



## **Outils d'aide à la décision :**

### **Règles de conception**

#### **1. Présentation du besoin**

La réalité étant généralement complexe, les entreprises doivent se doter d'outils qui vont permettre l'exploration de divers scénarios et guider les choix. Ceux qui, à terme, auraient des conséquences négatives doivent pouvoir être rapidement rejetés ; les autres seront l'objet d'investigations plus ou moins approfondies.

Un outil d'aide à la décision (en abrégé OAD) n'est pas un outil d'optimisation d'une tâche quotidienne (comme le sont les approvisionnements ou la logistique). Il est là pour aider l'investigation de situations qui ne sont pas déjà connues et dont la complexité est si grande que l'intuition n'y suffit pas.

Un exemple typique est l'organisation de la maintenance : il s'agit de planifier des travaux sur un réseau (réseau d'adduction d'eau, d'électricité, de gaz, de transport, etc.), avec des contraintes très nombreuses : limiter les interruptions de service, tenir compte de la disponibilité des matériels et des équipes, respecter le budget, lisser le planning, etc.

On voit sur cet exemple très caractéristique qu'il ne peut y avoir de solution unique : on ne cherche pas un optimum, mais un ensemble de solutions acceptables. Le mot "acceptable" est mal défini : cela dépend de ce que veut le donneur d'ordre, qui lui-même n'a pas d'opinion clairement arrêtée. Il faut pouvoir lui proposer un ensemble de solutions, et non pas une seule.

Un résultat acceptable est habituellement un mélange entre :

- Des exigences réglementaires, plus ou moins claires (ne pas dépasser tel seuil, etc.) ;
- Des arbitrages entre diverses contraintes (interruptions de service, satisfaction client, ressources humaines disponibles, etc.), toujours délicats ;
- Les limites des budgets disponibles.

L'horizon de temps est très variable selon les situations. Lorsqu'il s'agit de travaux à effectuer, on calculera sur des années, voire des dizaines d'années, des centaines lorsqu'il s'agit du stockage de déchets radioactifs.

L'OAD n'a pas vocation à "faire plaisir" à celui qui l'utilise, mais à mettre en évidence toutes les situations, même les plus désagréables. Il y a une exigence fondamentale d'honnêteté intellectuelle. On pourra consulter notre fiche de compétences "Assistance Scientifique aux Grands Projets" ([SCM\_ASGP]) pour une liste assez claire de situations que nous avons rencontrées : l'échec du projet était patent depuis le début, le concepteur s'étant doté d'outils destinés à lui donner raison, sans se soucier en quoi que ce soit des lois de la Nature.

## **2. Une conception modulaire**

Un OAD est donc nécessairement constitué de plusieurs modules :

- Un module de simulation, qui doit pouvoir prendre en entrée toutes les configurations possibles, toutes les variantes possibles ;

Le module de simulation doit veiller à être parfaitement exhaustif et totalement indépendant des choix qui peuvent être faits ensuite. Il s'agit de veiller à ce qu'apparaissent toutes les situations susceptibles d'être rencontrées, même si elles sont improbables ou désagréables.

- Un module de visualisation, qui doit pouvoir présenter sous forme compréhensible (tableaux, cartes, graphes, etc.) le résultat de chaque configuration et permettre les choix. Il faut pour cela avoir introduit des échelles de valeur.

L'ensemble de l'outil est nécessairement grossier : ranger les résultats en trois classes. La logique de conception doit en tenir compte : il ne s'agit pas de se doter d'un outil "précis" pour chaque situation particulière, en espérant "mettre bout à bout" tous ces outils précis, dans l'espoir de disposer à la fin d'un outil complet.

En effet, les données disponibles sont entachées d'une incertitude, et de même les lois qui les régissent : un outil précis, calé sur données factices, n'aurait aucun sens. En outre, la complexité globale de la situation fera qu'il faudrait des milliards de milliards d'outils précis.

## **3. Règles de conception pour la simulation**

Les données utilisées par le module de simulation peuvent avoir trois origines :

- connaissances d'expert ;
- données disponibles du fait d'un historique ;
- lois de la physique.

Aucune des trois sources n'est totalement satisfaisante : il faut essayer de combiner les trois. Les données provenant d'un historique sont de loin la meilleure source, mais ces données sont souvent insuffisantes et de mauvaise qualité. Mais, bien sûr, elles s'amélioreront au fil du temps.

L'information provenant des lois de la physique est rarement utilisable : ces lois sont généralement complexes et requièrent l'évaluation de paramètres externes qui ne sont pas connus.

L'information provenant des dires d'expert est la moins fiable, de très loin, parce que l'expert a tendance à éliminer les situations qu'il n'a jamais rencontrées, situations que l'outil est précisément là pour mettre en évidence ! Il ne faut donc utiliser le dire d'expert que de manière préliminaire, en attendant de disposer de données plus complètes et plus fiables.

Il faut être particulièrement méfiant quant à l'utilisation de tirages au sort, procédé souvent employé dans les méthodes de type "Monte-Carlo". La réalité, très complexe, dépend en général d'un très grand nombre de paramètres, et les situations critiques vont se situer "dans les coins", dont la probabilité est infime. Voir à ce propos notre note sur la méthode de Wilks [Wilks].

De manière générale – et c'est du bon sens ! – il ne faut pas s'en remettre au hasard pour apporter une solution à un problème que l'on ne sait pas résoudre. Il faut au contraire procéder de manière itérative, en commençant par une investigation grossière et en se concentrant progressivement sur les situations à risque.

#### **4. Règles de conception pour la visualisation**

Le module de visualisation doit permettre la consultation de chaque type de solution, qu'elle plaise ou non.

Lorsque le nombre de paramètres est très important, ce qui est souvent le cas, il faut déterminer les paramètres qui influent le plus sur le résultat. Ceci se fait par des méthodes probabilistes robustes ; voir nos fiches [SCM\_MR] et [SCM\_HIER].

Cette hiérarchisation doit être confrontée aux lois de la physique, lorsque celles-ci sont disponibles, et elle peut être soumise aux experts du domaine, qui seront généralement surpris.

Le module de visualisation permettra donc de se concentrer sur un petit nombre de paramètres, jugés prépondérants, en négligeant tous les autres.

Lorsqu'on veut qualifier une solution, on ne doit pas utiliser de fonction de coût, contrairement à ce que l'on voit souvent. En effet, l'attribution de ces coûts est toujours artificielle, arbitraire, et elle aura tendance à privilégier ce que l'on souhaite.

De manière générale, il ne faut pas introduire dans le problème des indicateurs artificiels, parce que le choix de ces indicateurs conditionnera le résultat. La Nature ne recherche jamais un "optimum" de quoi que ce soit.

Il faut être vigilant quant à l'utilisation des méthodes probabilistes. En jouant sur l'espace des configurations, on parvient aisément à réduire la probabilité d'une situation à risque, et ce d'une manière complètement factice.

## 5. La validation de l'outil

Pour que l'outil soit utilisable, et a fortiori pour qu'il puisse être accepté par les Autorités de Sûreté, il faut que l'outil ait été validé, ce qu'on oublie souvent. Pour cela, il ne suffit pas qu'il décrive convenablement les situations sur lesquelles il a été conçu (ce qui est évidemment nécessaire), il faut qu'il soit capable d'anticiper de nouvelles situations.

Les données disponibles seront donc divisées en deux groupes (disons 70% et 30%, pour fixer les idées). Le premier groupe servira à la conception de l'outil. Une fois celui-ci convenablement constitué, on l'essaiera sur le second groupe et on verra si les prédictions qu'il obtient sont proches de la réalité.

Cette règle est impérative. Un outil, pour sa validation, doit toujours être essayé sur un ensemble de données distinct de l'ensemble qui a servi à la conception. Notre expérience est que, malheureusement, cette règle est souvent oubliée. On utilise, pour la conception, toutes les données disponibles, ce qui fait que l'outil décrit bien la réalité de base sur laquelle il a été conçu, mais seulement celle-là. Ce n'est pas un outil d'investigation.

## 6. Livres édités par la SCM

[IEPE] Bernard Beauzamy : Introduction à l'Étude des Probabilités Expérimentales. Ouvrage édité et commercialisé par la Société de Calcul Mathématique SA. ISBN : 979-10-95773-02-3. ISSN : 1767-1175, janvier 2023.

[MPPR] Bernard Beauzamy : Méthodes probabilistes pour l'étude des phénomènes réels, ISBN : 2-9521458-0-6, Editions de la SCM, mars 2004. Seconde édition, juin 2016.

[NMP] Bernard Beauzamy : Nouvelles Méthodes Probabilistes pour l'évaluation des risques. SCM SA, avril 2010.

## 7. Fiches de compétences associées

[Wilks] Bernard Beauzamy : La Méthode de Wilks ; utilisation incorrecte pour les études de sûreté, janvier 2016. [https://www.scmsa.eu/archives/BB\\_Wilks\\_2016\\_01\\_11.pdf](https://www.scmsa.eu/archives/BB_Wilks_2016_01_11.pdf)

[SCM\_MR] Méthodes robustes :  
[https://scmsa.eu/fiches/SCM\\_methodes\\_robustes.pdf](https://scmsa.eu/fiches/SCM_methodes_robustes.pdf)

[SCM\_HIER] La hiérarchisation de paramètres :  
[https://scmsa.eu/fiches/SCM\\_Hierarchisation.pdf](https://scmsa.eu/fiches/SCM_Hierarchisation.pdf)

[SCM\_ASQP] Assistance scientifique aux grands projets :  
[https://scmsa.eu/fiches/SCM\\_Scientific\\_Assistance.pdf](https://scmsa.eu/fiches/SCM_Scientific_Assistance.pdf)

[SCM\_Avocat\_du\_diable] L'avocat du Diable :  
[https://scmsa.eu/fiches/SCM\\_Avocat\\_du\\_diable.pdf](https://scmsa.eu/fiches/SCM_Avocat_du_diable.pdf)

## 8. Contrats récents

- Sagem Défense et Sécurité, 2007 : Amélioration des performances de caméras thermiques
- IRSN, 2007 : Méthodes probabilistes pour l'analyse des incertitudes liées à la sûreté des réacteurs nucléaires (applications de l'Hypersurface Probabiliste)
- Société Colas, 2008 : Analyse critique d'un logiciel de calcul de prix
- ANDRA, 2009 : Modèles mathématiques pour la propagation des radionucléides dans le sol
- ANDRA, 2010, 2011, 2012 : Amélioration d'un logiciel de transfert multicouches pour les radionucléides
- Air Liquide, 2011 : Algorithmes d'aide à la décision pour le remplacement de pipe-lines
- IRSN, 2011 : Etudes probabilistes concernant la sûreté des réacteurs, tenant compte du vieillissement
- IFSTTAR, 2011-2016 : Amélioration du positionnement GPS en situation urbaine
- Agence d'Ecologie Urbaine, Ville de Paris, 2012 : Analyse critique d'un logiciel relatif à la qualité de l'air
- Compagnie Financière de Florissant (Suisse), 2014 : Algorithmes de mathématiques financières
- EDF SEPTEN, 2015 : Analyse critique de logiciels relatifs à la sûreté nucléaire
- Monceau Assurances, 2016 : Conception d'un Générateur de Scénarios Economiques
- RATP, 2016 : Assistance scientifique pour la définition du planning de remplacement pour des équipements critiques
- L'Oréal, 2016 : Etude des données disponibles pour les accidents de la route entre le domicile et le lieu de travail
- SNCF Réseau, 2016 : Appui scientifique pour l'analyse des scénarios relatifs à une ligne nouvelle
- ANDRA, 2016, 2017, 2018, 2019 : Optimisation de la position des capteurs pour la surveillance d'un site de stockage de déchets radioactifs
- Carrefour/Bazar, 2017 : Amélioration d'un outil de recommandation pour les Plans d'Achat
- RATP, 2017 : Réalisation d'un outil de simulation des temps d'acheminement des trains de travaux
- SNCF/Transilien, 2017 : Analyse critique de modèles de représentation des déplacements ; réalisation d'un outil de simulation
- Syndicat des Eaux d'Ile de France : Appui méthodologique pour l'étude du réseau
- Taxis G7 : Etudes liées à la logistique
- Monceau Assurances, 2017-2018 : Outils d'aide à la décision pour la politique commerciale
- Réseau de Transport d'Electricité, 2017-2018 : Analyse de maintenances préventives
- SNCF Mobilités, 2018 : Etude des déplacements au voisinage du bipôle Nanterre-La Défense
- RATP, 2018-2019 : Etude probabiliste des efforts dus aux tractions et freinages des matériels roulants sur la structure des viaducs
- Industriel, 2019 : Amélioration d'un process de fabrication
- Orano Mining, 2019 : Hiérarchisation de paramètres intervenant dans un process industriel
- Groupe Atlantic, 2019 : Analyse probabiliste des appels au Service Après-Vente
- PSA, 2020 : Analyse critique des seuils de réassurance
- Ministère de l'Intérieur, SGAMI, 2020 : Appui méthodologique relatif au Télétravail

- Air Liquide, 2021 : Recommandations relatives à l'estimation de la durée de vie de certains composants
- SARP Industries, Limay, 2021 : Outils probabilistes relatifs aux réglages d'un four d'incinération de déchets
- Eiffage Rail, 2021 : Constitution d'un système d'information permettant d'identifier les besoins en maintenance
- Monceau Assurances, 2021 : Conception d'un outil permettant l'évaluation des primes pour la réassurance "tempêtes"
- RATP, 2021 : Evaluation de la distance de freinage pour certains matériels roulants
- SNCF, 2021 : Analyse critique des démonstrations de sûreté relatives à la Pile à Combustible (Hydrogène)
- Teréga, 2021 : Recommandations pour la planification des inspections du réseau
- Bouygues Energies & Services, 2022 : Appui méthodologique à la conception d'un système d'information "Dysfonctionnements et Maintenances"
- Befesa Valéra, 2022 : Hiérarchisation des paramètres intervenant dans le réglage d'un four
- RATP, 2022 : Analyse de la stabilité de talus anciens ; l'approche d'Archimède
- Léon Grosse, 2022 : Analyse du risque "grêle" pour les panneaux photovoltaïques
- RATP, 2022-2023 : Analyse du coût des programmes
- SNCF, 2023 : Appui méthodologique aux plans d'inspection des rails
- CMA-CGM, 2023 : Analyse critique de méthodes en recherche opérationnelle
- Neext Engineering, 2023 : Analyse critique d'un projet de Small Modular Reactor