Société de Calcul Mathématique SA
Outils d'aide à la décision
depuis 1995

La Sûreté Nucléaire

C'est un ensemble de méthodes, de disciplines, visant à faire en sorte qu'aucun accident ne se produise, tout au long de la chaîne de fonctionnement des centrales : cela va de l'extraction du minerai au démantèlement des installations en fin de vie.

Une démonstration de sûreté doit répondre à deux exigences :

- Celles qu'expriment les Autorités de Sûreté, notamment en ce qui concerne les aspects probabilistes ;

- Celles qu'exprime la population, qui veut être certaine que l'on répond à ses inquiétudes.

Nous pouvons intervenir dans la rédaction du dossier, parce que, pour nous, une démonstration de sûreté est une démonstration tout court. Il faut montrer que tous les cas possibles ont été envisagés et que, dans chacun de ces cas, une analyse appropriée a été faite. Notre rédaction sera donc précise, complète, scientifique et indiscutable.

Nous avons travaillé sur les divers aspects de la sûreté nucléaire :

1. Les risques naturels

L'évaluation des risques naturels (par exemple les séismes) concerne la sûreté nucléaire, mais plus généralement la vie économique. L'objectif est ici de disposer de données suffisamment fiables permettant d'évaluer la probabilité d'occurrence de chaque risque et l'ampleur des conséquences éventuelles.

2. Les méthodes probabilistes pour la sûreté

Une préoccupation de sûreté se traduit par la description de scénarios, conduisant à un accident, telle la fusion du cœur du réacteur. De très nombreux paramètres sont susceptibles d'avoir une influence sur ces scénarios, et les méthodes probabilistes conçues par la SCM permettent de "hiérarchiser" ces paramètres, c'est-à-dire de les ranger par ordre

d'importance : ceux qui interviennent en premier sont ceux qui doivent être surveillés le plus précisément.

Nos méthodes permettent aussi une détermination des "zones dangereuses" dans l'espace des configurations : il s'agit de la mise en évidence de configurations, portant sur l'ensemble des paramètres de contrôle, qui sont susceptibles de conduire à des situations de danger, comme une élévation excessive de température.

Les codes de calcul généralement utilisés pour simuler les accidents (par exemple fusion du cœur) sont maintenant anciens et leur adaptation pour répondre aux exigences de l'Autorité de Sûreté est difficile. Nous préconisons le développement d'une nouvelle génération de codes, plus robustes et plus grossiers. Voir en particulier l'article [13] ci-dessous.

3. L'appui méthodologique aux acteurs du domaine

Nous avons travaillé avec la plupart des acteurs de la filière nucléaire, et principalement :

A. L'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

Nous avons eu une convention-cadre de collaboration avec l'IRSN pendant la période 2010-2015. Thème : Méthodes Probabilistes pour la Sûreté Nucléaire. Nos principaux travaux concernent :

- l'amélioration des mesures ;
- l'aide aux inspections ;
- l'amélioration de la méthodologie dans les études probabilistes de sûreté ;
- la prise en compte des incertitudes dans les codes de calcul ;
- les calculs d'indicateurs économiques ;
- l'analyse de la performance des réseaux de capteurs, comme le réseau TELERAY ;
- la surveillance du futur réacteur EPR : analyse des conséquences d'une défaillance des dispositifs mesurant la quantité de neutrons dans le cœur du réacteur ;
- les dysfonctionnements dans les réseaux de capteurs.

La plupart de ces travaux ont donné lieu à publication ; voir plus bas.

B. La Nuclear Energy Agency de l'OCDE

La NEA est une organisation intergouvernementale à vocation nucléaire qui réunit des pays d'Amérique du Nord, d'Europe et de la région Asie-Pacifique ; son objectif est de partager et de diffuser les meilleures expertises dans le domaine de l'énergie nucléaire.

La NEA dispose d'une part de bases de données de type "archive", telle la base EXFOR qui contient des informations relatives à des réactions nucléaires sous forme de données numériques et de texte, et d'autre part de bases dites "évaluées", de type ENDF, qui ont

subi un traitement par des experts ; le résultat de ce traitement est généralement l'obtention d'une courbe continue à partir des points expérimentaux isolés.

Les questions qui se posent ont trait à l'existence de données aberrantes dans les bases "archives" et à de mauvaises évaluations dans les bases traitées. Nous avons travaillé sur les deux aspects. Au travers de six contrats (de 2010 à 2017), nous avons développé des outils probabilistes robustes qui ont permis à la NEA de détecter les données aberrantes (isolées ou en groupe) dans ses bases.

Ces travaux ont donné lieu à publication, avec les responsables de la NEA ; voir plus bas.

C. La rédaction d'un dossier de sûreté

Celle-ci est généralement difficile, parce que les Autorités de Sûreté demandent (c'est leur rôle) d'éliminer toutes les incertitudes, ce que les concepteurs et les exploitants considèrent comme impossible. Notre rôle est ici de participer à la définition d'un cahier des charges qui explique pourquoi on retient ou on ne retient pas telle "agression" (par exemple telle magnitude pour le séisme de référence). Ceci est fait sur la base d'évaluations probabilistes à partir de données historiques. A partir de là, la réalisation de ce cahier des charges est entièrement déterministe, comme le demandent les Autorités de Sûreté.

4. Livres

[IEPE] Bernard Beauzamy : Introduction à l'étude des Probabilités Expérimentales. SCM SA, ISBN 979-10-95773-02-3, ISSN 1767-1175. Relié, 192 pages. Janvier 2023.

[NMP] Bernard Beauzamy : Nouvelles Méthodes Probabilistes pour l'évaluation des risques. Ouvrage édité et commercialisé par la Société de Calcul Mathématique SA. ISBN 978-2-9521458-4-8. ISSN 1767-1175, avril 2010.

[PIT] Olga Zeydina - Bernard Beauzamy : Probabilistic Information Transfer (en anglais), SCM SA, ISBN 978-2-9521458-6-2, ISSN 1767-1175, avril 2013.

[GRE] Bernard Beauzamy : Méthodes probabilistes pour la gestion des risques extrêmes. SCM SA, ISBN : 978-2-9521458-9-3, ISSN : 1767-1175, juin 2015.

5. Thèse

Olga Zeydina : Méthodes probabilistes pour la Sûreté Nucléaire. Thèse soutenue en décembre 2011.

6. Articles

[1] Bernard Beauzamy, Hélène Bickert, Olga Zeydina (SCM), Giovanni Bruna (IRSN) : Probabilistic Safety Assessment and Reliability Engineering: Reactor Safety and In-

complete Information. Proceedings of ICAPP 2011 Nice, France, May 2-5, 2011 Paper 11399
https://scmsa.eu/RMM/ART_2011_ICAPP_11399.pdf

[2] Emmeric Dupont (NEA), Bernard Beauzamy (SCM), Hélène Bickert (SCM), M. Bossant (NEA), Carmen Rodriguez (SCM), N. Soppera (NEA) : Statistical Methods for the verification of databases. Publication de la Nuclear Energy Agency de l'OCDE, 2011.
https://www.oecd-nea.org/nea-news/2011/29-1/29-1-int-e.pdf#page=31

[3] O. Zeydina (SCM), A.J. Koning (NEA), N. Soppera (NEA), D. Raffanel (SCM), M. Bossant (NEA), E. Dupont (NEA), and B. Beauzamy (SCM): Cross-checking of large evaluated and experimental databases, Science Direct, Nuclear Data Sheets 120 (2014) 277–280. https://www.scmsa.eu/archives/NEA_SCM_2014.pdf

[4] F. Godan (SCM), O. Zeydina (SCM), Y. Richet (IRSN), B. Beauzamy (SCM) : Reactor Safety and Incomplete Information: Comparison of Extrapolation Methods for the Extension of Computational Codes. Proceedings of ICAPP 2015 Nice, France, May 3-6, 2015, Paper 15377. https://scmsa.eu/archives/ART_IRSN_SCM_15377.pdf

[5] Emmeric Dupont (CEA) : Exfor Improving the quality of International Databases. NEA News, 2014, 32.1, p 28.
https://www.scmsa.eu/archives/EXFOR_NEA_News_2014_32.pdf

[6] Achim Albrecht (ANDRA) and Stephan Miquel (SCM) : Modelling soil and soil to plant transfer processes of radionuclides and toxic chemicals at long time scales for performance assessment of Radwaste disposal. Geophysical Research Abstracts, Vol. 17, EGU2015-10476-1, 2015
https://www.scmsa.eu/archives/ART_Albrecht_Miquel_Modelling_Soil_2015.pdf

[7] Bernard Beauzamy : La Méthode de Wilks, utilisation incorrecte pour les études de sûreté, publications de la SCM, janvier 2016.
https://www.scmsa.eu/archives/BB_Wilks_2016_01_11.pdf

[8] Gottfried Berton (SCM) : Verification of the databases EXFOR and ENDF. Nuclear Energy Agency, JEFF Meetings - Session JEFF Experiments, November 28 - December 1, 2016. https://www.scmsa.eu/archives/SCM_NEA_JEFF_Meeting_2016_11.pdf

[9] (2017) Gottfried Berton, SCM SA, and Oscal Cabellos, NEA : Checking the resolved resonance region in EXFOR database
https://www.scmsa.eu/archives/SCM_NEA_JEFF_Meeting_november_2017.pdf

[10] (2017) Bernard Beauzamy : The role of mathematics in the enhancement of safety; article présenté dans le cadre du colloque Esreda (sûreté nucléaire)
https://www.scmsa.eu/archives/ESReDA-53rd_Beauzamy.pdf

[11] (2018) Gottfried Berton, SCMSA : Comparison between two interpolation methods: Kriging and EPH. Présentation faite lors de la 7ème International Conference on Ma-

thematical Modelling in Physical Sciences (IC-MSQUARE), organisée à Moscou par le Dorodnitsyn Computing Centre de l'Académie des sciences de Russie, du 27 au 31 août 2018.

[12] (2018) Adrien Schmitt, Gottfried Berton et Alisson Stocchetti, SCM SA : Utilisation des Extensomètres à Corde Vibrante et des Fibres Optiques pour la surveillance d'ouvrages en génie civil. Le point sur les connaissances disponibles, rapport ANDRA

[13] (2019) Bernard Beauzamy : L'utilisation des codes de calcul pour les démonstrations de sûreté : https://www.scmsa.eu/archives/BB_dem_surete_2019_09.pdf

7. Contrats récents

- IRSN, 2003-2007 : Amélioration de la méthodologie de prise en compte des mesures d'enrichissement (Uranium et Plutonium)
- Framatome-ANP : Application de méthodes statistiques dans les analyses thermo-hydrauliques des études d'accident sur les réacteurs nucléaires, 2003-2004
- CEA, Site de Saclay, 2005-2006 : Etude des risques liés aux transports de matières dangereuses et au survol du site par les avions
- ANDRA, 2007 : Analyse probabiliste des modèles de transferts de radionucléides
- Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, 2007-2011 : Applications de l'Hypersurface Probabiliste aux problèmes de sûreté des réacteurs nucléaires
- EdF, CIDEN, 2007 : Méthodes probabilistes pour l'analyse de la radioactivité des centrales nucléaires en déconstruction
- CEA, site de Saclay, 2007 : Méthodes probabilistes en séismologie
- CEA, site de Saclay, 2007-2008 : Méthodes probabilistes en épidémiologie
- Délégation à la Sûreté Nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la Défense, 2007-2008 : Etude sur le cadre méthodologique des études de sûreté probabilistes
- IRSN, 2009 : Outils d'aide aux inspections
- IRSN, 2009 : Prestations de conseil relatives aux études probabilistes de sûreté
- ANDRA, 2009-2012 : Modèles mathématiques pour la propagation des radionucléides dans le sol
- Areva, 2010 : Méthodes probabilistes pour l'étude d'un stockage de déchets radioactifs
- IRSN, 2010-2011 : Analyse mathématique des dispositifs de surveillance au sein d'un réacteur nucléaire
- Nuclear Energy Agency (OCDE), 2010-2012 : détection de données aberrantes dans les bases de données
- IRSN, 2012 : Outil logiciel d'appui aux Inspections de Matières Nucléaires
- IRSN, 2012 : Calcul d'indicateurs économiques liés aux accidents graves
- Areva, 2012-2013 : Méthodes probabilistes pour l'évaluation des propriétés mécaniques de plaques
- IRSN, 2013 : Analyses statistiques sur les données relatives au tritium
- IRSN, 2013-2015 : Appui Méthodologique à l'Evaluation des Ecarts de Bilan de Matières Nucléaires
- IRSN, 2013-2014 : Analyse du fonctionnement du réseau TELERAY : surveillance de la radioactivité ambiante

- Nuclear Energy Agency (OCDE), 2014 : Outils automatisés pour la vérification des bases de données EXFOR et ENDF
- IRSN, 2014 : Analyse du "risque résiduel" en sûreté nucléaire
- IRSN, 2014-2015 : Outil d'aide à la vérification des comptes de matière nucléaire
- EDF/SEPTEN, 2015 : Prise en compte des incertitudes dans les Etudes Probabilistes de Sûreté
- IRSN, 2015 : Comparaison de deux méthodes d'extrapolation (EPH et Krigeage) pour la reconstitution de données manquantes
- Nuclear Energy Agency, 2015 : Outils de vérification des bases de données EXFOR et ENDF
- IRSN, 2015 : Analyse dynamique du réseau TELERAY, en cas de déplacement d'un panache de radioactivité
- IRSN, 2015-2016 : Dysfonctionnements dans les réseaux de capteurs
- ANDRA, 2016 et 2017 : Méthode d'optimisation du placement de capteurs dans un site de stockage de déchets radioactifs
- Nuclear Energy Agency, 2016 et 2017 : Méthodes mathématiques pour la vérification des bases de données
- Framatome, 2018 : Rédaction de la démonstration de sûreté pour un équipement
- Orano Mining, 2019 : Hiérarchisation de paramètres intervenant dans un process industriel
- CEA DAM, 2019 : Hiérarchisation de paramètres
- Framatome, 2020 : Rédaction d'une démonstration de sûreté pour une carte de contrôle commande
- ANDRA, 2022 : Analyse des variations de la température terrestre au voisinage d'un site de stockage de produits radioactifs
- Neext Engineering, 2023 : Analyse critique d'un projet de Small Modular Reactor