

Prévisions relatives à la demande future d'uranium et de services du combustible nucléaire

par Rurik Krymm et Georg Woite

Comme l'analyse des prévisions faites au cours des dernières années le démontre amplement, les projections concernant la puissance nucléaire installée à l'échelle nationale, régionale ou mondiale sont incertaines. Le tableau 1, qui récapitule les prévisions faites au cours des dernières années, rappelle que la prudence est de règle et qu'il vaut mieux indiquer des fourchettes que des chiffres uniques.

Mais ces incertitudes fondamentales ne sont que les premières auxquelles on se heurte lorsqu'on veut évaluer la demande future d'uranium et de services du cycle du combustible nucléaire. Des estimations générales de la puissance nucléaire installée totale ne suffisent plus; elles doivent être complétées par des ventilations détaillées par type de réacteurs, qui s'étendent à toute la période couverte par l'étude. Pour chaque catégorie de réacteurs, il faut connaître leurs caractéristiques de fonctionnement futures ou faire des hypothèses à leur sujet. Il faut aussi admettre diverses possibilités en matière de politique de gestion du combustible dans des domaines essentiels comme par exemple le retraitement, le recyclage de l'uranium et du plutonium et les teneurs des rejets provenant des installations de séparation des isotopes. Dans ces conditions, l' "arbre des événements possibles" se ramifie rapidement en un si grand nombre de branches que sa description devient difficile et son interprétation sujette à confusion. Si, par exemple, on applique trois hypothèses différentes également raisonnables à chacun des cinq grands paramètres (puissance nucléaire installée totale, ventilation par type de réacteurs, recyclage, teneur des rejets et facteur de charge), il faudra établir et interpréter jusqu'à 243 ensembles de courbes de la demande.

Aux fins du présent article, les hypothèses ont été réduites au minimum et restreintes à deux grands domaines principaux: puissance nucléaire installée totale et recyclage. On a supposé que les autres paramètres étaient fixés à des niveaux qui paraissent raisonnables dans la conjoncture actuelle; la sensibilité des résultats à leur variation possible est brièvement évoquée à la fin de l'article.

Si les diverses hypothèses concernant le recyclage sont expliquées dans les paragraphes qui suivent, il convient aussi de dire quelques mots au sujet des hypothèses relatives à la puissance nucléaire installée totale, qui figurent au tableau 2. Le lecteur jugera peut-être que ces prévisions sont extrêmement prudentes par rapport à celles qui sont contenues dans des publications aussi récentes que le rapport AIEA/AEN/OCDE sur la production et la demande d'uranium, publié à la fin de 1975. Certes, elles se révéleront peut-être trop prudentes pour la dernière décennie du vingtième siècle. Néanmoins, elles tiennent compte des révisions les plus récentes à la baisse que divers facteurs ont obligé à apporter aux programmes de plusieurs grands pays industriels, ainsi que des contraintes que constituent les goulots d'étranglement opposés par le manque de capitaux et de main-d'œuvre qualifiée à la pénétration de l'énergie d'origine nucléaire dans les réseaux électriques des nations en développement. On a suffisamment souligné la variabilité des prévisions pour qu'il soit clair que celles-ci doivent faire constamment l'objet de révision.

M. Krymm est Chef de la Section des études économiques de la Division de l'énergie d'origine nucléaire et des réacteurs à laquelle M. Woite appartient également.

HYPOTHESES

Pour évaluer la demande d'uranium et de services du cycle du combustible nucléaire, on a supposé que les centrales nucléaires seraient équipées de réacteurs à eau légère, de réacteurs à eau lourde et de réacteurs surgénérateurs rapides. On a également supposé que les réacteurs à eau légère représenteraient 93%, les réacteurs à eau lourde 5% et les réacteurs surgénérateurs rapides et autres types de réacteurs 2% de la puissance nucléaire installée totale en 1990. Pour l'an 2000, la part des réacteurs surgénérateurs rapides atteindrait 5% et tandis que celle des réacteurs à eau légère tomberait à 90%.

Tableau 1: Evolution des estimations relatives à l'accroissement de la production d'énergie d'origine nucléaire dans le monde (non compris les pays à économie planifiée)

Estimation pour	Date d'estimation				
	1969	1970	1973	1975	1976 (préliminaire)
	Puissance installée à la fin de l'année en GWe				
1970	25,6	18	14	—	—
1975	101–125	118	94	71	69
1980	235–330	300	264	179–192	178
1985	—	610	567	475–525	350–400
1990	—	—	1070	875–1000	550–750
2000	—	—	—	2000–2500	1500–1800

Estimations OCDE/AEN-AIEA établies sur la base de renseignements fournis par les Etats Membres.

Tableau 2: Ventilation par région des estimations relatives à la production d'énergie d'origine nucléaire faites en 1976 pour les pays à économie de marché (puissance installée à la fin de l'année, en GWe)

	1975	1980	1985	1990	2000
Amérique du Nord	43	88	150–170	230–310	650–750
Europe occidentale	18	68	150–170	220–290	600–700
Japon, Australie, Nouvelle-Zélande, Afrique du Sud	7	16	30–40	60–80	130–160
Pays en développement	1	5	20–25	50–60	150–200
Total ¹	69	178	350–400	550–750	1500–1800

¹ Etant donné l'importance des marges d'incertitude, les totaux ont été arrondis.

∞ Tableau 3: Caractéristiques des réacteurs de puissance¹

	Réacteurs à eau sous pression	Réacteurs à eau bouillante	Réacteurs à eau lourde	Surgénérateurs rapides
1. Première charge				
Uranium (t/GWe)	79	114	143	50
Enrichissement initial moyen en ²³⁵ U (% en poids)	2,38	2,03	0,711	appauvri
Uranium naturel nécessaire (t/GWe)	372	444	145	—
Travail de séparation nécessaire (1000 UTS/GWe)	209	227	—	—
Plutonium fissile nécessaire (t Pu/GWe)	—	—	—	2,5
2. Charges de remplacement				
Uranium (t/GWe · an)	33,8	39,4	168	20
Enrichissement du combustible neuf en ²³⁵ U (% en poids)	3,2	2,7	0,711	appauvri
Uranium naturel nécessaire (t/GWe · an)	221	211	170	—
Travail de séparation nécessaire (1000 UTS/GWe · an)	145	129	—	—
Plutonium fissile nécessaire (t/Pu/GWe · an)	—	—	—	1,2
3. Combustible irradié				
Combustion (MWg/kg)	32,5	27,5	7,5	2–66 ²
Uranium (t/GWe · an)	32,8	38,4	166	18
Enrichissement moyen en ²³⁵ U (% en poids)	0,90	0,83	appauvri	appauvri
Equivalent en uranium naturel (t/GWe · an)	44,7	46,6	—	—
Equivalent en travail de séparation (1000 UTS/GWe · an)	6,3	4,3	—	—
Plutonium fissile (t Pu/GWe · an)	0,22	0,21	0,43	1,35

¹ Les quantités de combustible sont exprimées en tonnes métriques de métal; taux de rejet = 0,25%; 1 GWe · an = 8760 GWh.

² Suivant la position dans le cœur ou la couche fertile.

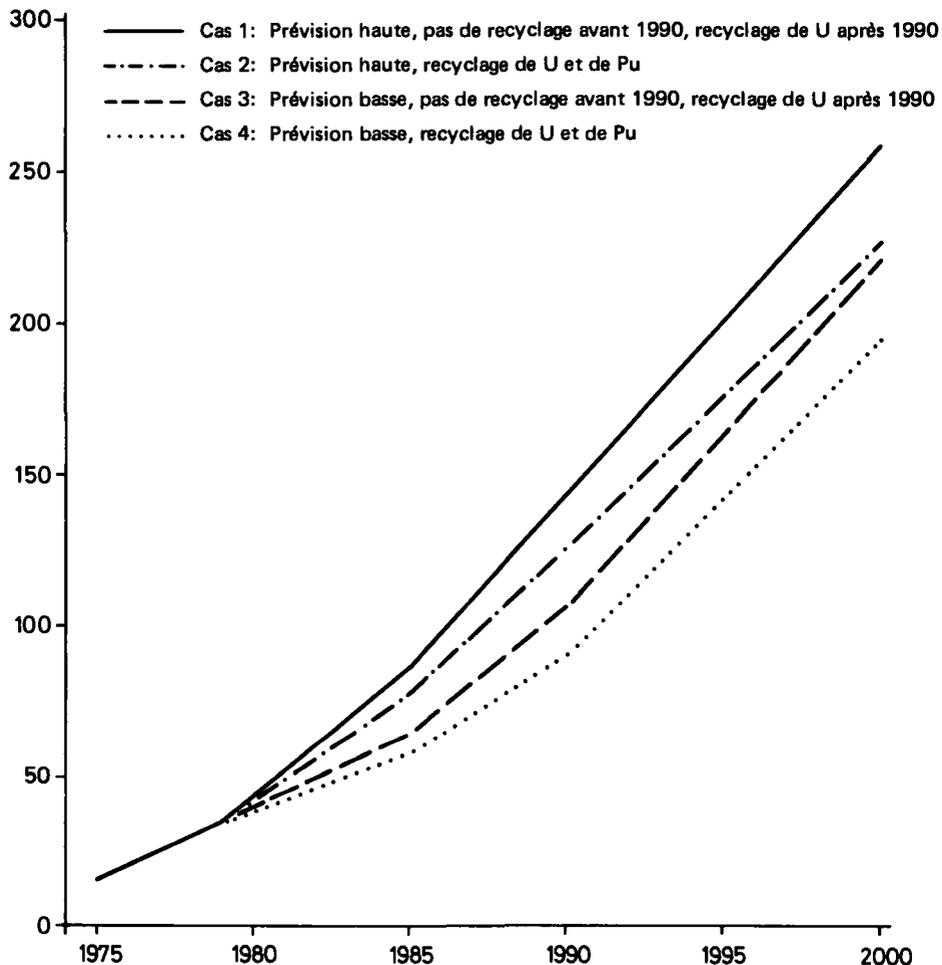
Tableau 4: Délais (exprimés en années) dans le cycle du combustible

Type de réacteur	Réacteurs à eau légère		Réacteurs à eau lourde		Surgénérateurs rapides	
	Première charge	Remplacement	Première charge	Remplacement	Première charge	Remplacement
De l'usine de concentrés à la conversion à la séparation des isotopes à la fabrication au site du réacteur à la fin des essais du combustible au début du fonctionnement	0,25	0,25	↑ 0,5 ↓	↑ 0,5 ↓	↑ 0,5 ↓	↑ 0,5 ↓
	0,25	0,25				
	0,5	0,25				
	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	0,25	0,1	0,25	0,1	0,25	0,1
	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1
Fin de fonctionnement à sortie du réacteur à sortie du bassin de stockage à sortie du centre de stockage à sortie de l'usine de retraitement	0,1	0,1	Rechargement continu; comme il n'y a pas de gain économique à retraiter le combustible à l'heure actuelle, cette opération n'est pas envisagée.		0,1	0,1
	0,8	0,8			0,8	0,8
	5,0 ¹	5,0 ¹			5,0 ¹	5,0 ¹
	0,2	0,2			0,2	0,2

9 ¹ Délai de cinq ans admis avant 1990, délai d'un an après 1990.

Figure 1: Besoins annuels mondiaux en uranium¹

MILLIERS DE TONNES DE U



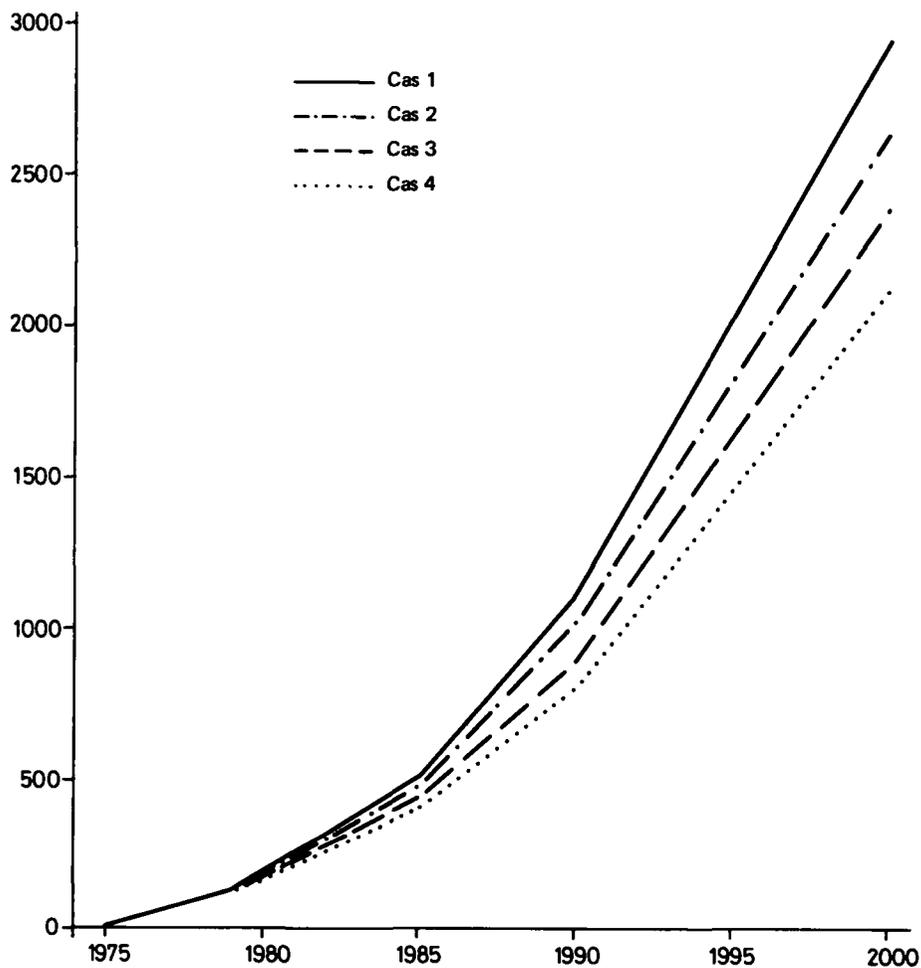
¹ A l'exclusion des pays à économie planifiée.

Les caractéristiques du cycle du combustible nucléaire de ces types de réacteurs, sont récapitulées dans le tableau 3. On a supposé que le taux des rejets serait de 0,25% et que le facteur de charge de 70% serait constant. Les délais des cycles du combustible nucléaire sont indiqués au tableau 4. On notera que pour le retraitement, un délai de cinq ans est prévu jusqu'en 1990, et un délai d'un an, après 1990.

Sur la base des prévisions relatives à l'énergie d'origine nucléaire, exposées au tableau 2, et des hypothèses qui précèdent, on a calculé les besoins en uranium et en services du cycle

Figure 2: Besoins cumulés mondiaux en uranium¹

MILLIERS DE TONNES DE U

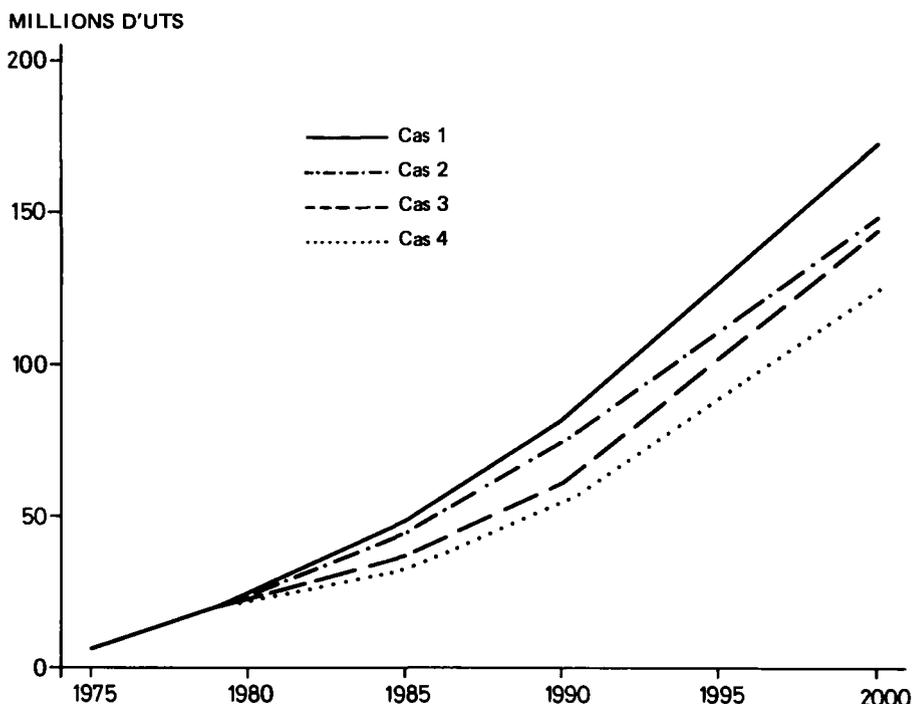


¹ A l'exclusion des pays à économie planifiée.

du combustible nucléaire. Pour mettre en évidence l'influence de certains paramètres essentiels, ces calculs ont été faits pour quatre cas différents:

- Cas 1:** Prévision haute, pas de recyclage avant 1990, recyclage de l'uranium après 1990;
- Cas 2:** Prévision haute, recyclage de l'uranium et du plutonium à partir de 1981;
- Cas 3:** Prévision basse, pas de recyclage avant 1990, recyclage de l'uranium après 1990;
- Cas 4:** Prévision basse, recyclage de l'uranium et du plutonium à partir de 1981.

Figure 3: Besoins annuels mondiaux en travail de séparation¹



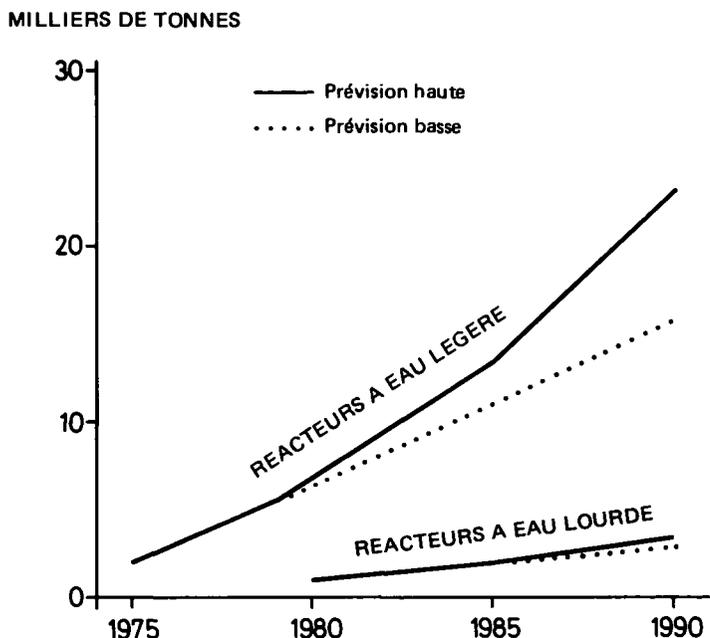
¹ A l'exclusion des pays à économie planifiée.

ESTIMATIONS DE LA DEMANDE D'URANIUM ET DE SERVICES DU CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLEAIRE

Besoins en uranium. D'après les estimations, les besoins en uranium atteindront environ 40 000 tonnes de métal par an en 1980 (figure 1). Pour 1990, les prévisions sont comprises entre 90 000 t/a (cas 4: prévision basse, recyclage de l'uranium et du plutonium) et 140 000 t/a (cas 1: prévision haute, pas de recyclage). Pour l'an 2000, elles sont comprises entre 200 000 et 300 000 t/a. Les besoins cumulés en uranium seront d'environ 0,8 à 1 million de tonnes en 1990, et de 2 à 3 millions de tonnes en l'an 2000 (figure 2). Il est intéressant de constater que des quantités très voisines (1,8 à 2,6 millions de tonnes) seront nécessaires pour satisfaire, pendant toute leur durée de vie, les besoins globaux en combustible des réacteurs à eau légère qui seront probablement en service en 1990.

Besoins en travail de séparation. Les besoins annuels en travail de séparation sont évalués à environ 22×10^6 UTS/a en 1980, et seraient de 55×10^6 à 80×10^6 UTS/a en 1990 (figure 3). Pour l'an 2000, les prévisions sont comprises entre 120×10^6 (prévision basse: recyclage de l'uranium et du plutonium) et 180×10^6 UTS/a (prévision haute, pas de recyclage).

Figure 4: Besoins annuels de fabrication¹



¹ A l'exclusion des pays à économie planifiée.

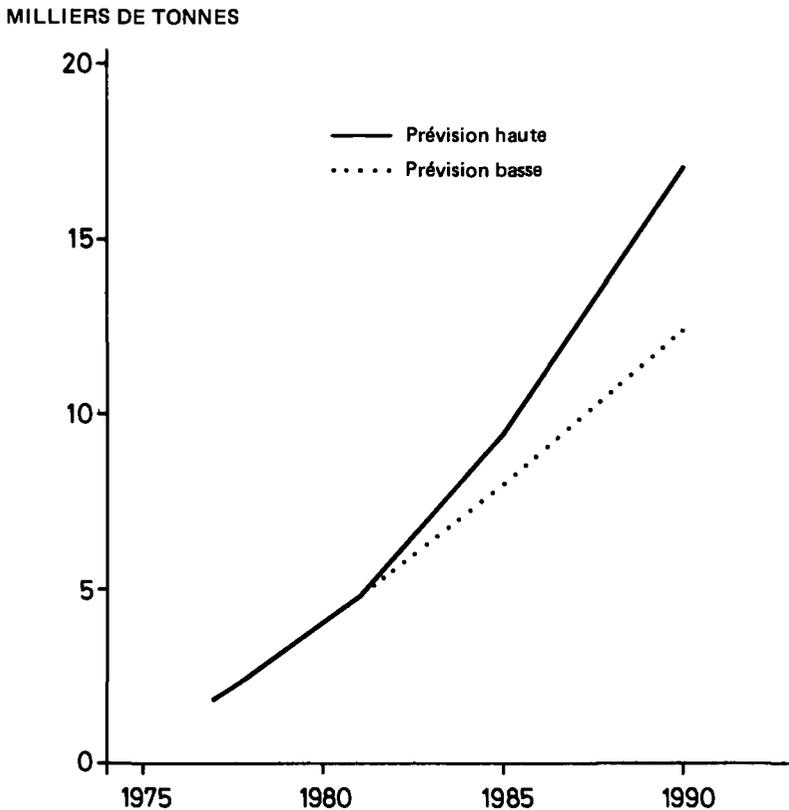
Besoins en fabrication. Les besoins en fabrication de combustible pour les réacteurs à eau légère en 1980 sont évalués à environ 6 000 t/a (métal), et seraient compris entre 16 000 et 23 000 t/a en 1990 (figure 4).

Besoins en retraitement. Les besoins en retraitement du combustible pour les réacteurs à eau légère sont évalués à environ 4 000 t/a (métal) en 1980 et seraient compris entre 12 000 et 17 000 t/a en 1990 (figure 5). La capacité de retraitement prévue ne suffira pas à satisfaire cette demande. Il est possible que des retards surviennent dans le démarrage des installations de retraitement. Il faudra stocker le combustible irradié pendant plusieurs années.

CONCLUSIONS PROVISOIRES

Bien qu'elles soient calculées à partir d'un éventail d'hypothèses relativement étroit quant à la puissance nucléaire installée, les diverses prévisions relatives à la demande d'uranium et de services du cycle du combustible nucléaire varient d'environ 50%. En tenant compte des variations possibles de la pénétration des surgénérateurs, des facteurs de charge, des

Figure 5: Besoins annuels en retraitement pour le combustible des réacteurs à eau légère¹



¹ A l'exclusion des pays à économie planifiée.

taux de rejet et de la performance du combustible, on approcherait facilement d'un rapport de 2 entre les demandes maximales et minimales possibles en l'an 2000. Ainsi, par exemple, une pénétration des surgénérateurs de 15% — au lieu de 5% — d'ici l'an 2000 réduirait la demande annuelle d'uranium naturel d'environ 10%; une réduction du facteur de charge de 0,7 à 0,6 abaisserait cette demande de 10%, une diminution des taux de rejet de 0,5% à 0,2% abaisserait cette demande de 8%.

Ces incertitudes considérables, caractéristiques des projections de la demande à moyen et long terme, contrastent vivement avec la rigidité des besoins à court terme. Lorsqu'une centrale est commandée, la demande des services nécessaires pour la première charge et pour son remplacement est pratiquement fixée sous réserve (de petits ajustements) et ne peut être retardée que si l'on accepte des dépenses supplémentaires extrêmement lourdes.

La demande d'uranium peut être décrite comme incertaine dans l'avenir et inélastique dans le présent. Les sources d'approvisionnement, à l'exception des installations de conversion et de fabrication, sont caractérisées par une planification de longue durée, de longs délais aux stades de la prospection et de la construction et surtout par de gros investissements de capitaux.

Cette combinaison de facteurs offre un terrain presque idéal à l'instabilité et aux fluctuations désordonnées des prix si les consommateurs et les fournisseurs agissent chacun de leur côté et cherchent à fixer provisoirement leur politique commerciale d'après leurs estimations changeantes des marchés futurs. La longue stagnation des prix de l'uranium à des niveaux normalement bas, suivie d'une augmentation de 600 à 700% pour les livraisons immédiates en l'espace de moins de trois ans devrait convaincre tous les intéressés que le fait de se fier à la main invisible d'Adam Smith n'aboutira pas à des situations optimales dans le développement de l'énergie d'origine nucléaire.

La coopération entre consommateurs et producteurs d'uranium et de services du cycle du combustible nucléaire est donc indispensable. Certaines mesures ont déjà été prises dans cette voie en matière de séparation des isotopes et de retraitement. S'il reste beaucoup à faire dans ces secteurs, la situation est encore plus critique en matière de prospection, de production et d'approvisionnement en uranium. Il serait donc dans l'intérêt de tous que cette coopération au stade de la planification et du partage des risques soit réalisée rapidement au lieu d'être l'aboutissement d'une suite de luttes et de désillusions.