

L'uranium et l'industrie du nucléaire dans le monde.

Situation actuelle et perspectives.

Par M. Benzerga *

L' énergie nucléaire ne représente aujourd'hui que 6 % de la production totale d'énergie, mais de nombreux indices tendent à montrer que cette proportion sera amenée à augmenter significativement dans les années à venir, plus rapidement que ne laissaient prévoir les analyses les plus optimistes.

La forte demande en énergie, ainsi que la mise en application du Protocole de Kyoto relatif aux gaz à effet de serre, ont été l'occasion tant attendue pour une relance durable de l'énergie nucléaire.

La présente communication ne s'intéresse qu'à l'uranium en tant que combustible car le thorium, dont les réserves mondiales sont importantes, constitue également un combustible d'avenir susceptible de concurrencer durablement l'uranium.

GEOCHIMIE DE L'URANIUM

L'uranium est un métal communément répandu dans la nature. Il est présent dans tout les faciès pétrographiques ainsi que dans l'eau de mer.

On trouvera ci - après quelques données relatives à la répartition géochimique de cet élément dans la nature.

Gisement riche à 2% U	20 000 ppm U
Gisement pauvre à 0.1% U	1000 ppm U
Roche acide type granite	4 ppm U
Roche sédimentaire	2 ppm U
Croûte continentale	2.8 ppm U
Eau de mer	0.003 ppm U

* Ministère de l'énergie et des mines. 80 avenue Ahmed Ghermoul Alger 16 000 - Algérie

E Mail : m.benzerga@mem.gov.dz

La répartition de l'uranium dans la croûte terrestre est du même ordre que celle de l'étain ou du plomb.

Concentrations métalliques et facteurs de concentration

Élément	Teneur moyenne dans la croûte continentale	Teneur d'exploitation des gisements	Facteur de concentration	Taille des gisements géants (Mt)
Fe	7,4 %	60 %	8	
Ti	0,54 %	35 %	65	
Ni	0,011 %	3 %	270	>5,8
Pb	16 ppm	10 %	1 250	>1.6
Sn	2,5 ppm	1 %	4 000	>0,25
Au	0,3 ppb	10 g/t (=10 ppm)	30 000	>0,00034
U	2.6 ppm	0.1 % -1 %	40 000	>0.25

D'après M. Jébrak (2005) complété.

MINERALOGIE ET GEOLOGIE DES GISEMENTS D'URANIUM :

Les minéraux de l'uranium.

Il existe plus d'une centaine de minéraux uranifères qui ont été identifiés dans les différents environnements géologiques. Parmi ceux ci, les plus répandus sont présentés dans le tableau ci -dessous :

Type de minéraux	Formule Chimique	U%
Uraninite	UO_2	88.15
Carnotite	$K_2(UO_2)_2V_2O_8 \cdot 3(H_2O)$	52.77
Gummite	Mélange d'oxydes d'U hydraté + impuretés	-
Autunite	$Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 10-12(H_2O)$	48.27
Coffinite	$U(SiO_4)_{1-x}(OH)_x$	72.63
Uranophane	$Ca(UO_2)_2SiO_3(OH)_2 \cdot 5(H_2O)$	40.59

La variété collomorphe d'uraninite est nommée Pechblende ($U_2O_5 \cdot UO_3$)

La chimie de ces minéraux est relativement simple, d'ou la facilité des méthodologies (lixiviation en particulier) mises en oeuvre pour la récupération de l'uranium.

Les différents types de gisements d'uranium

L' OCDE / NEA et l'AIEA (2000) classent les différents types de gisements d'uranium connus à travers le monde en 14 catégories en fonction de leur morphologie et de leur environnement géologique.

Toutefois, pour plus de simplicité, nous présentons ci –après la classification proposées par M. Jébrak (2005), plus simplifiée et qui prend en considération des paramètres économiques.

type	Teneur %U ₃ O ₈	Taille (k st U ₃ O ₈)	% ressources	Produits	Co-produits
conglomérats	0,1 - 0,2	20 – 125	20	U, Au	Th
discordance	0,2 - 15	10 –250	16	U	Au, Ni, Pt
filons	0,1 - 1	0,1 – 25	5	Bi,Co,Ni,Ag,U	
grès	0,1 - 0,3	0,5 – 30	45	U	Mo, Se, Cu, V
calcrète	0,1 - 0,3	20 – 51	2	U	V

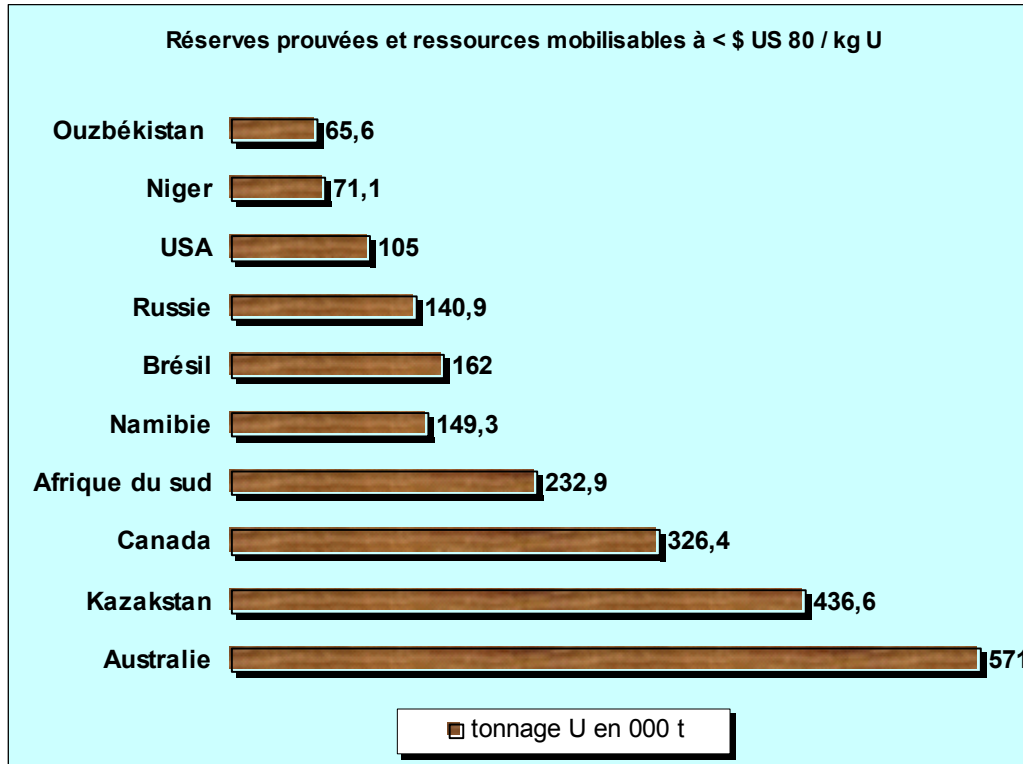
D'après M. Jébrak (2005)

- Les gisements d'uranium sont localisés dans un certain nombre d'environnements géologiques dont des formations d'origine magmatiques, hydrothermales et sédimentaires.
- En Australie la majeure partie des ressources en uranium est localisée dans deux types de gisements : ceux associés à des discordances (interface socle – couverture), et les complexes bréchifiés associée au volcano-plutonisme..
- Au Canada les ressources sont principalement associées à des discordances (interface socle – couverture sédimentaire).
- Au Niger, la totalité des ressources sont situées dans des formations gréseuses "type" red bed".

Ressources et réserves mondiales d'uranium

Ces ressources et réserves présentées ci-après, proviennent des données récoltées par l'AIEA et sont présentées suivant la classification de cette institution.

Il s'agit de réserves et ressources d'uranium mobilisables à un coût inférieur à US \$ 80 / kg U. Elles sont donc mobilisables à court et moyen terme.



Les réserves et ressources mondiales d'uranium mobilisables à un coût inférieur à US \$ 80 / kg U, sont estimées à 2.5 millions de tonnes d'uranium.

L'Australie en recèle 22.8 %, le Kazakhstan 17.4 %, et le Canada 13.05 % de ces réserves.

Ces trois pays recèlent ainsi plus de 50% des réserves et ressources mondiales.

Pour un coût de mobilisation compris entre 80 et 130 US / kg U, les réserves et ressources mondiales augmenteraient de 0.8 millions tonnes.

DEMANDE MONDIALE D'URANIUM

Dans le passé l'uranium était uniquement utilisé pour la coloration du verre, et certains petits gisements d'uranium étaient exploités pour extraire du radium à partir de la pechblende. Cet élément était utilisé pour la production de peinture fluorescente (cadran de montres et instruments de navigation des avions) ainsi qu'en médecine pour le traitement de certaines maladies.

Outre son usage militaire, l'uranium a été principalement utilisé comme combustible dans les centrales électronucléaires à partir des années cinquante.

A signaler par ailleurs, que l'uranium et ses dérivés sont / ou peuvent être également utilisés dans des domaines aussi variés que :

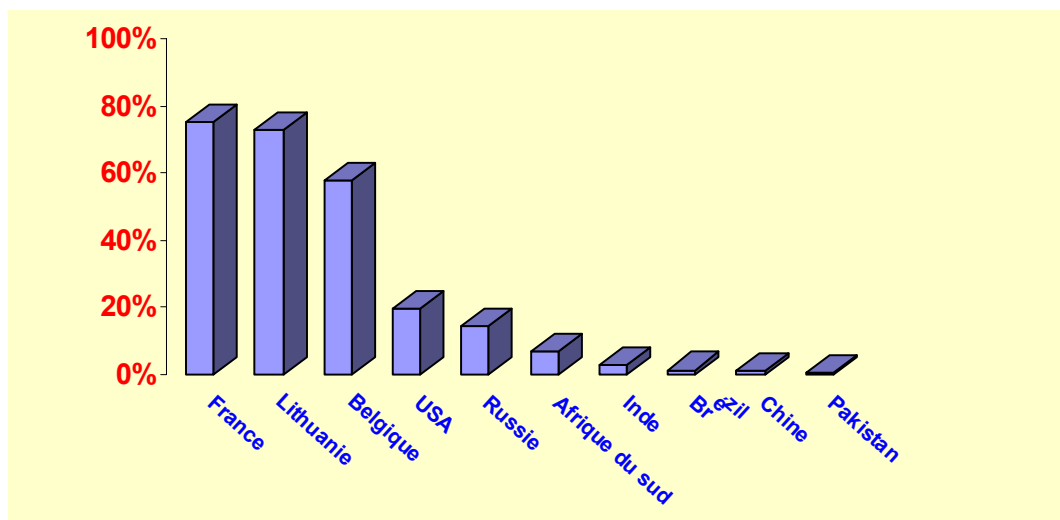
- Réacteurs de recherche scientifique
- Radio - isotopes en médecine, dans l'industrie et l'agriculture
- Propulsion des navires et autres sous-marins
- Production d'hydrogène
- Désalinisation de l'eau
- Détecteur de fumée (Américium)
- Etc...

La production d'électricité reste cependant la principale utilisation de l'uranium comme combustible. Actuellement 16% de la production mondiale d'électricité est produite dans des centrales électronucléaires, ce qui représente environ 2618 billion kWh (ce qui est équivalent à la production mondiale d'électricité en 1960).

Cette électricité est produite par 439 centrales électronucléaires dont la capacité de production est d'environ 366 000 MWe.

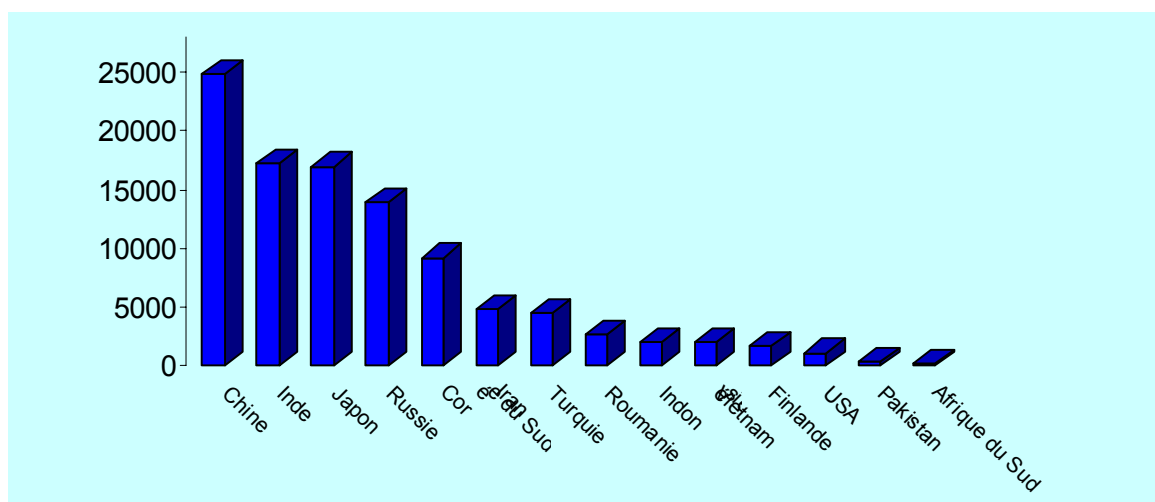
L'électricité d'origine nucléaire est produite dans 31 pays dont les plus significatifs sont présentés ci-après:

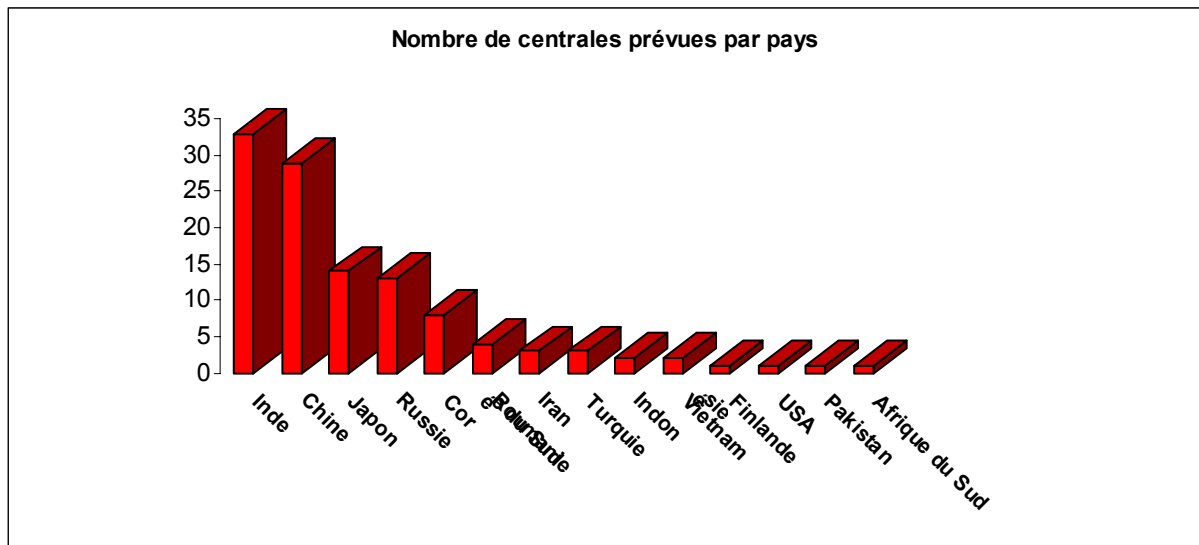
Part de la production de l'électricité d'origine nucléaire dans certains pays



De nouveaux projets représentant une capacité de production additionnelle d'environ 110 000 MWe (soit le tiers de la production actuelle), sont programmés ou projetés à moyen et long terme. Ceci impliquera la construction de 137 nouvelles centrales. Le top five est représenté respectivement par la Chine, l'Inde, le Japon, la Russie et la Corée du Sud.

Capacité de production prévue MWe





Ces différents programmes vont induire des besoins en combustible qui s'élèveront à moyen terme à 68 500 tonnes d'U soit **80 600 tonnes U₃O₈**.

Actuellement un accord quasi général existe à l'échelle mondiale sur au moins deux idées :

- la consommation d'énergie mondiale va continuer à croître,
- cette croissance devra s'accompagner impérativement d'une limitation du recours aux énergies émettrices de gaz carbonique (qui représentent aujourd'hui plus de 80% du total) au profit des énergies non émettrices.

L'uranium a l'avantage d'être une source fortement concentrée d'énergie qui est facilement transportable et à relativement bon marché. Les quantités requises sont beaucoup moins importantes que pour le charbon ou le pétrole. Un kilogramme d'uranium normal rapportera environ 20.000 fois plus d'énergie que la même quantité de charbon.

L'uranium apparaît en ce moment comme un produit énergétique très attractif qui va concurrencer fortement le charbon.

C'est dans cet ordre d'idée qu'il faut noter :

- La signature récente par le Président Bush de la Loi sur l'énergie adoptée par le Congrès en juillet 2005. A cette occasion le Président Bush a assuré que les USA recommenceront à construire des centrales nucléaires avant la fin de cette décennie.

- L'adoption par le parti libéral australien d'une résolution demandant au gouvernement de lancer une étude de faisabilité sur l'énergie nucléaire, malgré l'importance des ressources en charbon de ce pays.

L'OFFRE MONDIALE EN URANIUM

Jusqu'à présent la satisfaction des besoins en combustibles nucléaires est satisfaite par les sources suivantes:

- L'uranium primaire produit par l'industrie minière
- La mise sur le marché de l'uranium provenant de la démilitarisation des armes nucléaires russe (contrat HEU).
- l'uranium et plutonium provenant du retraitement du combustible irradié dans les centrales (MOX).
- des stocks stratégiques des différentes sociétés électronucléaires.

Les prévisions montrent que l'augmentation de la demande en Uranium ne pourra être satisfaite que par l'industrie minière, qui dispose d'importantes réserves et ressources facilement mobilisables.

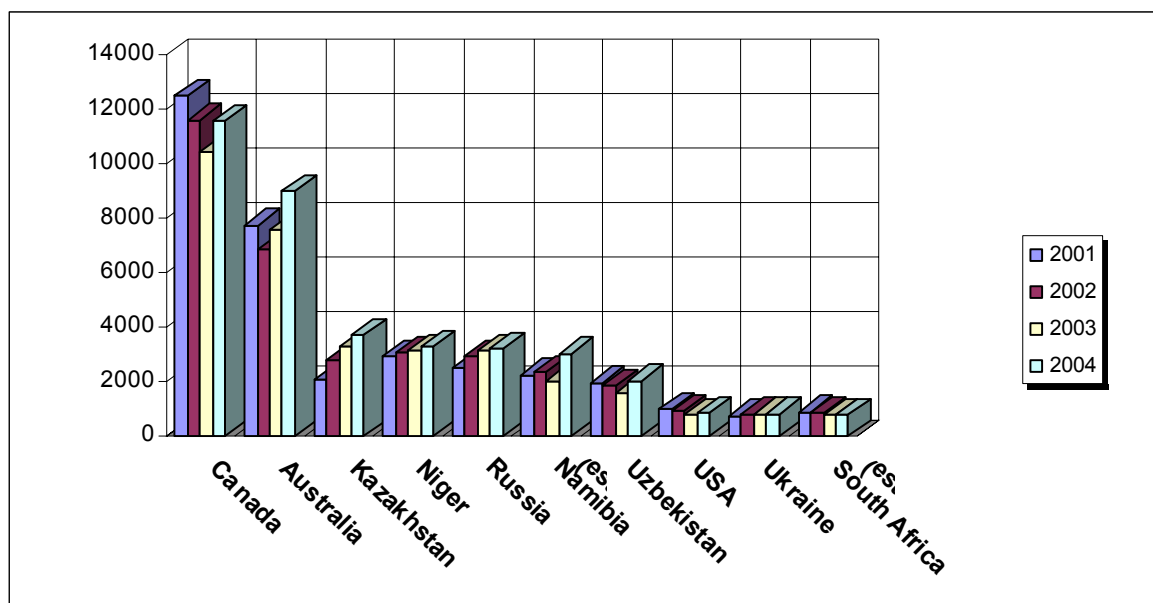
L'apport d'uranium secondaire des autres sources sera marginal notamment suite à la révision à la baisse de la quantité d'uranium russe démilitarisé qui sera mise sur le marché et à la diminution des stocks stratégiques des sociétés d'électricité qui devraient être reconstitués.

Production mondiale d'uranium primaire

L'industrie minière a produit en 2004 environ **40 219 tonnes d'uranium**, en légère augmentation par rapport à 2003. Elle satisfait environ 50% de la demande actuelle.

Le Canada produit actuellement la plus importante part d'uranium primaire, soit 29% de la production mondiale, suivi par l'Australie (21%). Ces deux pays totalisent donc 50 % de la production mondiale d'uranium primaire.

Le Kazakhstan, troisième producteur augmente d'année en année sa production, réussissant ainsi à dépasser le Niger qui rétrograde à la quatrième place.



Les huit principales sociétés minières productrices d'uranium dans le monde sont:

Société	Pays	Tonnes U	% production mondiale
CAMECO	Canada	8038	20
COGEMA	France	5317	13
ERA	Australie	4356	11
KAZATOMPROM	Kazakhstan	3718	9
WMC (BHP)	Australie	3706	9
ROSSING	Namibie	3038	8
PRIARGUNSKY	Russie	3000	7
NAVOI	Ouzbékistan	2050	5

Ces sociétés ont produit en 2004 , 82% de la production mondiale. La CAMECO, la COGEMA et l' ERA ont produit 43 % de la production mondiale d'uranium.

Par méthode d'exploitation, la production mondiale d'uranium se répartie ainsi :

Carrière	27%
Souterrain	40%
ISL	21%
By product	12%

(Statistiques de la WNA)

L'uranium produit en 'by product' concerne l'important gisement australien d'Olympic Dam (Cu, U, et Au), et le gisement de Witwatersand (Au, U) en Afrique du Sud.

La lixiviation in situ (ISL)* est considérée comme une méthode d'exploitation minière d'avenir, qui préserve de façon efficace l'environnement, et dont les coûts d'exploitation sont raisonnables. Cette méthode d'exploitation mise au point aux USA est particulièrement efficace pour les petits gisements situés dans un environnement gréseux type 'Red bed'.

* Ce procédé consiste à injecter par l'intermédiaire d'un puit d'injectif une solution qui va traverser le minerai d'uranium en place. Ce procédé est également utilisé pour récupérer le soufre dans les 'cape rock' des diapirs de sel sous marins (méthode Frasch).

Exploration et nouveaux projets miniers:

La situation actuelle de l'énergie dans le monde a créé un environnement favorable pour relancer l'exploration de l'uranium de la part d'un grand nombre de petites compagnies juniors.

Cette situation a déjà été anticipée, dès le début des années 2000, par les grandes compagnies, notamment la COGEMA et COMECA et BPH (WMC), de nouveaux projets sont déjà en cours de développement, en particulier :

Niger:

La Cogema va lancer de nouveaux projets d'exploration d'uranium dans la zone d'Arlit, à 1.200 kilomètres au nord de Niamey. Les explorations vont être relancées au-delà des concessions détenues par le groupe dans la région

Une étude de faisabilité a été lancée en 2002 en vue de l'exploitation par la méthode ISL du gisement d'Imouraren dont les réserves sont d'environ 80 000 tonnes d'uranium.

Canada :

En sus de deux nouvelles mines qui sont entrées en production en 1999, McClean Lake (COGEMA) et le gisement exceptionnel de McArthur River (Cameco) , deux autres projets sont en développement :

- La mine souterraine de Miswest (70 % COGEMA) devrait produire 2600 t/an de U_3O_8 .
- La mine souterraine de Cigar Lake (Cameco-Cogema) .

Australie :

En Australie il y a un projet en vue de tripler la production d'uranium de la mine d'**Olympic Dam**, pour atteindre une production d'environ 12 700 tonnes U / an.

Ce pays est légèrement en retard dans ce domaine, ceci est du à l'existence d'une opposition au nucléaire et à l'existence d'une industrie charbonnière importante.

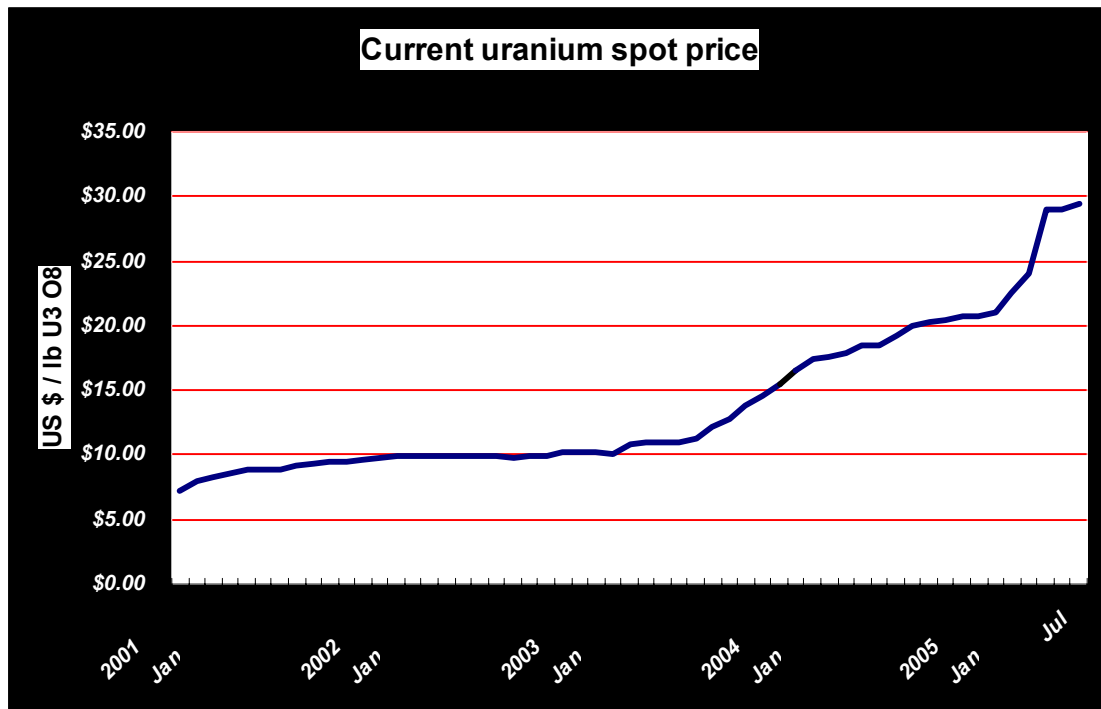
Kazakhstan :

Démarrage en cours d'un projet de production d'uranium par KATCO (Areva 51%, KAZATOMPROM 49%). Ces deux sociétés ont signé le 28 avril 2004 une série d'accord définissant les conditions industrielles, financières, et partenariales du lancement de la phase industrielle. L'investissement prévu est de 90 millions de dollars financé par l'AREVA Les premières productions à partir d'ISL sont prévues fin 2005 avec une montée progressive à 1 500T d'U /an et une capacité de production de 2 000 t/an.

EVOLUTION DU PRIX DE VENTE DU MINERAI D'URANIUM.

A la fin du mois août 2005, le prix spot de la livre d' U_3O_8 a été de 30.20 US \$.

Ce prix n'a pas été atteint depuis plus d'une décennie et est susceptible d'une augmentation sure et régulière.



Depuis 2001, le prix spot de l' U₃O₈ (yellow cake) est en progression constante, Il a ainsi augmenté de plus de 300 % en moins de cinq années. Cette hausse n'est donc pas conjoncturelle et elle a de forte chance de perdurer.

Comme le montre le graphe ci – dessous, le prix actuel est le plus élevé atteint depuis 1987.

Le prix actuel qui devrait continuer à monter,, n'a été dépassé que durant l'age d'or du nucléaire correspondant à la période 1976 – 1980, durant laquelle les prix ont atteint US \$ 42.

Il est à rappeler que les prix spot ont un impact limité et concernent que des achats ponctuels. Ainsi par exemple ce marché n'a concerné en 2003 qu'environ 12 % du commerce mondial de l'uranium.

En général, le marché est strictement contrôlé, les prix sont confidentiels, ils sont négociés directement entre producteurs et utilisateurs par des contrats à long terme, d'environ 3 à 7 années.

CONCLUSION.

Maintenant et plus que jamais tous les indices concordent pour que l'électronucléaire prenne une place de plus en plus active dans la cadre de la production mondiale d'énergie.

Cette accélération va stimuler encore plus l'activité d'exploration et d'extraction minière de l'uranium d'origine primaire.

Les principaux bénéficiaires de cet état de fait sont les grands sociétés tels que l'AREVA, COMECA , BHP, etc..... ;

Il est fort probable également que les recherches vont être relancées quant à l'utilisation du thorium comme combustible.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET SITES WEB CONSULTES

ARASCO 2004 : Marché de l'uranium. Bulletin semestriel d'information n° 43.

G. Capus, P. Bourrelier and M. Souley (2004) . Uranium mining in Niger : Status and perspectives of a Top five Producing Country . WNA. Annual Symposium 8-10 sept 2004.

IEAA / OECD : Uranium 2003 . Ressources, production and demand. OECD Publishing / International Atomic Energy Agency .

<http://www.mindat.org/index.php>

<http://www.world-nuclear.org/info/inf23.htm>

www.worldenergy.org

<http://webmineral.com>

<http://www.cameco.com>

<http://www.uxc.com/>

<http://www.fad.bf.refer.org/gitnet/gitnet/index.html>