

# La radioécologie du Danube

---

par G.J. Köteles

Le projet de développement de l'énergie d'origine nucléaire dans les Etats Membres de l'AIEA riverains du Danube pose plusieurs problèmes de protection radiologique que seule une coopération internationale est en mesure de résoudre dans les meilleures conditions. Lorsque l'AIEA a suggéré d'entreprendre un programme à cette fin, les pays riverains, conscients de ces problèmes, se sont donc déclarés disposés à participer à des recherches communes. Les travaux eux-mêmes avaient déjà commencé en novembre 1975, date à laquelle un «Groupe consultatif chargé d'étudier des questions pouvant faire l'objet d'une coopération entre les pays du bassin du Danube» a recommandé de réunir un groupe d'experts dans le cadre d'un programme de recherche coordonnée et a défini les principaux sujets à étudier [1]. Comme d'habitude, ce programme reposait sur les principes essentiels d'une telle coordination, à savoir: a) la participation d'un Etat Membre est facultative; b) les recherches communes sont fondées sur les programmes nationaux correspondants; c) les recommandations techniques et scientifiques d'un groupe international d'experts peuvent amener une amélioration de l'activité nationale dans ce domaine ou de sa réglementation.

A la suite des recommandations de ce premier groupe consultatif, un programme coordonné de trois ans a été entrepris au cours de 1976 et a duré jusqu'au milieu de 1979. On trouvera dans les pages suivantes une description de l'essentiel de ce programme, ainsi que quelques données représentatives.

## LE BASSIN DU DANUBE

Avec son cours de 2857 km, le Danube est le onzième fleuve du monde et le plus long fleuve international d'Europe. Son bassin de drainage s'étend sur 817 000 km<sup>2</sup>, soit environ un douzième du continent. A partir de sa source dans la Forêt Noire à une altitude de 1000 m au-dessus du niveau de la mer jusqu'à son delta à trois branches sur la mer Noire, le Danube traverse huit pays et reçoit les eaux de douze pays en tout. On trouvera à la figure 1 une carte de son bassin. Les huit pays traversés par le Danube sont tous des Etats Membres de l'AIEA: Autriche, Bulgarie, Hongrie, République fédérale d'Allemagne, Roumanie, Tchécoslovaquie, URSS et Yougoslavie. Le Danube est alimenté par 129 affluents qui ont tous plus de 20 km de long et dont 29 en ont plus de 200. Près de 70 millions de personnes vivent dans son bassin et utilisent son eau pour la boisson, l'irrigation, la pêche, l'industrie, les transports et les sports. A l'intérieur de son bassin de drainage, le Danube constitue le principal récepteur d'eaux usées. Et l'influence considérable qu'il exerce sur le système écologique de sa zone de drainage s'accroîtra encore lorsque seront réalisées les jonctions Danube-Main-Rhin, Danube-Oder-Elbe et Danube-Morava-Vardar-mer Egée.

---

G.J. Köteles faisait autrefois partie de la Division de la sûreté nucléaire et de la protection de l'environnement de l'AIEA, où il était chargé du programme de recherche coordonnée de l'AIEA sur «les problèmes de radioécologie du Danube». Il est actuellement Directeur scientifique adjoint de l'Institut national de recherche en radiobiologie et radiohygiène «Frédéric Joliot-Curie» à Budapest.

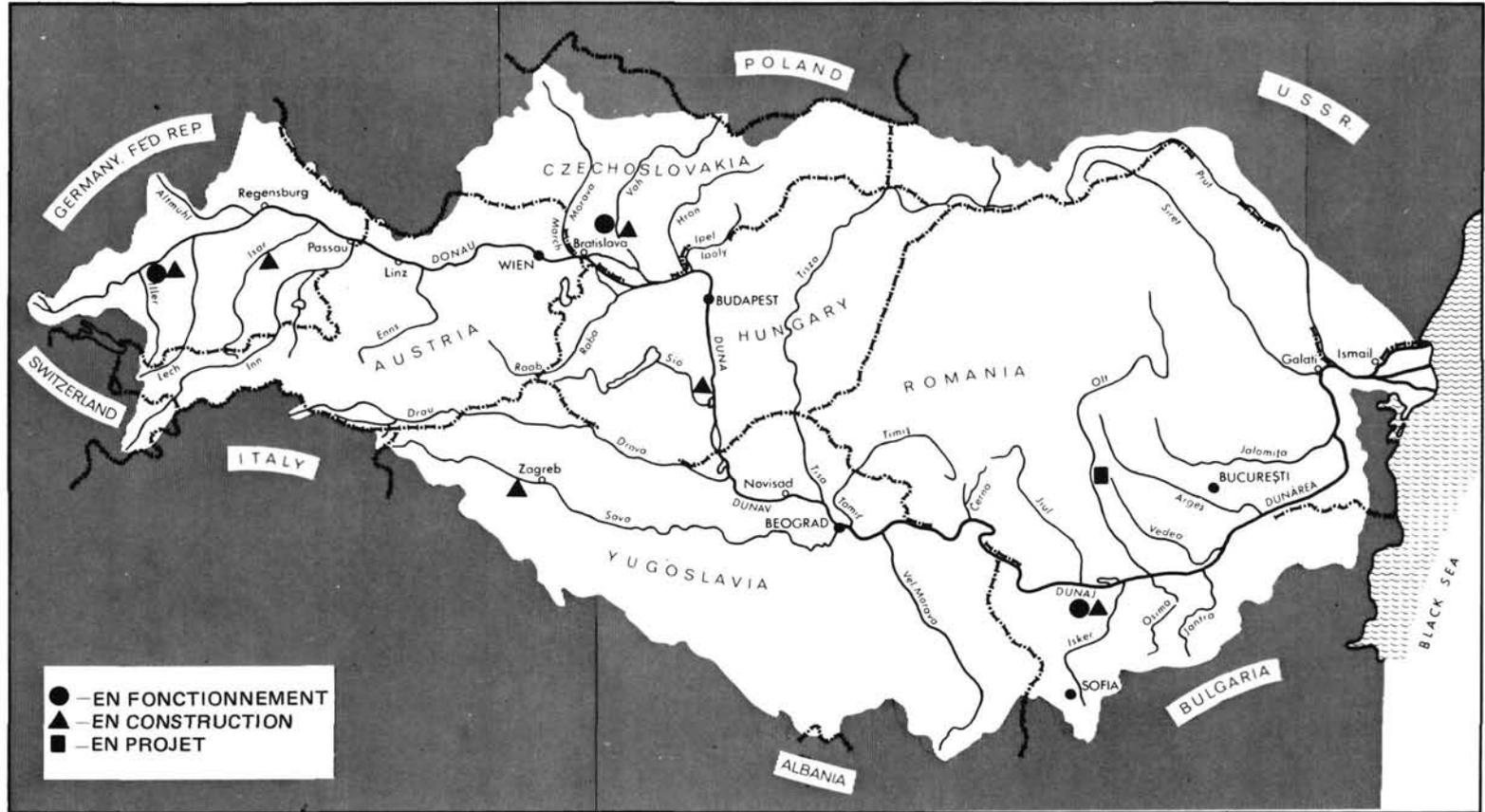


Figure 1. Carte hydrologique du bassin du Danube montrant les centrales nucléaires en fonctionnement (●), en construction (▲) ou en projet (■).

## PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE

Outre les centrales hydro-électriques en service ou en projet dans la vallée du Danube, il existe de nouveaux facteurs qui vont contribuer à la complexité de l'environnement aquatique, et à la qualité de l'eau, comme par exemple le développement de l'industrie nucléaire. On trouvera au tableau 1 [cf. refs. 2, 3, 4] la liste des centrales nucléaires en service ou en projet; elle permet de constater que presque tous les Etats riverains se proposent d'exploiter ou de construire des centrales nucléaires sur le Danube ou ses affluents au cours des six prochaines années; la puissance nucléaire installée, qui présente actuellement un total d'environ 2,5 GWe, quadruplera en six ans et sextuplera approximativement d'ici la fin du siècle. Ce taux de croissance est environ trois fois plus élevé que celui de la moyenne européenne ou mondiale. Les données indiquent aussi que les effluents radioactifs provenant de centrales nucléaires d'une puissance installée totale d'environ 13 400 MWe pénétreront dans le fleuve. Naturellement, le volume de ces effluents dépendra du type des centrales et de leurs systèmes de refroidissement. Néanmoins, les sources de ces effluents seront inégalement réparties, puisque le tiers supérieur et la moitié supérieure du fleuve en recevront respectivement 60%—75%. Compte tenu de notre expérience avec les réacteurs à eau bouillante et à eau sous pression, on peut prévoir que, si l'on fait abstraction du tritium, 70% du total des effluents radioactifs se déverseront dans le tiers supérieur du fleuve.

**Tableau 1: Réacteurs nucléaires de puissance dans le bassin du Danube\***

No.	Nom et emplacement	Type <sup>a</sup>	Puissance thermique/ électrique nette		Etat	Date de démarrage
<b>ALLEMAGNE, République fédérale d'</b>						
1.	KRB Gundremmingen-A	BWR	801	237	en fonctionnement	1967
2.	KKN Niederaichbach	HWGCR	321	100	à l'arrêt (1974)	1972
3.	KKI Isar-1 Ohu	BWR	2575	870	en fonctionnement	1979
4.	KRB Gundremmingen-B	BWR	3840	1244	en construction	1982
5.	KRB Gundremmingen-C	BWR	3840	1244	en construction	1982
6.	KKI Isar-2 Ohu	—	3765	1230	en projet	1986
<b>AUTRICHE</b>						
7.	Tullnerfeld Zwentendorf	BWR	2100	692	**	
<b>TCHECOSLOVAQUIE</b>						
8.	A-1 Bohunice Jasl.Bohunice	HWGCR	560	110	en fonctionnement	1972
9.	Bohunice-1 Trnava	PWR	1375	380	en fonctionnement	1979
10.	Bohunice-2 Trnava	PWR	1375	380	en construction	1980
11.	Levice-1 Slovakia	PWR	1375	420	en projet	
12.	Levice-2 Slovakia	PWR	1375	420	en projet	
13.	Levice-3 Slovakia	PWR	1375	420	en projet	
14.	Levice-4 Slovakia	PWR	1375	420	en projet	
15.	Brno Brno	PWR	1375	420	en projet	

**Tableau 1: Réacteurs nucléaires de puissance dans le bassin du Danube (suite)**

No.	Nom et emplacement	Type <sup>a</sup>	Puissance thermique/ électrique nette		Etat	Date de démarrage
<b>HONGRIE</b>						
16.	Paks-1 Paks	PWR	1375	408	en construction	1980
17.	Paks-2 Paks	PWR	1375	408	en construction	1981
18.	Paks-3 Paks	PWR	1375	408	en projet	1984
19.	Paks-4 Paks	PWR	1375	408	en projet	1985
<b>YUGOSLAVIE</b>						
20.	Krsko Krsko	PWR	1876	632	en construction	1980
<b>ROUMANIE</b>						
21.	Olt	PWR		408	en projet	1983
22.	Cernavoda	PHWR		600	en projet	
<b>BULGARIE</b>						
23.	Kozloduy-1 Kozloduy	PWR	1375	408	en fonctionnement	1974
24.	Kozloduy-2 Kozloduy	PWR	1375	408	en fonctionnement	1975
25.	Kozloduy-3 Kozloduy	PWR	1375	408	en construction	1980
26.	Kozloduy-4 Kozloduy	PWR	1375	420	en construction	1980

\* Cf. refs.[2, 3, 4].

\*\* Mise en service prévue pour 1979 mais annulée à la suite d'un référendum.

- <sup>a</sup>
- BWR = Réacteur à eau bouillante
  - HWGCR = Réacteur à eau lourde refroidi par un gaz
  - PWR = Réacteur à eau sous pression
  - PHWR = Réacteur à eau lourde sous pression.

## OBJECTIFS ET RESULTATS DU PROGRAMME DE RECHERCHE COORDONNEE

Au moment où le programme commun a été entrepris, plusieurs laboratoires nationaux poursuivaient déjà depuis longtemps des recherches dans ce domaine. Il fallait donc commencer par comparer les données et harmoniser les techniques de mesure, y compris ces facteurs de tout premier plan que constituent le prélèvement et la préparation d'échantillons de l'environnement comme l'eau, les sédiments et le biote aquatique. Au cours de l'étape suivante, le programme devait mettre en évidence les voies critiques par lesquelles les polluants radioactifs parviennent jusqu'à l'homme et identifier les groupes critiques de la population qui seraient le plus exposés du fait de l'utilisation du Danube à une fin quelconque. S'il est démontré que la charge radioactive de ces groupes est suffisamment faible, on peut avoir la certitude que personne, dans la population, ne sera exposé à des risques graves pour la santé. Ces études fournissent également des renseigne-

ments permettant d'établir des limites dérivées pour le rejet de matières radioactives dans le fleuve, conformément aux demandes et recommandations des groupes d'experts internationaux [5]. Ce cadre de recherches coordonnées a semblé adéquat et essentiel pour la sûreté radiologique et la protection écologique de la vallée du Danube.

Les résultats détaillés obtenus au cours des trois premières années du programme ont été publiés dans la Collection IAEA/TECDOC [4, 6]. Bien que les recherches aient varié d'un pays à l'autre dans le détail de leur approche et de leur technique, les résultats obtenus jusqu'à présent ont révélé de nombreux facteurs importants et communs, et ils ont fourni des données numériques satisfaisantes. Dans plusieurs pays, ces recherches étaient nécessaires en tant qu'études pré-opérationnelles avant la mise en chantier de centrales nucléaires. Dans d'autres, elles font partie du contrôle régulier des polluants rejetés au cours du fonctionnement des installations nucléaires.

On trouvera ci-après quelques données représentatives qui montrent la gamme des concentrations de radioactivité mesurées dans l'eau et les sédiments du fleuve:

	Isotope	Concentrations
Dans l'eau:	tritium	60 — 400 unités de tritium (UT)
	cobalt-60	0,07— 60 milli-Becquerels/litre (mBq/l)
	strontium-90	1,1 — 20 mBq/l
	césium-137	0,37— 20 mBq/l
	radium-226	7,4 — 44 mBq/l
Dans les sédiments:	cobalt-60	81 — 220 Bq/kg
	strontium-90	0,74— 30 Bq/kg
	césium-137	2,6 — 33 Bq/kg
	radium-226	55 — 140 Bq/kg

On notera que les valeurs mesurées dans les différents laboratoires concordent de manière satisfaisante. Etant donné que c'est là l'un des aspects essentiels de ce genre de collaboration internationale, l'accent a été mis tout particulièrement sur la comparaison des données obtenues grâce aux mesures. Dans l'exécution du programme, on a donc utilisé des étalons adéquats et les participants ont également collaboré au programme de l'AIEA en matière de comparaison et de contrôle de la qualité des analyses.

La gamme assez étendue des valeurs mesurées rend également compte des variations saisonnières de certains nucléides: la concentration de césium 137 par exemple augmente sensiblement tous les ans au printemps et au début de l'été. On a suggéré que les valeurs maximales proviennent de l'échange stratosphère-troposphère, c'est-à-dire qu'elles peuvent être attribuées à des essais d'armes nucléaires. Les valeurs indiquent aussi que les radionucléides qui sont les plus importants du point de vue de la radioprotection sont fortement adsorbés par les sédiments. C'est pourquoi, dans ce fleuve international, la progression de ces nucléides à travers les différents Etats est beaucoup plus lente que celle des nucléides dissous dans l'eau. Néanmoins, des recherches sur la redistribution dans l'eau de nucléides provenant des différents types de sédiments et placés dans des conditions hydrologiques, thermiques, chimiques, etc., diverses ont également été effectuées, à la fois *in situ* et au moyen d'expériences de laboratoire [1, 4, 6].

Toutefois, pour évaluer la dose de rayonnement subie par le groupe critique de la population, il était nécessaire de disposer d'autres données sur le comportement et sur les modes de transfert des nucléides dans l'environnement. C'est pourquoi il a également fallu entreprendre des recherches sur le contenu radioactif du biote aquatique. A cette fin, on a été amené à déterminer la teneur radioactive du biote tant par des prélèvements directs effectués

dans le fleuve que par des expériences faites en laboratoire. Ces dernières sont plus longues à mener à bien, de sorte qu'on ne dispose pas encore de résultats définitifs. On a constaté que les concentrations de radionucléides relevées dans les différentes espèces à l'étude et comparées à leurs concentrations dans l'eau — c'est-à-dire les facteurs de concentration — couvraient une gamme assez étendue. Ce qui, bien entendu, n'a rien d'étonnant puisque des échelles de valeurs semblables ont été signalées dans d'autres régions. Dans le cas du cobalt 60 par exemple, les facteurs sont de l'ordre de 2000 à 13 000 pour les algues, 240 à 1600 pour les plantes aquatiques, 20 à 3000 pour les poissons. Toujours pour le cobalt-60, on a même mesuré des facteurs de concentration plus élevés dans le plancton. Dans le poisson, on a découvert que le facteur de concentration du strontium-90 était compris entre 30 et 370 et celui du césium 137 entre 50 et 3500. On s'attend d'ailleurs à enregistrer d'autres variations considérables des facteurs de concentration à différents endroits du fleuve, en raison des effets que les centrales hydro-électriques exercent sur les populations de la flore et de la faune. On a vu apparaître des signes très nets de ce genre de modifications lors de la construction du Djerdap Dam (barrage des Portes de Fer) en Yougoslavie: en effet, on a pu y observer une accumulation de radionucléides plus importante dans le lac de retenue que dans le fleuve avant le commencement des travaux.

On notera ici que le respect des recommandations concernant le prélèvement des échantillons (pour tout ce qui concerne le choix des points de prélèvement, les matières prélevées, la fréquence des prélèvements et la première préparation des échantillons) va bien entendu permettre d'accroître la comparabilité et la fiabilité des données sur les concentrations de la radioactivité dans les différents secteurs de l'environnement fluvial.

L'objectif final de ces études étant la protection de l'espèce humaine, quelques laboratoires ont entrepris de déterminer par quelles voies critiques les radionucléides traversent la chaîne alimentaire pour parvenir jusqu'à l'homme et aux groupes critiques au sein de la population. Leurs travaux ont pu commencer dès que furent réunies les données essentielles sur les concentrations de la radioactivité et le comportement des nucléides dans le milieu considéré. Partout où ces études ont été menées à bien, on a pu évaluer la radioexposition des individus et des groupes critiques, exposition qui s'est d'ailleurs révélée bien inférieure à un pour cent de l'exposition due au rayonnement naturel.

Enfin, le projet a eu pour effet — et c'est là l'un de ses résultats les plus positifs — de favoriser une étroite coopération entre les experts des Etats riverains, et ce en dehors de toute considération sociale ou politique. Tous ces pays sans exception étaient représentés au sein du programme, que ce soit en tant que participants aux contrats de recherches ou en tant qu'observateurs. Plusieurs organisations internationales comme l'OMS, la CEE, le CAEM et la Commission du Danube ont également suivi l'exécution du programme. Les échanges qui se sont établis entre les différents laboratoires par l'intermédiaire du groupe consultatif et grâce aux réunions de coordination ont exercé une influence sur les programmes de surveillance de la radioactivité actuellement appliqués le long du Danube en aidant à élaborer des systèmes et des méthodes de contrôle à l'échelon national.

On s'est rendu compte qu'il ne serait pas possible d'atteindre tous les objectifs du programme en trois ans. Il faut encore un certain temps avant que tous les laboratoires intéressés aient réuni les données nécessaires pour faire un compte rendu complet de la sûreté radiologique et des problèmes de protection de l'environnement dans la partie du Danube qui leur est confiée. Un grand nombre d'autres facteurs écologiques restent à préciser, tels que les effets synergiques des polluants thermiques, chimiques et radioactifs ainsi que la manière dont ces effets influent sur la distribution et la redistribution à long terme des polluants radioactifs. Il est également nécessaire de procéder à des recherches qui permettraient de parvenir à un accord sur une méthodologie commune pour l'évaluation des doses individuelles et collectives résultant des diverses utilisations du Danube dans chaque pays riverain. Quant

aux normes minimales du contrôle international de la radioactivité elles devraient également faire l'objet d'un accord.

Les résultats obtenus jusqu'à présent tant du point de vue de l'organisation que du point de vue scientifique grâce à ce vaste programme — et ce à un prix relativement faible (environ 100 000 dollars) — prouvent que des programmes de recherche coordonnée de ce genre peuvent présenter un rapport coût/bénéfice tout à fait favorable. Il s'agit là d'une forme de collaboration qui peut aider à résoudre non seulement certains problèmes techniques et scientifiques de la protection de l'environnement, mais aussi quelques questions d'organisation et d'administration à l'échelon national et international.

#### Références

- [1] Groupe consultatif de l'AIEA chargé d'étudier des questions pouvant faire l'objet d'une coopération entre les pays du bassin du Danube, AG-41, AIEA (1976).
- [2] Power Reactors in Member States, AIEA, Vienne (1979).
- [3] World List of Nuclear Power Plants, Nuclear News (Février 1979).
- [4] International Studies on the Radio-ecology of the Danube River, IAEA-TECDOC-219, AIEA, Vienne (1979).
- [5] Principes de limitation des rejets de matières radioactives dans l'environnement, Collection Sécurité No 45, AIEA, Vienne (1978).
- [6] International Studies on the Radio-ecology of the Danube River, Vol. 2, IAEA-TECDOC, AIEA, Vienne (sous presse).