



## **Analyse et modélisation des risques**

L'analyse des causes d'un accident fait toujours apparaître une évaluation de probabilités : probabilité de défaillance d'un instrument, d'une erreur humaine, d'un comportement aberrant, etc. L'accident requiert souvent la présence simultanée de plusieurs défaillances. On cherche en général, à partir des retours d'expérience, à modéliser la probabilité d'apparition de telle ou telle panne, de telle ou telle aberration, et à en estimer les conséquences. Par exemple, en cas d'incendie dans une centrale nucléaire, combien de temps faudra-t-il aux pompiers pour arriver ? Combien de temps faudra-t-il aux opérateurs pour sortir ?

La Société de Calcul Mathématique s'est fait une spécialité de l'analyse critique des modélisations. On constate en effet, bien souvent, que dans les modèles communément admis, les lois probabilistes sont simplifiées à l'excès : on admet que les variables suivent une distribution gaussienne ou une distribution uniforme. Ou encore, on transpose sans précaution les données enregistrées pour une situation A à une situation B, qui n'a pas grand'chose à voir.

De même, dans bien des cas, les événements qui peuvent se produire sont considérés comme indépendants, alors que dans la pratique ils ne le sont pas. Lors de situations extrêmes (froid, canicule), les différents aléas cessent d'être indépendants.

Nous nous efforçons donc d'affiner les modélisations existantes, en révisant les évaluations probabilistes qui sont faites (et, dans un premier temps, en les soumettant à la critique), et en analysant les dépendances éventuelles entre événements. Il en résulte une modélisation beaucoup plus fine que celle acceptée habituellement. La prise en compte du facteur humain, lorsqu'elle est nécessaire, est souvent la plus délicate.

Les études réalisées par la SCM sont rédigées de telle sorte qu'elles peuvent être directement communiquées aux Autorités de Sécurité, quel que soit le domaine concerné. Nous prenons l'entière responsabilité des résultats auxquels nous parvenons et de la méthodologie que nous employons.

Nous avons développé des méthodes spécifiques liées aux "phénomènes extrêmes" (phénomènes de très faible probabilité, mais de fortes conséquences), dans le cadre de contrats avec la Caisse Centrale de Réassurance ; voir plus bas.

*Mise à jour : décembre 2011*

**Livre :**

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.

**Thèse :**

Olga Zeydina, décembre 2011 : Méthodes probabilistes pour la Sûreté Nucléaire.

[http://scmsa.eu/RMM/Olga\\_Zeydina\\_These.pdf](http://scmsa.eu/RMM/Olga_Zeydina_These.pdf)

**Réalisations :**

- 2003, CNES : Expertise du modèle de calcul des risques lors de la retombée d'un ballon.
- 2003-2004, Framatome-ANP : Application de méthodes statistiques dans les analyses thermo-hydrauliques des études d'accident sur les réacteurs nucléaires.
- 2004-2005, CNES : Réalisation de cartes probabilistes relatives à la chute des débris spatiaux.
- 2004– 2005, SNCF : Analyse et modélisation des Efforts Longitudinaux de Compression.
- 2005-2006, CEA, site de Saclay : Evaluation probabiliste des risques dus aux transports de matières dangereuses au voisinage du site et aux survols par les avions, civils ou militaires.
- 2006, Espaces Ferroviaires : Analyse des risques liés aux opérations immobilières.
- 2006-2011, IRSN : Méthodes probabilistes pour la Sûreté Nucléaire : mise en place de la méthode de l'Hypersurface Probabiliste (méthode créée par la SCM).
- 2006, Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières : Etude probabiliste concernant la sécurité des approvisionnements en gaz pour la France.

– 2007, CEA, site de Saclay : Méthodes probabilistes en séismologie.

Rapport 1 : Probabilistic Methods in Seismology ; Critical Analysis of the Models

[http://www.scmsa.eu/archives/CEA\\_SCM\\_Seismes\\_1.pdf](http://www.scmsa.eu/archives/CEA_SCM_Seismes_1.pdf)

Rapport 2 : Analyse probabiliste de la séismologie ; Analyse critique des formules déterministes.

[http://www.scmsa.eu/archives/CEA\\_SCM\\_Seismes\\_2.pdf](http://www.scmsa.eu/archives/CEA_SCM_Seismes_2.pdf)

Rapport 3 : Analyse probabiliste de la séismologie ; Mise en oeuvre d'une méthode probabiliste, comparaison avec la méthode déterministe.

[http://www.scmsa.eu/archives/CEA\\_SCM\\_Seismes\\_3.pdf](http://www.scmsa.eu/archives/CEA_SCM_Seismes_3.pdf)

Rapport 4 : Analyse probabiliste de la séismologie ; Construction d'une loi de probabilité : prise en compte des incertitudes sur les mesures.

[http://www.scmsa.eu/archives/CEA\\_SCM\\_seismes\\_4.pdf](http://www.scmsa.eu/archives/CEA_SCM_seismes_4.pdf)

- 2007-2008, Délégation à la Sûreté Nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la Défense : Etude sur le cadre méthodologique des études de sûreté probabilistes.
- 2008, Analyse des vulnérabilités dans le processus de délivrance d'un passeport biométrique. Agence Nationale des Titres Sécurisés, Ministère de l'Intérieur.
- 2008, Société GPN : Analyse critique en sismologie.

## Phénomènes extrêmes

Dans le cadre de contrats avec la Caisse Centrale de Réassurance (2009-2011), la SCM a mis au point une méthode de détermination de la probabilité de phénomènes extrêmes.

Par le passé, celle-ci était généralement évaluée au moyen de lois arbitraires et factices, telle la "loi de Gumbel", choisies parce qu'elles ne dépendent que d'un petit nombre de paramètres, dont le calage est facile lorsque les données sont peu nombreuses. Ceci est acceptable pour une recherche académique, mais doit être totalement prohibé lorsqu'il s'agit de phénomènes réels : utiliser une loi factice est tout aussi inacceptable que modifier les données.

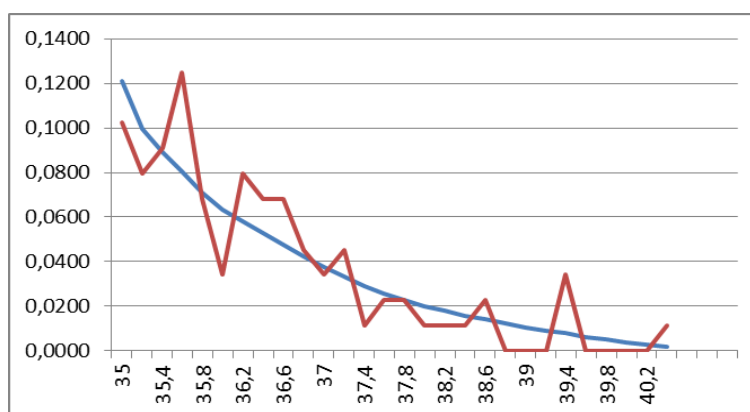
La méthode de la SCM requiert en entrée un "échantillon", consistant en un nombre quelconque d'observations du phénomène, chacune spécifiant son ampleur. Voici des exemples :

- Pour les températures  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  à Paris, par pas de  $0,2^{\circ}\text{C}$ , nombre de jours où chaque température a été observée ;
- Pour les hauteurs de marée  $\geq 90$  cm, à Marseille, par pas de 5 cm, nombre de jours où chaque hauteur a été observée ;
- Pour les retards des trains en Ile de France, nombre de trains touchés par un événement donné, sur une année.

Bien entendu, le nombre d'occurrences dépend de la période d'observation : ce peut être par exemple depuis l'origine de la surveillance (cas de la météorologie), ou sur une année (cas des trains).

En sortie, notre méthode fournit une loi de probabilité pour chaque valeur possible : pour chaque température, chaque hauteur d'eau, chaque nombre de trains. Il s'agit de lois de probabilité conditionnelles : le conditionnement est celui donné par l'observation de l'échantillon. Elle s'applique même si l'historique d'observation est très pauvre (ce qui est presque toujours le cas, s'agissant de phénomènes extrêmes) et si certaines données sont manquantes.

Voici un exemple, concernant les températures extrêmes à Paris. En rouge, les valeurs observées (sur 137 ans), en bleu la probabilité annoncée.



On en déduit une évaluation de la "durée de retour" pour chaque valeur. Par exemple, la température 40,4°C (la plus élevée jamais observée à Paris, en 140 années d'observations) a 95 chances sur 100 de revenir en 1100 ans, mais seulement 50 chances sur 100 de revenir pendant les prochaines 250 ans.

La méthode fournit aussi des intervalles de confiance pour chaque estimation, et pas seulement une valeur précise.

Elle est également capable de traiter des "lois conjointes", c'est-à-dire l'occurrence simultanée de deux ou plusieurs phénomènes extrêmes, en des lieux différents ([3]).

Mathématiquement, les probabilités recherchées (qui sont inconnues) sont traitées comme des variables aléatoires ; la seule hypothèse faite est la décroissance : plus le phénomène est extrême, moins il est probable, ce qui est raisonnable. La théorie mathématique consiste en le calcul d'une intégrale multiple sur un simplexe, dans un espace de dimension élevée [1] ; la théorie est complexe, mais l'évaluation numérique se fait simplement et rapidement, grâce à la méthode de Devroye-Robinson [2]. Les différents exemples ci-dessus peuvent être traités en quelques minutes sur un PC.

## Références

- [1] 2009, SCM SA, Bernard Beuzamy : Robust Mathematical Methods for Extremely Rare Events : [http://www.scmsa.eu/RMM/BB\\_rare\\_events\\_2009\\_08.pdf](http://www.scmsa.eu/RMM/BB_rare_events_2009_08.pdf)
- [2] 2009, Peter Robinson, Quintessa Limited : Efficient Calculation of Certain Integrals for Modelling Extremely Rare Events : [http://www.scmsa.eu/RMM/ART\\_2010\\_Peter\\_Robinson\\_Efficient\\_Integration.pdf](http://www.scmsa.eu/RMM/ART_2010_Peter_Robinson_Efficient_Integration.pdf)
- [3] 2011, SCM SA, Bernard Beuzamy and Olga Zeydina : The joint probability law of extreme events : [http://www.scmsa.eu/RMM/BB\\_OZ\\_Joint\\_Law\\_Extreme\\_Events\\_2011\\_04\\_16.pdf](http://www.scmsa.eu/RMM/BB_OZ_Joint_Law_Extreme_Events_2011_04_16.pdf)