte - Ultra pure quartz - Lasca.

Les historiens discutent toujours sur le point de savoir si le métier de mineur est le plus vieux métier du monde. Quelle que soit la réponse que l'on donne à cette question, on ne peut que constater que l'Art des Mines évolue plus rapidement que d'autres métiers anciens, en particulier en ce qui concerne la prospection, l'exploitation et la valorisation de minéraux dont l'industrie moderne a de plus en plus besoin.

Certains de ces minéraux pourraient exister et être exploités en Algérie et l'objectif de cet article est de sensibiliser les scientifiques et techniciens sur leur intérêt pour notre pays.

Il s'agit presque toujours de minéraux connus depuis longtemps et parfois fort banals, auxquels les technologies modernes ont conféré une nouvelle jeunesse.

Nous passerons en revue certains de ces minéraux, sans prétendre présenter une énumération exhaustive ni épuiser le sujet pour les minéraux envisagés.

I. LE TRONA

Les carbonates naturels des métaux alcalins sont connus depuis très longtemps. Plusieurs dizaines de siècles avant notre ère, les Egyptiens utilisaient le natron ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) pour embaumer les morts et conserver ainsi les momies (Kostick, 1990).

La géologie moderne a pendant longtemps étudié les énormes dépôts évaporitiques marins et a quelque peu négligé les phénomènes évapori-

tiques continentaux beaucoup plus réduits et beaucoup plus complexes. En effet, il ne faut pas perdre de vue que 27 % de la surface des continents sont privées d'écoulement à la mer, parmi lesquels 16 % sont aréiques et 11 % endoréiques (Netels, 1992).

Si donc le trona ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et d'autres minéraux analogues sont connus depuis longtemps, son importance économique n'a été comprise qu'à la suite de la découverte des grands gisements de Green River aux Etats-Unis (principalement dans l'Etat du Wyoming). Pourtant le trona n'a cessé d'être exploité depuis des siècles en Afrique, notamment au Kenya (lac Magadi) et autour du lac Tchad.

On sait actuellement que les gisements de trona se forment dans des bassins endoréiques. Une soixantaine de ces gisements sont connus à l'heure actuelle et parmi ceux-ci, certains sont très importants (fig. 1). C'est le cas des gisements de Green River, qui s'étendent sur plus de 3000 km², des gisements autour du lac Van en Turquie et des dépôts déjà signalés des lacs Magadi et Tchad.

Les processus de formation des gisements de trona sont toujours activement étudiés et les spécialistes algériens devraient s'inspirer de ces travaux pour rechercher cette substance précieuse dans notre pays. Ajoutons que la production mondiale de carbonate de sodium est en continuelle augmentation. Elle était de 31 millions de tonnes en 1993 (Kostick, 1994) dont plus d'un tiers était déjà extrait par les mineurs américains (fig. 2).

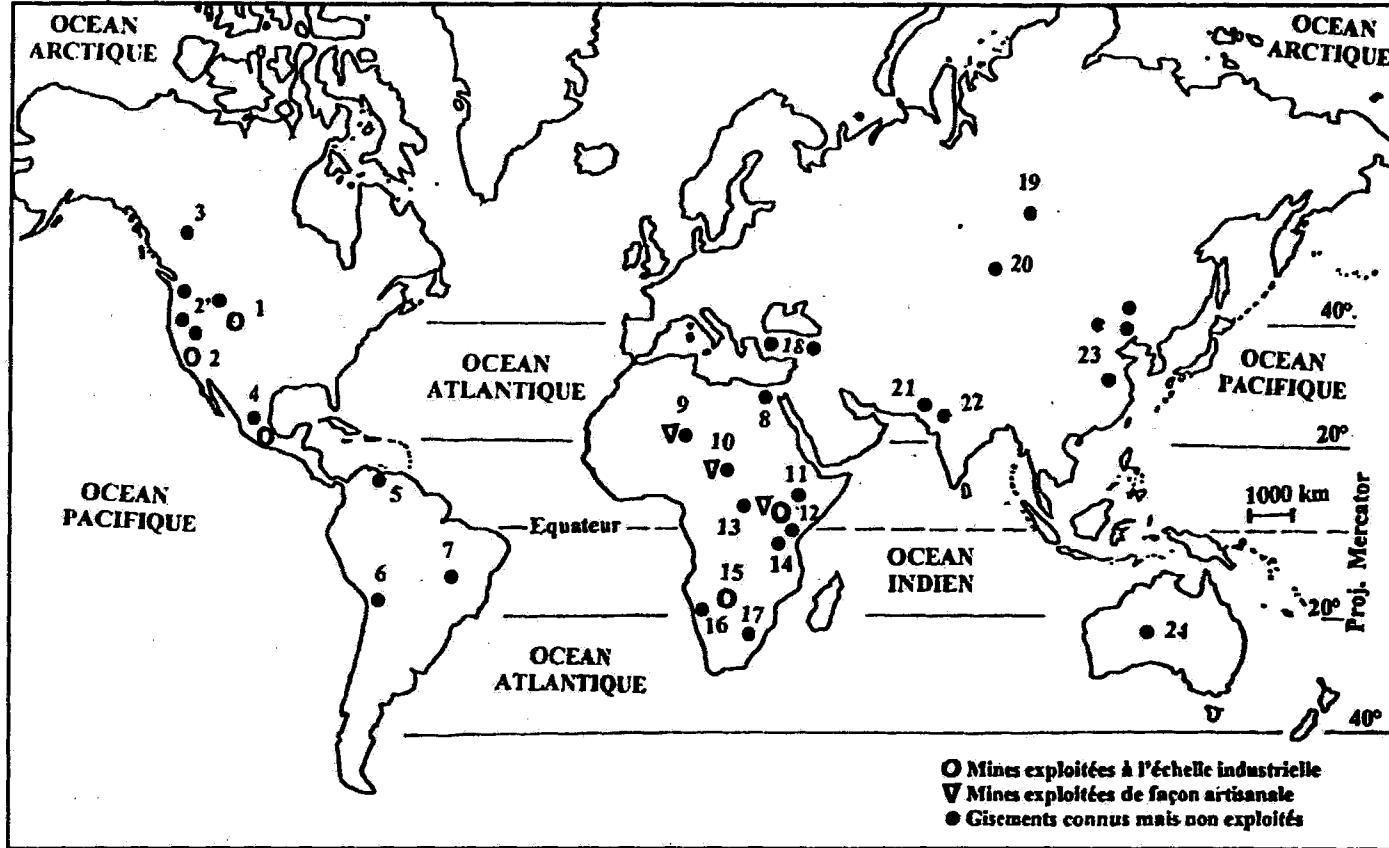


Fig. 1 - Localisation des gisements connus de carbonates de sodium, d'après Mannion 1975, modifiée par V. Netels, 1992
Localization of soda ash known deposits, after Mannion 1975, modified by Netels, 1992

- 1- Gisement de Searles Lake; 2- gisement du Wyoming; 2'- autres gisements américains; 3- Canada;
 4 Mexique; 5- Vénézuéla; 6- Bolivie; 7- Brésil; 8- Egypte; 9- Niger; 10- Tchad (lac Tchad); 11- Ethiopie; 12- Kenya (lac Magadi); 13- Ouganda; 14- Tanzanie; 15- Botswana; 16- Namibie; 17- Afrique du Sud; 18- Turquie (lac Van); 19- ex - URSS;
 20- Mongolie; 21- Pakistan; 22- Inde; 23- gisements chinois; 24- Australie

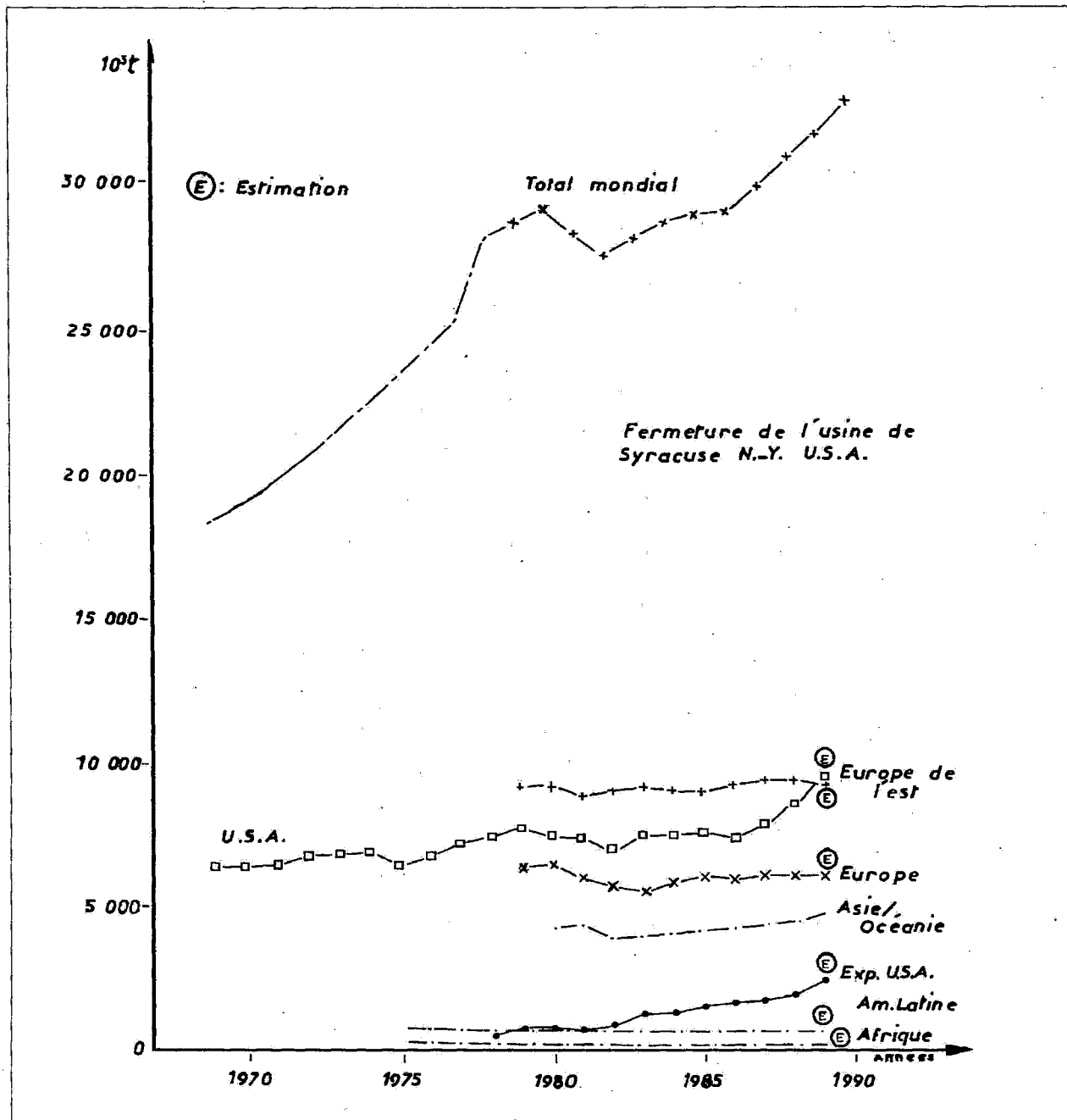


Fig. 2 - Production du carbonate de sodium, d'après Harriman, Kostick (in Netels, 1992)
 Production of sodium carbonate, after Harriman, Kostick (in Netels, 1992)

Le marché mondial est approvisionné en carbonate de sodium suivant deux filières : l'une liée à la purification des minéraux naturels (filière naturelle) et l'autre basée sur la synthèse chimique (tab. 1).

Le prix du carbonate à 58% Na₂O était, en 1994, de 100-150 \$/t selon la qualité et l'emballage (Kostick, 1994).

Les principales utilisations sont la verrerie (51%) et la chimie-bicarbonate, chromates, phosphates et silicates de sodium - (22%).

La fabrication des savons et détergents absorbe 12% de la production mondiale, tandis que 4 % sont utilisés dans les installations pour traitement des eaux, des fumées.

L'industrie de la pâte à papier en consomme environ 2%. Les 9% restants se répartissent entre des industries variées telles que : photographie, produits pharmaceutiques, textile, raffinage du pétrole, industries métallurgiques (Netels, 1992).

II. LA MONAZITE EN NODULES

La monazite - (Ce,Y) PO₄ - qui contient aussi d'autres terres rares, est également connue depuis très longtemps. Sa variété jaune a été et est toujours exploitée dans les alluvions provenant de la décomposition de massifs granitiques.

La variété grise en nodules, présente dans certains schistes primaires et précambriens, n'a été découverte qu'au milieu des années 50 au Zaïre (Rosenblum et Mosier, 1983). Son importance économique a grandement augmenté à partir du moment où les progrès technologiques ont nécessité l'utilisation de terres rares spécifiques (europium, néodyme, gadolinium) pour les écrans luminescents principalement (téléviseurs), pour les pots catalytiques des voitures et les aimants permanents (les alliages Sm-Co et Fe-B-Ne sont les aimants permanents les plus puissants actuellement connus) (Coey, 1995 *et al.*).

Il est probable que l'importance des terres rares

Tableau 1 - Filières de fabrication du carbonate de sodium [Aitala et Henrickson, 1982 (in Netels, 1992)
Making ways of soda ash [Aitala et Henrickson, 1982 (in Netels, 1992)

Filière "Synthèse"	Filière "naturelle"
- Procédé Solvay*	- Exploitation minière traditionnelle (Wyoming en souterrain)
- Carbonisation de soude caustique	- Exploitation minière par mise en solution des minéraux
- Procédé DUAL ou AC (Japon)#	- Exploitation de saumures
- Procédé NA (Japon)#	

(*) Procédé Solvay

Le carbonate de sodium est fabriqué à partir de sel (NaCl en solution aqueuse), de coke et de calcaire avec introduction et récupération de l'ammoniaque.

(#) Les procédés DUAL et NA

Ils travaillent à partir de sel solide, ce qui permet un meilleur rendement au niveau de l'incorporation du sodium dans le carbonate (supérieur au procédé Solvay qui est de l'ordre de 70%).

Dans le procédé DUAL, le calcaire n'est pas nécessaire; il est intégré dans le procédé NA à la condition expresse de vouloir produire du chlorure de calcium comme sous-produit

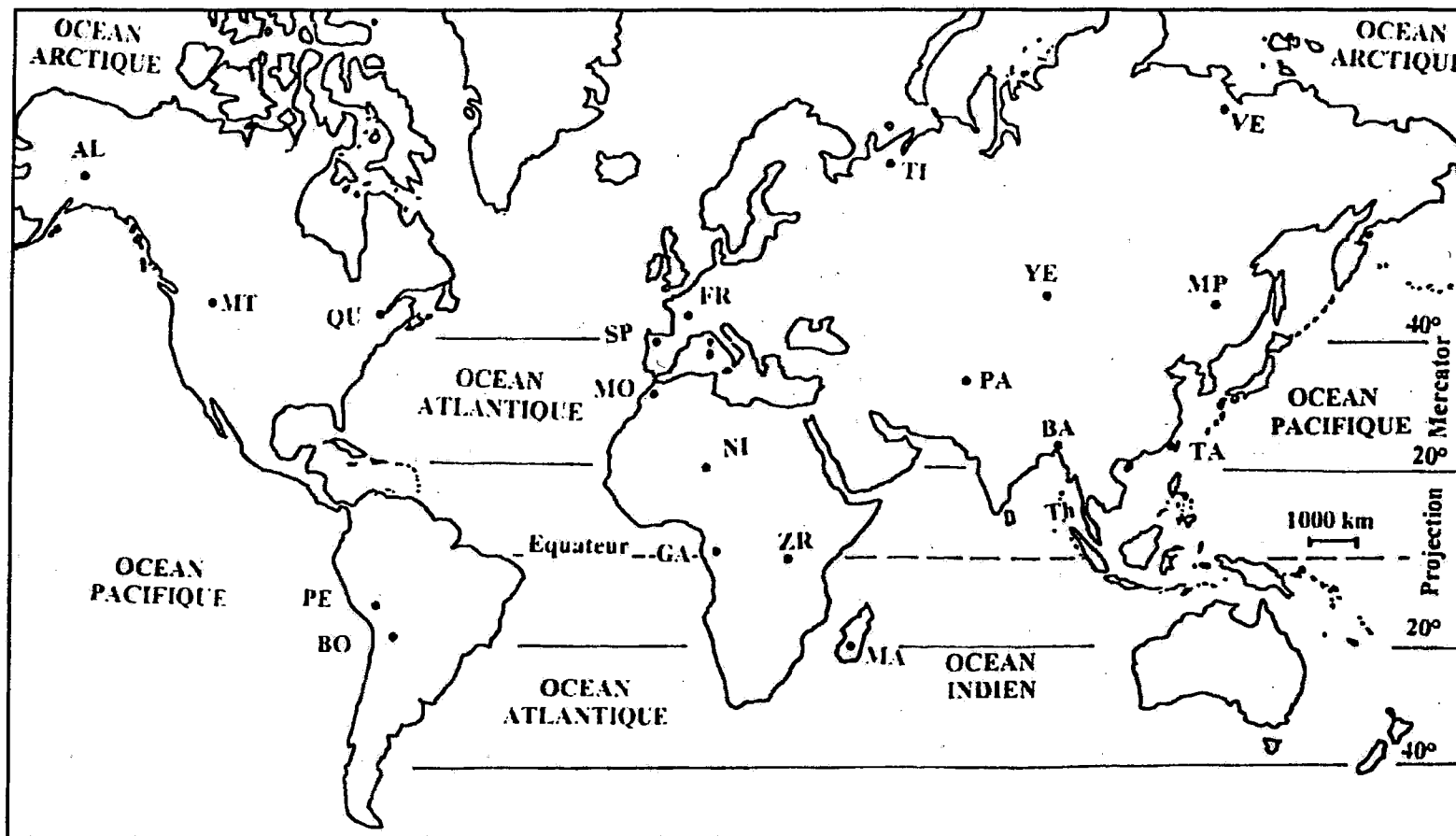


Fig. 3 - Occurrences de monazite grise dans le monde, d'après Rosenblum et Mosier, 1983
Worldwide occurrences of dark monazite after Rosenblum and Mosier, 1983

Localités : AL. Alaska; MT. Montana; PE. Pérou; PA. Pakistan; BA. Bangladesh; Th. Thaïlande; FR. France;
 ZR. Zaïre; MA. Madagascar; TA. Taïwan; YE. Yeniseï / URSS; MP. Province maritime / URSS; VE.
 Verkhoyand Range / URSS; MO. Maroc; SP. Espagne; QU. Québec; BO. Bolivie; GA. Gabon.

va encore augmenter avec la fabrication prochaine de céramiques supraconductrices à Lanthane et Yttrium.

L'importance de la monazite en nodules a quelque peu diminué ces dernières années avec la mise en exploitation de l'énorme gisement de bastnaesite (CeFCO_3) de Bayan Obo en Mongolie et l'exploitation par les Chinois des minerais ioniques de terres rares (argiles ayant adsorbé sélectivement des oxydes de terres rares) (Hedrick, 1995).

Malgré ces nouvelles données, la production de monazite grise reste très importante, notamment en Inde, Australie, Afrique du Sud, Indonésie, ex-URSS, au Brésil et aux États-Unis (fig. 3).

Signalons que des concentrés de bastnaesite californienne obtenus par flottation, lixiviation et calcination titrent respectivement 60%, 70% et 80% OTR (oxyde de terres rares) (Hedrick, 1990).

La monazite, quant à elle, est d'habitude séparée d'autres minéraux lourds par concentration gravimétrique sous eau, suivie de séparations électrostatique et magnétique. Le produit magnétique obtenu est un concentré dont la teneur varie de 55 à 66 % OTR (Rosenblum et Mosier, 1983).

Les prix des oxydes de terres rares varient entre 20 \$ (oxyde de néodyme à 95 %) et 5500 \$ (oxyde de lutétium à 99,99 %) le kilogramme (Hedrick, 1995).

Il serait donc très intéressant de prospecter les alluvions provenant de la décomposition de schistes anciens (primaires et précambriens) qui existent ou existeraient en Algérie.

III. LES ZÉOLITES

Les zéolites naturelles sont des minéraux connus depuis plus de 200 ans. Les roches zéolitisées

étaient déjà utilisées il y a environ 2000 ans comme pierres de construction (Rocher, 1990).

On connaît actuellement plus de 40 variétés de ces alumino-silicates hydratés de métaux alcalins et alcalino-terreux (fig. 4) qui ont été identifiés principalement dans des tufs volcaniques altérés et dans certains dépôts lacustres (Virta, 1994).

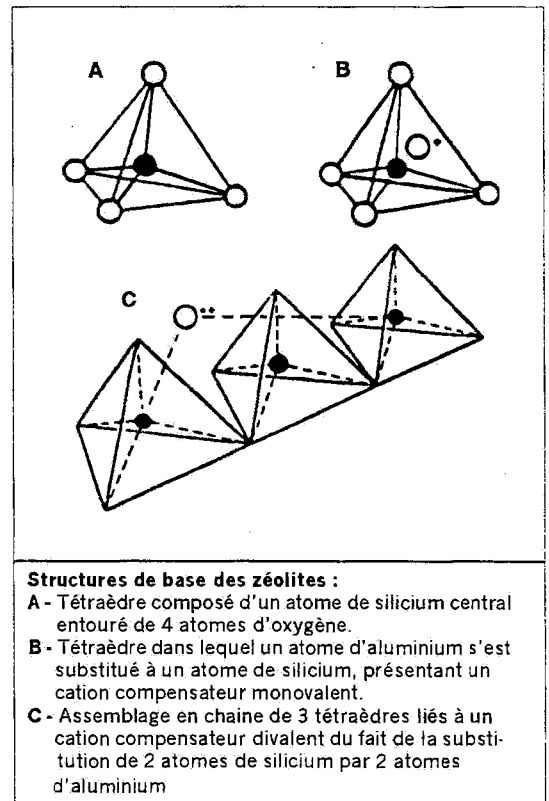


Fig. 4 - Structures de base et formule empirique des zéolites (Rocher, 1990)
Base structure and empirical formula of zeolites (Rocher, 1990)

Le silicium tétravalent est remplacé par l'Al trivalent, la charge devient négative. La neutralité électrique est atteinte grâce à l'incorporation, dans les cavités, de cations monovalents (Na^+ , K^+) ou bivalents (Ca^{++} ou Mg^{++}).

Une formule empirique peut s'écrire :

$$(\text{M}, \text{M}')\text{Al}_2 \text{O}_3 \cdot \text{gSiO}_2 \cdot \text{zH}_2\text{O}$$

où M^+ est habituellement Na ou K et M^{++} est Mg , Ca ou Fe . Rarement Li , Sr ou Ba peuvent se substituer à M^+ ou M^{++}

L'importance commerciale des zéolites est née à partir du moment où à cause de la disposition de la structure en canaux de leurs molécules, elles fonctionnent comme des filtres moléculaires (seuls les plus petits cations de dimension maximale 3 à 8 Å peuvent pénétrer dans les canaux et sont adsorbés sur leur surface qui est chargée négativement). L'ensemble de ces cavités (pores, canaux) confère aux zéolites leur caractère poreux (le volume des pores pouvant atteindre 50 % du volume total) et leur grande surface interne (plusieurs centaines de m² / g).

On a constaté que ces minéraux peuvent servir comme support pour des catalyseurs dans l'industrie pétrolière principalement, ainsi que pour l'épuration des eaux industrielles usées (rétention des métaux lourds en solution : Pb, Zn, Cu, Fe, Cd, Ag) (Rocher, 1990 et Virta, 1995).

De nouvelles utilisations sont ensuite apparues telles que :

- l'usage en construction comme isolant thermique et phonique;
- l'alimentation du bétail (renforcement de la résistance mécanique des os, diminution des maladies cardiaques et intestinales);
- il y a quelques années, après les accidents nucléaires de Three Mile Island (1981, USA) et de Tchernobyl (1986, URSS), au premier rang des décontaminants utilisés : des zéolites naturelles.
- aujourd'hui, c'est la guerre des lessives propres : l'agent anticalcaire responsable est la zéolite A.

L'importance des zéolites comme catalyseurs a incité les industries utilisatrices à mettre au point des techniques de synthèse qui permettent actuellement la production de zéolites parfaites pour la catalyse et qui remplaceront progressivement les zéolites naturelles pour cet usage. Le prix très élevé de ces produits de synthèse (3 à 10,

fois supérieur en moyenne à celui des zéolites naturelles dont le prix de vente varie entre 1,50 et 2,50 FF le kg) (Rocher, 1990) exclut pour l'instant, et probablement pour longtemps encore, l'usage pour d'autres applications.

Dès lors, la production et la consommation de zéolites naturelles augmente à l'échelle mondiale, principalement la clinoptilolite $[\text{Na}_6 (\text{AlO}_2)_6 (\text{SiO}_2)_{30} \cdot 24\text{H}_2\text{O}]$ et la phillipsite $[(\text{K}, \text{Na})_{10} (\text{AlO}_2)(\text{SiO}_2)_{22} \cdot 20\text{H}_2\text{O}]$.

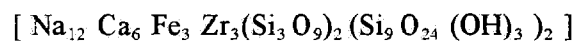
Les producteurs les plus importants sont les États-Unis. En Europe, la production se développe en Italie, France, Roumanie et ex-Yougoslavie. Citons par ailleurs le Japon, Cuba, l'Australie, le Canada et l'Afrique du Sud.

Il y a une dizaine d'années, la production de zéolites naturelles dans le monde avoisinait les 700 000 t dont la moitié avait pour origine les pays d'Europe centrale (Rocher, 1990. En 1994, les États-Unis à eux seuls en ont produit 53 000 t (Virta, 1995).

A notre connaissance, aucune recherche n'a encore été faite dans les pays du Maghreb, peut-être parce que l'identification des zéolites dans les roches est très difficile. Il est probable que le premier producteur nord-africain s'assurera un quasi-monopole de ces substances en plein développement.

Il est donc urgent que nos scientifiques et techniciens se penchent sur ce problème.

IV. L'EUDIALYTE



La série eudialyte-eucolite (variété ferromanganésifère de l'eudialyte) est également connue depuis très longtemps. Ces minéraux de couleur rouge très attrayante ont été identifiés comme accompagnateurs de la néphéline $[(\text{Na}, \text{K})\text{AlSiO}_4]$

dans certains massifs magmatiques hyperalcalins.

Bien que la solubilité de l'eudialyte dans l'acide sulfurique soit, comme son nom l'indique, connue depuis toujours, son utilisation comme source de zirconium a été pendant longtemps négligée, à cause de sa faible teneur en ce métal. Il faut attendre le milieu des années 80 pour que les techniciens envisagent son exploitation.

L'intérêt actuel pour ce minéral ne résulte pas tellement des usages nucléaires du zirconium (grande transparence aux neutrons thermiques), mais surtout des nouvelles utilisations en métallurgie (alliages anticorrosion) et sous forme de zircone (ZrO_2) qui est l'un des meilleurs réfractaires actuellement connus (Harben et Bates, 1984).

L'exploitation de l'eudialyte - eucolite a commencé à la fin des années 80 au Québec (Canada). A l'heure actuelle, des gisements d'eucolite sont également étudiés aux Etats - Unis, au Groenland (où l'exploitation a été retardée pour des raisons écologiques) et au Vietnam.

Si donc des gisements de ce minéral en pleine expansion sont découverts rapidement en Algérie, notre pays pourrait en devenir un des premiers producteurs mondiaux.

V. LE QUARTZ ULTRA PUR

Le quartz est un minéral banal, parmi les plus répandus dans l'écorce terrestre et connu depuis la très haute Antiquité. Ses utilisations sont innombrables.

L'intérêt du quartz à très haute pureté est né avec la découverte de ses propriétés piézoélectriques. La production de lascas brésiliens, cristaux de quartz ultra pur, a vite été insuffisante pour couvrir les besoins mondiaux et les industriels ont dû fabriquer du quartz synthétique à un prix très élevé.

Outre le Brésil, on connaît et on exploite aujourd'hui du quartz ultra pur dans l'Etat d'Arkansas aux Etats-Unis (tab. 2), à Madagascar, en Turquie et en Inde. La production de ce dernier pays est exclusivement réservée au Japon qui est devenu de ce fait le premier fournisseur de quartz ultra pur au monde.

Signalons que la production mondiale de lascas est inférieure à 2000 t / an parmi lesquelles 110 t

Tableau 2. Analyse chimique de lasca américain de taille unique allant jusqu'à 1 ¼ " x 1/2" (Coleman, USA)

Chemical analysis of one grade sized to 1 ¼ " x 1/2" american lasca product (Coleman, USA)

Elément	ppm
Na	18,00
Al	17,00
K	2,30
Ca	1,30
Li	1,00
Ti	0,64
Fe	0,50
Mg	0,32
Zr	< 0,10
Cu	< 0,05
Cr	< 0,05
Mn	< 0,05
V	< 0,05

environ reviennent aux Etats-Unis et sont destinées à la fabrication de cristaux synthétiques (Harben et Bates, 1984).

Actuellement, de nouvelles utilisations absorbent des quantités croissantes de ce quartz. Parmi celles-ci, citons les lampes halogènes, les lentilles de lasers, les fibres optiques, l'optique de haute précision à usages militaires, etc. (Rocmans, 1994).

La littérature mondiale reste muette sur le quartz ultra pur, sujet considéré comme hautement confidentiel.

Même les spécifications commerciales et les prix du quartz ultra pur restent inconnus. Tout au

plus, peut-on signaler que la pureté de ce quartz est quasi absolue et que le prix, de l'ordre de 6000 à 12000 \$ la tonne dépend très fortement du niveau de ses impuretés. On sait, par exemple, que le prix est multiplié par 3 si la teneur en Li est inférieure à 0,2 ppm.

En outre, les utilisateurs ont des tests spécifiques de qualité dont ils gardent le secret.

Une autre caractéristique du quartz ultra pur, qui limite très fortement les sources d'approvisionnement, est la nécessité d'avoir des cristaux totalement dépourvus d'inclusions fluides.

Comme il est probable que la demande en quartz ultra pur va encore augmenter de façon significative au cours des prochaines années, la Communauté Européenne recherche activement des sources d'approvisionnement européennes. De même, l'Algérie a tout intérêt à s'intégrer dans ces recherches de haute technologie.

Les quelques exemples que nous venons de donner montrent tout l'intérêt de se tenir au courant de l'évolution de l'industrie minérale dans le domaine des usages nouveaux et à haute valeur ajoutée afin que notre pays non seulement prenne le train en marche mais devienne, dans certains cas, la locomotive du progrès mondial.

Remerciements: Nous adressons nos remerciements très particuliers au Service Exploitation des mines de l'Université libre de Bruxelles pour les documents qu'il nous a aimablement fournis et exprimons notre vive reconnaissance au Professeur G. Panou pour sa lecture critique du manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

- COEY, J.M.D., 1995. Rare earth magnets, *Endeavour*, New Series Vol. 19, N°4, p. 146-151.
- COLEMAN QUARTE PRODUCTS, INC. Lasca : high-quality industrial quartz, *The Jessievile plant paper*, Arkansas, USA, 2 p.
- HARBEN, P.W. AND BATES, R.L. 1984. Geology of the non-metallics, *Metal Bulletin Inc.*, New York, Ed. , p. 392.
- HEDRICK, J.B., 1990. Rare earths : the Lanthanides, Yttrium and Scandium; Mineral facts and problems, *Rare Earths*, p. 903-922.
- HEDRICK, J.B., 1994. Rare Earths in 1993, Annual Preliminary, *Min. Ind. Surveys*, p. 3.
- HEDRICK, J.B., 1995. Rare Earths, Annual Review 1994, *Min. Ind. Surveys*, p. 12.
- KOSTICK, D.S., 1990. Soda ash, Mineral facts and problems, *USBM*, p. 1039-1059.
- KOSTICK, D.S., 1995. Soda ash, Annual Review 1994, *Min. Ind. Surveys, USBM*, p. 9.
- NETELS, V., 1992. Les évaporites continentales, Thèse de doctorat, Fac. Sc., ULB, non publiée, p. 5-28; p. 59-64; p. 83-97.
- ROCHER, Ph., 1990. Les zéolites naturelles : des matériaux d'avenir, pour combien de temps encore ? *Géochronique* N°34, p. 13-17.
- ROCMANS, Th., 1994. Purification d'un quartz filonien roumain, *T.F.E. Fac. Sc. Appl., U.L.B.*, non publié.
- ROSENBLUM, S. AND MOSIER, E.L., 1983. Mineralogy and occurrence of Europium-rich dark monazite, *Geol. survey professional paper*, Washington, p. 4 - 34.
- TOGNET, J.P. ET ROLLAT, A., 1993. Terres rares : matières premières et applications, *Mines et Carrières- Les Techniques* IV-V / 93 - Suppl. déc., vol.75, p. 62-69.
- VIRTA, L.R., 1994. Zeolites in 1993, *Annual Review, Min. Ind. Surveys, USBM*, p. 5.
- VIRTA, L.R., 1995. Zeolites, Annual Review 1994, *Min. Ind. Surveys, USBM*, p. 3.

Some parameters to improve a gravity network accuracy : application to the new references base stations network of North of Algeria

(Erratum)

Bulletin du Service Géologique de l'Algérie,
Volume 6, n°1, Juin 1995, pp 79 - 94.

Mouloud IDRES* and Tahar AIFA**

* USTHB, Institut des Sciences de la Terre, Département de Géophysique,
BP 32, Bab-Ezzouar El-Alia, Alger (Algérie).

** Géosciences-Rennes, Université de Rennes I, Laboratoire de Géophysique Interne,
Campus de Beaulieu, 35042 Rennes cedex (France).

Page 89, la figure 5 : «Carte schématique des grands ensembles structuraux du Nord de l'Algérie est attribuée à Djelloul Belhaï (à paraître) et non à D. Bureau, (1996).

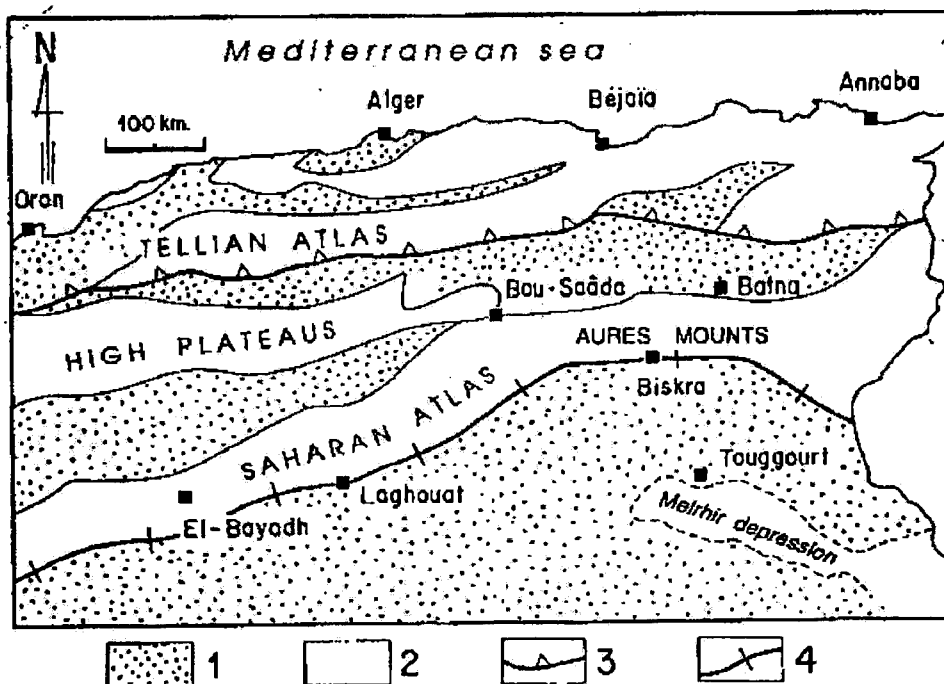


Fig. 5 - Schematic representation of the main structural features of the North of Algeria (Bureau, 1986)
Carte schématique des grands ensembles structuraux du Nord de l'Algérie (Bureau, 1986)

1- Neogene formation (*Formation néogène*), 2 - Ante-Neogene formations (*Formation anti-néogènes*), 3- South Tellian overthrusting (*Chevauchement sud tellien*), 4- South Atlantic flexure (*Flexure sud atlantique*)