

**Thierry de
LAROCHELAMBERT**

Professeur Associé
à l'Institut FEMTO-ST CNRS-UMR6174,
Département Énergie
Chaire Supérieure de Physique-Chimie
Docteur en Énergétique

contact //

Adresse 2 avenue Jean Moulin
90000 BELFORT (FRANCE)

Tél. (+33)3 84 57 82 12

Fax (+33)3 84 57 00 32

Email

thierry.de-larochelambert@femto-st.fr

Site web <http://www.femto-st.fr>

// Risques

Le projet Cigéo présente des risques élevés et des incertitudes scientifiques qui doivent être soulignés :

- quelles que soient les précautions prises, le transport, la manutention et l'entreposage des colis et des fûts radioactifs HA, MA et autres sur le site pendant un siècle s'accompagnerait nécessairement d'émissions de rayonnements gamma (25 gray/h par colis HA par exemple) et de contamination radioactive de l'air et de l'eau par contact, dispersion, lessivage : les seuils réglementaires de 0,4 Bq/cm² (rayonnement α), 4 Bq/cm² (β et γ) sont souvent largement dépassés (jusqu'à 1000 Bq/cm²), les éléments radioactifs pouvant s'accumuler localement et être inhalés ou ingérés régulièrement. Or les recherches internationales ont admis que les faibles doses cumulées sont aussi nocives (voire davantage) que les mêmes doses absorbées en une fois [Garnier-Laplace et al., 2013 ; Mothersill et al., 2013 ; Ugolin et al., 2011] ;
- la ventilation permanente disperserait en permanence dans l'atmosphère les gaz radioactifs émis par les colis MA empilés dans les alvéoles : aucun filtrage de très haute efficacité n'a été prévu du fait des énormes volumes ventilés car il augmenterait la puissance électrique consommée et favoriserait l'auto-inflammation des filtres THE par accumulation de radioactivité [Joubert, 2009] ;
- les colis vitrifiés HA émettent des isotopes radioactifs de gaz rares de fission (Kr, Xe) qui ne sont pas piégés chimiquement dans la matrice amorphe : quelle contamination l'accumulation de ces isotopes pourrait-elle induire dans les installations et la population ?
- la production continue d'hydrogène en grande quantité (1000 m³/an) par radiolyse au sein des colis MA contenant des matières organiques (mais aussi par la corrosion lente de l'acier et la radiolyse de l'eau de béton) serait une menace permanente sur toute l'installation : une teneur de 1,5% de H₂ dans l'air à faible pression et à chaud peut devenir explosive [Schroeder et al., 2005]. Les effets dévastateurs d'une explosion d'hydrogène, minimisés dans le projet, constituent un risque majeur pour l'installation, comme l'a montré la catastrophe de Fukushima ;

- le *risque d'incendie par auto-inflammation des bitumes* enveloppant les boues radioactives MA est élevé au vu des quantités prévues (10.000 t) : l'exclusion de ces déchets du projet doit être définitive. Après les incendies de Stocamine (Haut-Rhin, 2002) et du tunnel du Mont-Blanc (1999), on imagine les conséquences directes d'un incendie sur les alvéoles et les galeries (rupture, fonte des bétons, déformation et fonte des structures métalliques, destruction des appareils électroniques et des ventilateurs) ; *on imagine moins les conséquences radiologiques d'une fusion des colis vitrifiés HA piégés dans leurs alvéoles* : tous les atomes radioactifs seraient fondus dans un magma et partiellement vaporisés dans les fumées s'échappant aisément à l'extérieur. De plus, la concentration de certains noyaux fissiles accumulés au hasard dans ce magma pourrait atteindre par endroits le seuil de criticité des actinides [GD-327, CCSN], déclenchant une réaction nucléaire en chaîne exponentielle. Quand on sait que Cigéo prétend stocker plus de 99,9% de la radioactivité des déchets nucléaires français, on ne peut qu'être saisi de doute quant à l'échelle d'une catastrophe induite par un tel incendie : on est dans la démesure ;
- les risques de mobilité des radioéléments dans les couches argileuses homogènes à long terme ont été considérés comme négligeables par la plupart des travaux de l'Andra et de l'OCDE car la perméabilité de l'argilite est faible, mais ces travaux minimisent le faillage existant (majoritairement vertical) et les circulations d'eau possibles (en particulier si le fluage des argilites sous l'effet des déformations engendrées par le creusement des galeries et le gradient thermique dû aux déchets modifie la déviation des contraintes à l'interface marno-calcaire supérieure et donc le régime de failles existant) et ne s'appuient pas sur des expériences *in situ* de longue durée [André et al., 2006 ; Delay et al., 2006 ; Gaucher et al., 2006]. Ils montrent cependant que les anions (en particulier des radio-isotopes de très grande demi-vie ^{129}I et ^{36}Cl) sont beaucoup plus mobiles que les cations et que de grandes incertitudes subsistent sur leurs concentrations réelles dans les combustibles irradiés et dans les déchets HA et MA. Le problème se pose en particulier pour les matrices de ciment pour lesquelles aucune donnée de lixiviation n'existe.

Même les actinides, considérés comme très peu mobiles, peuvent devenir fortement mobiles en milieu oxydant (cations oxy-métalliques) ou réducteur en présence de matières organiques kérogéniques dans l'argile Callovo-Oxfordienne de Bure [Grambow, 2008]. De fortes incertitudes concernent la migration rapide du ^{14}C des gaines de combustible inexpliquée mais observée dans les eaux souterraines sous forme organique (elle pourrait provenir de l'activité bactérienne), ainsi que le relâchement et la mobilisation du sélénium 79 par complexation dans les argiles ;
- selon le taux de diffusion des radio-éléments à travers l'argilite en présence de failles ou de circulations naturelles d'eau souterraine (11% d'eau libre) ou par advection dans les structures des puits, la contamination des nappes phréatiques alimentant les populations et les productions agricoles et viticoles pourrait devenir significative à long terme ; ainsi, une très faible contamination des nappes à 1 Bq/L pendant 10.000 ans en ^{135}Cs conduirait à des doses maximales absorbées pouvant atteindre 140 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ et 155 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ en ^{79}Se [Albrecht et al., 2010]. En considérant que la migration de ces radio-éléments à travers 130 m d'argile et 370 m de calcaires et de marnes pour des raisons diverses (failles, circulations d'eau non prévues comme dans les mines de Asse en Allemagne, fuites dans les puits) pourrait conduire à dépasser largement 1 Bq/L dans les nappes phréatiques et en ajoutant celle des autres radio-éléments très mobiles (en particulier ^{129}I , ^{36}Cl , ^{14}C , etc.), l'exposition moyenne des populations locales pourrait alors être nettement supérieure à la limite 0,25 mSv/an à des horizons de millénaires (en argile homogène) ou de siècles (en milieux plus ou moins faillés et advectifs), même si ce risque peut paraître très faible dans les conditions optimales (argilite homogène, non faillée, perméabilité inférieure à 10^{-12}m/s , début de relâchement des radionucléides à partir de 4000 ans, pas de fuites dans les structures).

// Alternatives

On ne peut simplement rejeter le projet Cigéo et laisser sans solution les déchets existants ni sans réponse la question de la production de déchets futurs. Le débat national devrait donc soumettre à étude et à discussion les solutions alternatives qui suivent :

- **arrêt du retraitement des combustibles irradiés** : l'utilisation du *plutonium* pour la fabrication du MOX (la neutronique du *plutonium* est trois fois plus rapide que celle de l'*uranium*) [Trellue, 2006] et son stockage en vue de son utilisation comme matière fissile pour d'éventuels réacteurs nucléaires surgénérateurs à neutrons rapides (projet ASTRID) extrêmement dangereux devraient être abandonnés. Il serait hautement préférable de stocker sur place et laisser refroidir les barres de combustible UOX irradié pendant 30 ans et de MOX irradié pendant 80 ans avant de les enfermer de manière sûre en containers contrôlés pour un éventuel stockage géologique granitique comme en Suède. Les installations de stockage devraient être aménagées sur des sites nucléaires existants sans en créer de nouveaux. Cette solution est la seule qui permette d'éviter tout détournement de *plutonium* ou d'*uranium* fissiles à des fins terroristes ; *a contrario*, la séparation et la concentration de ces deux éléments chimiques après retraitement les rendent disponibles à des détournements et accroissent les risques de criticité, y compris lors de la fabrication du MOX [Gomes, 2011] ;
- les déchets nucléaires HA, MA, FA (hors graphite) et TFA déjà produits doivent être entreposés et refroidis en surface ou sub-surface dans des installations déjà dédiées et surveillées pendant des siècles ;
- le stockage géologique en structures granitiques stables ne peut être envisagé qu'au terme de décennies d'études (conditionnements, refroidissement, comportement radiologique, interaction avec les structures géologiques dans des installations d'expérimentation en conditions réelles surveillées et instrumentées) ;
- la recherche scientifique de solutions sûres et pérennes doit être poursuivie pour décontaminer les déchets de graphite.

C O N C L U S I O N

Sur le plan éthique, les élus et décideurs politiques, scientifiques et industriels qui ont décidé du programme nucléaire français et du retraitement des combustibles irradiés doivent être juridiquement responsables des risques encourus par les générations actuelles et futures. Une éthique responsable commanderait de conserver à ces générations le pouvoir de décider à tout moment des meilleures solutions pour la gestion des déchets (pris au sens large, tous actinides compris) produits par les activités nucléaires passées et actuelles : **l'enfouissement définitif et irréversible dans des terrains élastiques, faillés, sismiques et hydratés n'est à cet égard pas admissible.**

Références :

- Albrecht A., Miquel S., *Extension of sensitivity and uncertainty analysis for long term dose assessment of high level nuclear waste disposal sites to uncertainties in the human behaviour*, Journal of Environmental Radioactivity 101 (2010) 55-67
- André G., Proudhon B., Rebours H., Wileveau Y., *Paramètres contrôlant la distribution de la fracturation : exemple dans une série marno-calcaire du Jurassique supérieur (Est du bassin de Paris)*, C. R. Geoscience 338 (2006) 931-941
- Delay J., Trouiller A., Lavanchy J-M., *Propriétés hydrodynamiques du Callovo-Oxfordien dans l'Est du bassin de Paris : comparaison des résultats obtenus selon différentes approches*, C. R. Geoscience 338 (2006) 892-907
- GD-327, *Directives de sûreté en matière de criticité nucléaire*, Commission Canadienne de Sûreté Nucléaire, décembre 2010
- Garnier-Laplace J., Geras'kin S., Della-Vedova C., Beaugelin-Seiller K., Hinton T.G., Real A., Oudalova A., *Are radiosensitivity data derived from natural field conditions consistent with data from controlled exposures ? A case study of Chernobyl wildlife chronically exposed to low dose rates*, Journal of Environmental Radioactivity 121 (2013) 12-21
- Gaucher E.C., Blanc P., Bardot F., Braibant G., Buschaert S., Crouzet C., Gautier A., Girard J-P., Jacquot E., Lassin A., Negrel G., Tourmassat C., Vinsot A., Altmann S., *Modelling the porewater chemistry of the Callovian-Oxfordian formation at a regional scale*, C. R. Geoscience 338 (2006) 917-930
- Gomes J.L.M.A., *Coupled neutronics-fluids modelling of criticality within a MOX powder system*, Progress in Nuclear Energy 53 (2011) 523-552
- Grambow B., *Mobile fission and activation products in nuclear waste disposal*, Journal of Contaminant Hydrology 102 (2008) 180-186

Joubert A., *Performances des filtres plissés à Très Haute Efficacité en fonction de l'humidité relative de l'air*, Thèse de l'INPL, 2009

Mothersill C., Seymour C., *Implications for human and environmental health of low doses of ionising radiation*, Journal of Environmental Radioactivity (2013) 1-5 (in press)

Schroeder V., Holtappels K., *Explosion Characteristics of Hydrogen-Air and Hydrogen-Oxygen Mixtures at Elevated Pressures*, International Conference on Hydrogen Safety, Pisa, Italy, Paper No. 120001 (2005)

Trellue H.R., *Safety and neutronics : a comparison of MOX vs UO2 fuel*, Progress in Nuclear Energy 48 (2006) 135-145

Ugolin N., Ory C., Lefevre E., Benhabiles N., Hofman P., Schlumberger M., Chevillard S., *Strategy to find molecular signatures in a small series of rare cancers : validation for radiation-induced breast and thyroid tumors*, Plos One 6(8) (2011) e23581

