



## **Analyse et modélisation des risques**

L'évaluation d'un "risque" consiste, à partir d'un retour d'expérience plus ou moins pertinent et plus ou moins long, à estimer des probabilités d'occurrences pour le futur : probabilité d'un phénomène climatique, de défaillance d'un composant, d'erreur humaine, de comportement aberrant, etc.

On distingue généralement entre deux types de risques : les risques "ordinaires", habituellement couverts par une assurance ou une garantie, et les risques "extrêmes".

### **1. Risques ordinaires**

S'il s'agit de la défaillance d'un objet industriel, les questions usuelles sont : combien de tests faut-il faire pour évaluer le nombre de retours après mise sur le marché ? quel sera le coût d'une garantie (pour les objets de grande consommation) ? quelle maintenance préventive est nécessaire, avec quelle fréquence ?

Nous nous sommes fait une spécialité de l'analyse critique des modèles existants. 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.

Nous nous efforçons donc d'améliorer les modélisations existantes, en révisant les évaluations probabilistes qui sont faites (et, dans un premier temps, en les soumettant à la critique), en analysant les dépendances éventuelles entre événements, et en tenant compte des incertitudes. Il en résulte une modélisation beaucoup plus robuste.

## **Livres :**

[NMP] Bernard Beauzamy : Nouvelles Méthodes Probabilistes pour l'évaluation des risques. ISBN 978-2-9521458-4-8. ISSN 1767-1175. Editions de la SCM, avril 2010.

[PIT] Olga Zeydina et Bernard Beauzamy : Probabilistic Information Transfer. ISBN : 978-2-9521458-6-2, ISSN : 1767-1175. Editions de la SCM, mai 2013.

## **Contrats récents :**

- 2006-2012, 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 sismologie : analyse critique des modèles et prise en compte des incertitudes
- 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
- Réseau de Transport d'Electricité, 2009 : analyse critique d'études épidémiologiques
- Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, 2009 : prestations de conseil relatives aux études probabilistes de sûreté
- Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, 2010 : analyse mathématique des dispositifs de surveillance au sein d'un réacteur nucléaire
- Groupe Total, 2010 : méthodes probabilistes pour l'évaluation d'une pollution
- Réseau Ferré de France, 2011 : Analyse des causes des retards des trains et optimisation des décisions d'investissement
- IRSN, 2011 : Etudes probabilistes concernant la sûreté des réacteurs
- Réseau de Transport d'Electricité, 2012 : Comparaison entre un réseau maillé et un réseau insulaire
- Réseau Ferré de France, 2012 : Mise en place d'indicateurs de criticité
- Areva, 2012 : Méthodes probabilistes pour l'évaluation des propriétés mécaniques de plaques
- Agence Nationale des Titres Sécurisés, 2013 : Retour d'expérience sur le passeport biométrique et analyse des fraudes
- Espaces Ferroviaires, 2013 : Analyse des risques liés aux opérations immobilières
- Monceau Assurances, 2014 : Redéfinition de la politique commerciale relative à l'assurance automobile
- L'Oréal, 2016 : Etudes des risques associés aux accidents sur le trajet domicile-travail
- Monceau Assurances, 2016 : Etude de la "sursinistralité" relative à certains risques

- ANDRA, 2016, 2017, 2018 : Etude des risques associés à la surveillance d'un site de stockage de déchets radioactifs
- RATP, 2016, 2017, 2018 : Modélisation du comportement des trains en situation de freinage d'urgence
- RATP, 2018 : Etude probabiliste des risques associés à certaines déformations de structures
- Groupe Atlantic, 2019 : Analyse probabiliste des appels au Service Après-Vente
- PSA, 2020 : Analyse critique des seuils de réassurance
- Eiffage Rail, 2021 : Outils pour l'analyse de la fiabilité des équipements
- Monceau Assurances, 2021-2022 : Le risque tempête et le portefeuille de Monceau Assurances
- RATP, 2022 : Analyse de la stabilité de talus anciens ; l'approche d'Archimède
- Léon Grosse, 2022 : Analyse du risque "grêle"

## 2. Phénomènes extrêmes

Dans le cadre de contrats avec la Caisse Centrale de Réassurance (2009-2011), la SCM a mis au point une méthode d'évaluation 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.

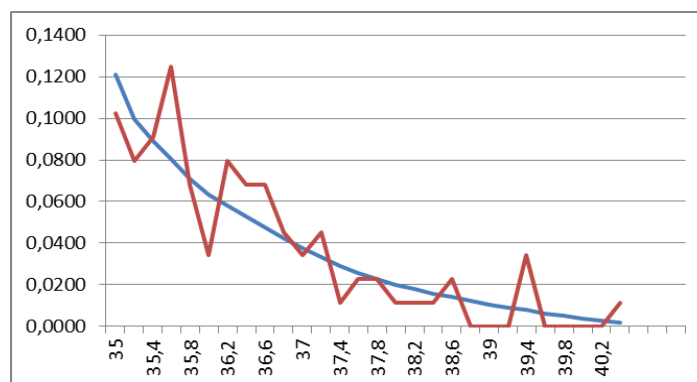
La méthode de la SCM requiert en entrée un "échantillon", consistant en un nombre quelconque d'observations du phénomène, chacune spécifiant son ampleur. Voici des exemples :

- 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 1 100 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]).

En 2013, nous avons mis en œuvre ces méthodes à la demande de Vinci Construction Grands Projets (COSEA), dans le cadre de la construction de la ligne TGV Sud Europe Atlantique. Il s'agissait d'évaluer le "débit de projet" pour la Vienne, juste après le confluent avec la Creuse, pour une crue centennale. La DREAL, utilisant des ajustements par loi de Gumbel, était parvenue à une estimation de 3 150 m<sup>3</sup>/seconde, et COSEA, au moyen d'autres ajustements, obtenait 2 700 m<sup>3</sup>/s. Nos méthodes ont permis de montrer que ce dernier débit avait en réalité une durée de retour de 160 ans.

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.

## Références

### Livre

[GRE] Bernard Beuzamy : Méthodes probabilistes pour la gestion des risques extrêmes. Ouvrage édité et commercialisé par la Société de Calcul Mathématique SA. ISBN : 978-2-9521458-9-3, ISSN : 1767-1175. Relié, 208 pages, juin 2015.

### Articles

[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)
- [4] 2012, SCM SA, Bernard Beuzamy : The probability of extreme events: Explicit computations  
[http://www.scmsa.eu/RMM/BB\\_closed\\_form\\_extreme\\_events\\_2012\\_09.pdf](http://www.scmsa.eu/RMM/BB_closed_form_extreme_events_2012_09.pdf)

### **Contrats récents**

- Caisse Centrale de Réassurance, 2010-2011 : Méthodes probabilistes pour l'évaluation de la loi conjointe de phénomènes extrêmes
- IRSN, 2012 : Calcul d'indicateurs économiques liés aux accidents graves
- Vinci Construction Grands Projets, 2013 : Analyse de la durée de retour des crues extrêmes pour la Vienne et la Creuse (réalisation de la ligne à grande vitesse Sud Europe Atlantique)  
[http://www.scmsa.eu/archives/SCM\\_COSEA\\_Rapport\\_Cruces\\_Vienne\\_2013\\_10\\_01.pdf](http://www.scmsa.eu/archives/SCM_COSEA_Rapport_Cruces_Vienne_2013_10_01.pdf)
- EDF/SEPTEN, 2015 : Analyse critique des modèles utilisés pour les études probabilistes de sûreté ; domaines de la mécanique, du séisme et de la thermohydraulique.
- IRSN, 2015-2016 : analyse des risques associés aux dysfonctionnements de certains capteurs
- Monceau Assurances, 2017, 2018 : Modélisation des catastrophes naturelles et de leur impact sur le portefeuille
- PSA, 2020 : Analyse critique des seuils de réassurance
- Orcade Commodities (Suisse), 2021 : Outils pour l'analyse prospective des prix du "Brent" (pétrole de la mer du Nord).