



**HAL**  
open science

## Combiner les modèles d'aide à la décision pour la gestion patrimoniale des infrastructures

Jean-Marc Tacnet, Simon Carladous, Corinne Curt, Yves Legat, Bénédicte Rulleau, Caty Wery

► **To cite this version:**

Jean-Marc Tacnet, Simon Carladous, Corinne Curt, Yves Legat, Bénédicte Rulleau, et al.. Combiner les modèles d'aide à la décision pour la gestion patrimoniale des infrastructures. *Sciences Eaux & Territoires*, 2016, 20, pp.90-97. 10.14758/SET-REVUE.2016.20.16 . hal-01373157

**HAL Id: hal-01373157**

**<https://hal.science/hal-01373157v1>**

Submitted on 28 Sep 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Combiner les modèles d'aide à la décision pour la gestion patrimoniale des infrastructures

**La gestion patrimoniale des infrastructures nécessite le développement d'outils d'aide à la décision qui puissent soutenir les gestionnaires dans leurs choix opérationnels. À partir de l'analyse comparative de différents modèles d'aide à la décision mis en œuvre dans les domaines des ouvrages d'art, des réseaux urbains et des ouvrages de protection contre les risques naturels, cet article met en évidence la nécessaire complémentarité entre les méthodes multicritères, les approches économiques et les modèles déterministes, ainsi que l'importance de la qualité des données utilisées.**

**L**a gestion patrimoniale des infrastructures s'appuie d'abord sur l'expérience des gestionnaires mais aussi sur des outils d'aide à la décision, construits à dire d'expert, ou de la modélisation des phénomènes et de choix de décision. Cet article présente différents modèles d'aide à la décision mis en œuvre dans les domaines des ouvrages d'art, des réseaux urbains (eau et assainissement) et des ouvrages de protection contre les risques naturels (figure 1).

### Une étape indispensable : décrire les contextes et processus de décision

Aider une décision nécessite, dans le cadre de la gestion patrimoniale des infrastructures (GPI), comme ailleurs, de décrire les objectifs, les modalités, les acteurs, les solutions alternatives et les contextes de décision (Tacnet *et al.*, 2014). Dans le domaine des risques naturels en général, les décisions concernent ainsi les différentes phases de la gestion du risque (prévention, crise, réparation), et les différentes zones de déclenchement, propagation et interaction des phénomènes avec les enjeux<sup>1</sup>. Un même expert technique peut ainsi être mobilisé pour aider des décisions de nature très différentes dans l'espace et le temps :

- en phase de prévention pour identifier/quantifier les causes d'un phénomène ;
- lors d'un événement pour gérer la mise en sécurité des biens et des personnes ;
- lors des phases de réparation, pour évaluer les dommages.

Dans le domaine des réseaux d'eau sous pression, la GPI se focalise, depuis la fin des années 1980, sur l'analyse de scénarios de défaillance, le choix de mesures de gestion, d'entretien et de remplacement des réseaux. Les problèmes de décision se situent à différents niveaux (Merad, 2010), soit purement opérationnels : quelle technique choisir ?, soit stratégiques (relatifs à une planification à long terme de l'entretien du réseau) : quel est le taux de rénovation optimal des canalisations ?, soit tactiques (relatifs aux modalités de mise en œuvre d'un objectif stratégique) : en matière de programmation à court terme des travaux, comment décider des priorités de rénovation en intégrant la notion de risque et les impacts en cas de défaillance sur l'environnement naturel et humains, et notamment sur les usagers du service ? La description (modélisation) générique d'une décision par l'approche 5WH (qui, quoi, où, quand, pourquoi, comment – en anglais : « *Who, What, Where, When, Why, How* ») doit s'appliquer à tous les contextes de décision (figure 2). Négliger cette étape complique voire empêche la conception et surtout la validation des outils développés. Elle permet en effet de fournir les éléments descriptifs indispensables de la décision en précisant :

- les acteurs (qui : un gestionnaire, un élu, un usager, etc.) ;
- l'objet (quoi : un ouvrage de protection, une canalisation, etc.) ;

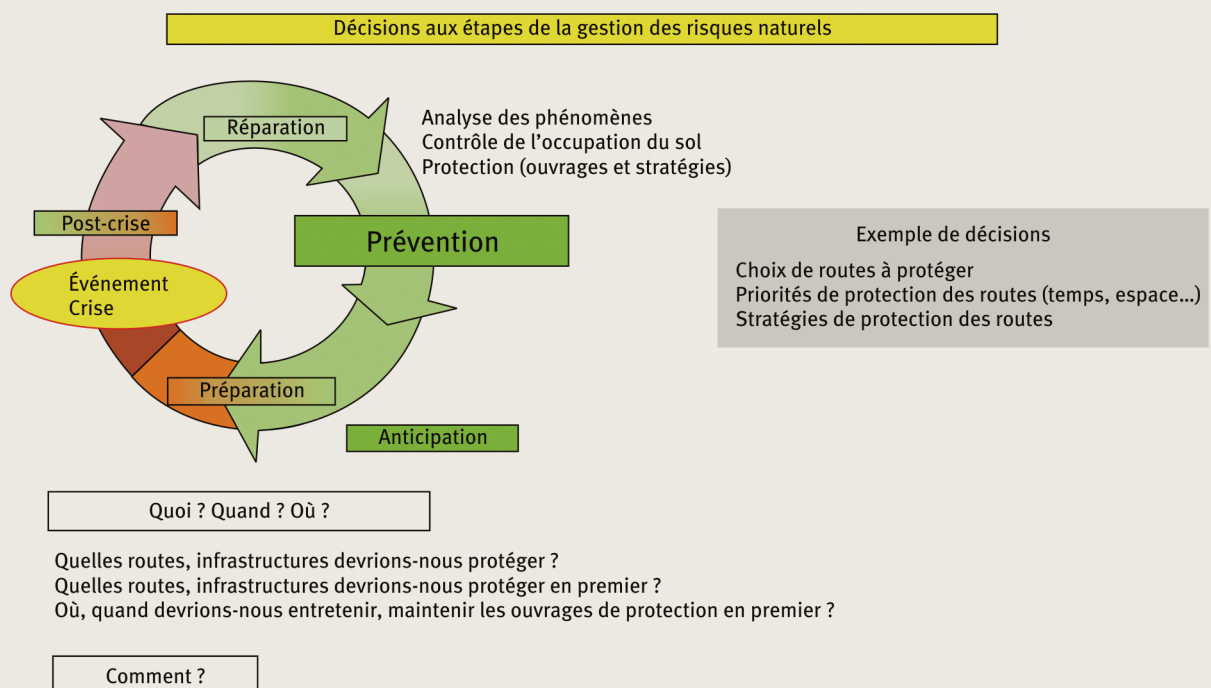
1. Voir l'article « Risque, vulnérabilité, résilience : quels apports pour la gestion patrimoniale des ouvrages de protection et des réseaux urbains ? », pages 10-15 de ce même numéro.

❶ Les effets des crues torrentielles (impact, affouillement, submersion, dépôt) menacent les infrastructures critiques (réseaux, routes).

Vulnérabilité des infrastructures exposées aux phénomènes torrentiels



❷ Exemple de formalisation d'une problématique de décision opérationnelle liée à la protection d'infrastructures de transport exposées aux phénomènes naturels (Paramount Project, 2012).



- ▶ l'étendue et la portée spatiale (où : un bassin versant, une vallée, un quartier, une ville, un département, etc.) ;
- la temporalité en termes de durée et de phases de gestion (quand : avant l'événement en phase de prévention, pendant l'événement, après l'événement, à court terme pour la gestion de pointe de consommation, à long terme pour la planification de renouvellement d'infrastructures, etc.) ;
- les motivations (pourquoi : pour protéger une route, des habitations, pour assurer l'alimentation d'un quartier, pour augmenter la sécurité) ;
- le mode de réponse et les alternatives ou solutions envisagées (comment : par la construction d'ouvrages de protection, par la réalisation de plans de zonage, par le remplacement de tronçons de canalisation, par une surveillance accrue, par la mise en place de capteurs).

### Des modèles attendus pour comprendre et décider

#### De nombreux modèles... différents mais complémentaires

Dans le domaine des risques naturels, la GPI utilise les connaissances et outils scientifiques et techniques dont font partie les modèles, pour identifier les phénomènes (crues torrentielles, avalanches...), les propager, analyser leurs interactions avec les ouvrages, les enjeux, évaluer les dommages. Sur ces bases, l'analyse de l'efficacité de barrages de correction torrentielle est par exemple déclinée sur les plans structuraux, fonctionnels et économiques (figure 3). Pour rénover les réseaux d'eau, les modèles permettent de démontrer techniquement

l'avantage des rénovations dictées par des objectifs de performance à moyen ou long terme du réseau. La programmation annuelle des rénovations reste cependant largement dictée par les opportunités de travaux de voirie ou d'aménagement urbain, mais de plus en plus de collectivités utilisent des démarches formalisées.

Dans le cadre de la GPI, les modèles sont ainsi devenus incontournables pour aider à décider en situations complexes. Comme le processus de décision doit intégrer plusieurs de ces modèles, des méthodes ont été proposées pour les combiner (tableau 1).

#### Des modèles déterministes et probabilistes... dont les résultats doivent être critiqués et confrontés à la qualité des données

Pour prendre des décisions stratégiques telle que l'allocation optimale d'un budget de rénovation, des outils d'aide à la décision en GPI sont utilisés par les gestionnaires de réseaux d'eau sous pression et les consultants qui les assistent<sup>2</sup> (Saegrov, 2005). Le logiciel Casses<sup>3</sup> explore les données descriptives détaillées des canalisations et de leur historique de défaillances ou mises hors service (précédant le plus souvent une rénovation). Il inclut un noyau de calcul statistique permettant de modéliser le processus de défaillance des canalisations sur la base de l'âge et des caractéristiques de la conduite (diamètre, longueur...) et de son environnement.

2. Voir l'article « Méthodes de programmation à court terme des travaux d'entretien et rénovation du patrimoine », pages 62-69 de ce même numéro.

3. Développé par Irstea Bordeaux.

3 Les décisions de gestion des infrastructures nécessitent une approche multifactorielle (structurelle, fonctionnelle, économique) : l'exemple des ouvrages de protection contre les risques torrentiels.



❶ Exemple de méthodes mises en œuvre dans le cadre d'approches intégrées de la gestion des risques naturels, notamment l'analyse de l'efficacité des ouvrages de protection (Tacnet et al., 2014).

Domaine de modélisation	Type de modélisation	Objectif
Modélisation physique (fonctionnelle)	Sûreté de fonctionnement (SdF) : analyse fonctionnelle (AF), analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE), etc.	Analyser les fonctionnements/dysfonctionnements des ouvrages, (indicateurs de SdF : fiabilité, maintenabilité, disponibilité, sécurité) utilisés pour évaluer l'efficacité et la performance des ouvrages
Modélisation physique (déterministe)	Simulation numérique de mécanismes physiques : propagation des phénomènes, calcul de structures exposées à ces phénomènes, etc.	Évaluer les aléas (phénomène caractérisé en intensité et fréquence), la stabilité d'une structure, etc.
Modélisation et représentation de l'imperfection de l'information	Théorie des probabilités. Théorie des ensembles flous et des possibilités. Théorie des fonctions de croyance.	Représenter (selon les méthodes) les formes d'imperfection correspondant à l'inconsistance (conflit), l'imprécision, l'incomplétude et l'incertitude (aléatoire, épistémique).
Propagation de l'imperfection de l'information	Approche probabiliste type Monte Carlo, approches hybrides. Fusion d'information.	Propagation dans les modèles physiques et d'aide à la décision pour caractériser l'influence de la qualité des données sur les résultats. Combiner des sources d'information inégalement fiables, tracer le processus de combinaison d'information.
Modèle d'aide à la décision	Aide multicritère à la décision (méthodes classiques et avancées prenant en compte l'imperfection de l'information).	Évaluer les niveaux d'aléas, comparer des stratégies, évaluer les niveaux d'efficacité des ouvrages, trier les ouvrages par niveau d'efficacité, évaluer les sites les plus critiques, évaluer la qualité de l'information supportant les décisions.
Modèle d'aide à la décision	Approches à base de règles basées sur le raisonnement expert : règles d'agrégation logiques (SI-ALORS...), opérateurs mathématiques (Min, Max...), tables de vérité, matrices de criticité.	Évaluer la performance des ouvrages, évaluer les niveaux d'aléas, de risque
Modèle d'aide à la décision	Aide à la décision basée sur la théorie de l'utilité espérée et sur une approche économique (optimisation, analyse coût-bénéfices...).	Comparer différentes stratégies dans un cadre probabiliste selon leur efficacité économique (recherche d'un optimum qui est supposé exister)

Dans le domaine des risques naturels, la simulation numérique des phénomènes, tel que l'étalement de crues torrentielles est maintenant largement utilisée. Des approches récentes ont introduit la nécessité de prise en compte de l'incertitude dans ces modèles. Il est ainsi possible de représenter sous forme probabiliste (analyse classique de type Monte-Carlo) ou possibiliste (encadrement de probabilités) l'influence de qualité des données d'entrée sur les résultats en sortie.

### Modéliser les défaillances d'un système pour mieux le gérer

La défaillance est la perte d'aptitude d'un ouvrage ou d'un réseau à accomplir totalement la fonction qui lui est donnée (ex. : contournement d'un ouvrage, réduction du débit transporté par un réseau). Le taux de défaillance est le nombre de défaillance sur un intervalle de temps donné. La maintenance de ces systèmes peut être préventive pour réduire la probabilité de défaillance sur une durée d'utilisation de projet, ou corrective pour les rendre de nouveau fonctionnels. Ces dernières incluent la rénovation des réseaux ou de réparation des ouvrages (Afnor, 2001).

Évaluer le taux de rénovation des réseaux est nécessaire pour définir les budgets annuels à consacrer à cette rénovation<sup>4</sup>. La rénovation du réseau peut d'abord être décidée suite à des défaillances selon plusieurs modes :

1. atteinte de la « durée de vie » intrinsèque du réseau liée aux caractéristiques techniques des canalisations ;
2. fuites détectables ou casses à répétition ;
3. fuites diffuses (non détectables) entraînant des pertes d'eau dans la distribution.

Des approches considèrent uniquement le mode 1 en évaluant le taux de rénovation comme l'inverse de la

« durée de vie » intrinsèque. Les âges réellement observés à la rénovation contredisent cette approche car s'étalent de valeurs très faibles (2 ou 3 ans) à très élevées (150 ans) selon une répartition très proche d'une distribution de probabilité dite de Weibull. Des outils statistiques ont été développés pour analyser des données de survie<sup>5</sup> et établir le taux de rénovation, en tenant compte des modes de défaillance 1 et 2, comme l'inverse de la moyenne de la distribution des âges observés à la rénovation. Cependant, la législation environnement pousse à tenir compte du mode de défaillance 3. De même, la réglementation sanitaire peut aussi impliquer des opérations de rénovations à grande échelle. Des recherches sont engagées sur ce point, et s'intensifieront dans l'avenir, pour développer un outil d'aide à la décision en GPI complété pour prendre en compte l'aspect multidimensionnel de la performance<sup>6</sup>.

L'analyse de l'efficacité des ouvrages de protection contre les risques naturels est elle aussi construite sur l'analyse de modes de défaillance dans le cadre de la sûreté de fonctionnement (figure 3 et tableau 1). Le taux de réparation des ouvrages de protection est notamment utile pour décider des actions de maintenance. Pour cela, une base de données recense les ouvrages dont l'Etat est propriétaire et les actions de maintenance réalisées. Aucun traitement statistique n'existe par contre

4. Voir l'article « Stratégie patrimoniale durable : intégrer de nouvelles dimensions dans les choix d'investissement et de financement », pages 16-21 de ce même numéro.

5. Dans la continuité du projet CARE-W (Computer aided rehabilitation of water networks).

6. Voir l'article « Gestion patrimoniale : pilotage par la performance dans une optique de durabilité du service », pages 70-77 de ce même numéro.

► pour extraire la probabilité objective des défaillances. Dans ce cadre, les modèles conceptuels issus de la sûreté de fonctionnement et d'analyse experte servent à identifier les défaillances potentielles ainsi que les causes et les conséquences. L'évaluation de la probabilité des défaillances et leurs conséquences ne doit être considérée que comme un critère d'aide à la décision stratégique parmi d'autres. Les décisions de rénovation des réseaux ou de réparation des ouvrages dépendent en effet souvent de contraintes d'aménagement du territoire (ex. : déplacement d'une conduite lors de travaux de tramway), de contraintes sanitaires (ex. : remplacement de canalisations en plomb) et d'opportunités de coordination et de réduction des coûts (ex. : travaux de voirie ou sur réseaux tiers, réparation coordonnée de plusieurs ouvrages proches).

### Les méthodes pour aider les décisions associées à la GPI

L'expertise associée à la gestion patrimoniale des ouvrages mobilise des méthodes telles que les approches économiques et l'aide multicritères à la décision.

#### Quelle décision est la plus rentable ?

##### L'apport des approches économiques et de gestion

Les aspects économiques et de gestion résident notamment dans l'évaluation des coûts de maintenance, de réhabilitation, de renouvellement, etc. (la prise en compte des stratégies de financement est abordée dans l'article « Risque, vulnérabilité, résilience : quels apports pour la gestion patrimoniale des ouvrages de protection et des réseaux urbains ? », pages 10-15 de ce même numéro). Certaines approches ne tiennent compte que des coûts d'investissement liés au renouvellement des infrastructures et des coûts de fonctionnement liés à leur réparation. D'autres considèrent l'ensemble des coûts directs, *i.e.* les coûts internes pour le service d'eau ou d'assainissement par exemple (réparation, investigation, curage, etc., mais aussi amortissement et frais financiers), les coûts et bénéfices sociaux. Ces derniers, liés à la notion économique d'externalités<sup>7</sup>, nécessitent pour leur estimation la mise en œuvre de méthodes spécifiques : évaluation des impacts d'un dysfonctionnement de l'infrastructure sur le milieu naturel ou humain<sup>8</sup>, évaluation des préférences et « consentements à payer » des usagers pour une politique de gestion patrimoniale améliorée<sup>9</sup>, etc. Ces méthodes d'évaluation des coûts sont diverses et les modèles utilisés dépendent de la décision à prendre. Elles peuvent être menées de façon indépendante ou en accompagnement d'approches multicritères. Le calcul de la date optimale de renouvellement des réseaux d'eau repose sur des modèles retenant le minimum du total des coûts actualisés de renouvellement et des coûts actualisés de réparation. L'outil Casses fait le lien avec une évaluation plus fine du risque de défaillance à partir

de méthodes de programmation dynamique ou d'approches multi-objectifs intégrant également la question du dimensionnement hydraulique, les coûts directs et les coûts sociaux. L'analyse coûts-bénéfices (ACB) aide à la prise de décision en comparant différentes politiques ou en évaluant la pertinence d'une intervention au regard des coûts et des bénéfices qu'elle occasionne pour la société. Cette approche, lorsqu'elle considère les coûts sociaux, présente aussi l'avantage de s'intéresser aux préférences des usagers des services et, de manière plus globale, à leurs attentes, perception des risques, compréhension des phénomènes en jeu, connaissance sur le service qui leur est fourni, etc. Se pose alors la question de la prise en compte de l'horizon temporel et le choix du taux d'actualisation traduisant la préférence de l'agent économique pour le présent et son attitude par rapport au risque.

#### Décider selon plusieurs critères

Une des limites des approches économiques et notamment de l'ACB est la prise en compte d'une échelle unique monétaire pour évaluer les critères de décision alors que des critères environnementaux, sociaux, patrimoniaux peuvent être difficiles à monétariser. Les méthodes d'aide multicritères à la décision (AMC) ont été parmi les premières méthodes à être utilisées pour la GPI (priorisation). Elles permettent soit de choisir, ranger et trier des alternatives ou solutions. Elles se basent sur les préférences exprimées par le décideur sur une série de critères qui peuvent être évalués en diverses unités (Figueira *et al.*, 2005). Les méthodes d'agrégation totale, basées ou dérivées de la théorie de l'utilité multi-attribut (MAUT), attribuent à chaque alternative ou solution, l'évaluation d'un critère unique de synthèse.

La méthode multicritère hiérarchique (AHP) (Saaty, 1980 see *in* Figueira *et al.*, 2005) est la plus simple des méthodes d'agrégation totale et permet de représenter simplement le principe des approches. Elle repose sur une première phase dite d'analyse qui correspond à la décomposition d'un problème en critères et sous-critères. Chaque solution est ensuite évaluée par agrégation (synthèse) des évaluations des critères par un principe de somme pondérée (figure 4). L'originalité de la méthode, souvent discutée, provient de la détermination des pondérations par comparaison des critères par paires en utilisant une matrice de préférences.

Les limites de ce type de méthodes ont conduit au développement des méthodes dites de sur-classement telles que les méthodes Electre mises en œuvre dans différents contextes. Par exemple, la méthode Electre TRI a été appliquée à des problèmes environnementaux (Maystre *et al.*, 1999). Pour aider à décider la priorisation des tronçons de réseaux d'eau potable<sup>10</sup> et d'assainissement<sup>11</sup> à réhabiliter ou à inspecter, elles s'appuient sur des critères de risque de détérioration, de dommages engendrés, de données de vulnérabilité ou de contexte.

7. Voir l'article « Risque, vulnérabilité, résilience : quels apports pour la gestion patrimoniale des ouvrages de protection et des réseaux urbains ? », pages 10-15 de ce même numéro.

8. Projet ANR OMEGA – « Outil d'aide méthodologique pour la gestion intégrée des eaux urbaines ».

9. Projet ANR INDIGAU - « Indicateurs de performance pour la gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains ».

10. Outil de priorisation pour les rénovations annuelles (ARP) dans le projet CARE W.

11. Méthodologie RERAU ( Réhabilitation des réseaux d'assainissement urbains) et outil INDIGAU.

### Expliciter les connaissances et décrire les raisonnements expert pour évaluer les infrastructures

Les méthodes basées sur l'expertise spécifique d'un domaine reposent sur la construction de modèles obtenus via un recueil et une formalisation de l'expertise d'un ou de plusieurs experts. La démarche d'acquisition et de modélisation des connaissances comporte trois phases principales :

- la phase de préparation vise pour l'observateur à appréhender le fonctionnement du système et à acquérir les termes techniques communément employés pour caractériser le système étudié ;
- le recueil et la formalisation des connaissances consistent à structurer le modèle d'évaluation de l'efficacité puis à modéliser sous une forme mathématique les relations existant entre les différentes variables de ce modèle. Pour l'évaluation de la performance des ouvrages hydrauliques, les entrées de ces modèles sont des indicateurs<sup>12</sup>, données formalisées de manière robuste. Diverses relations mathématiques peuvent être mises en œuvre pour agréger les indicateurs : opérateurs arithmétiques comme le maximum, le minimum, la somme pondérée..., règles d'agrégation du type SI-ALORS. Ces agrégations permettent l'obtention de la performance de fonction (étanchéité, drainage...) et

la performance vis-à-vis de modes de rupture (érosion interne, glissement...);

- la validation de la structure et des relations établies consiste à comparer l'évaluation produite par les experts et celle fournie par le modèle, par exemple la performance vis-à-vis du mode de rupture.

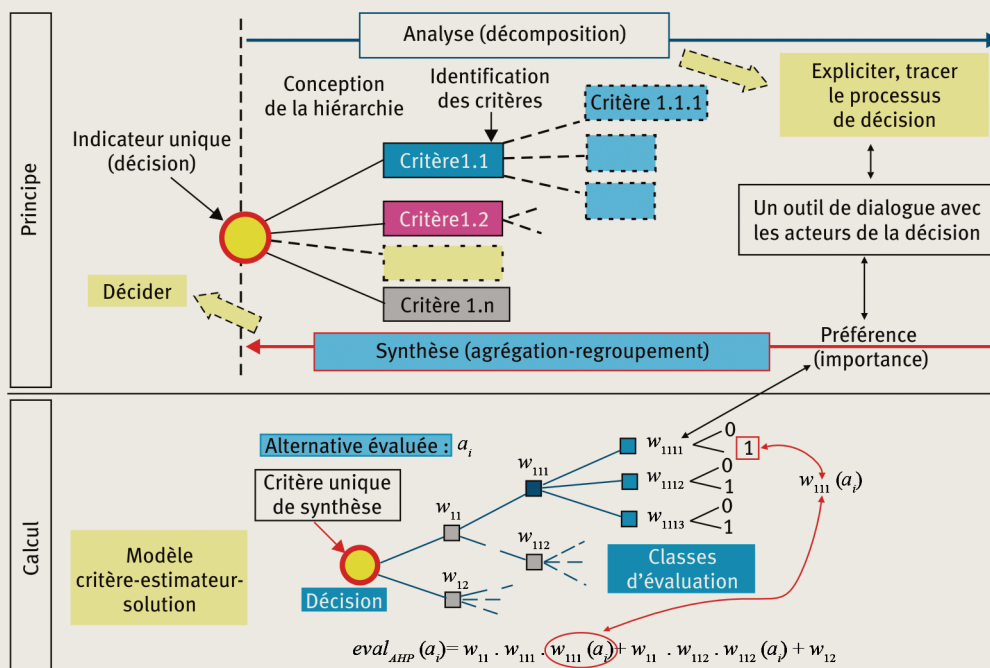
### Quand l'information est imparfaite...

Une décision dépend toujours de l'information disponible (Dubois et Prade, 2006) souvent imparfaite et provenant de sources hétérogènes et inégalement fiables<sup>12</sup>. Les formes d'imperfection peuvent être classées en inconsistance (conflit entre deux sources), imprécision (« le volume est entre 10 000 et 20 000 m<sup>3</sup>), incomplétude (omission, manque d'information) et incertitude (« 50 % de chances d'avoir une crue torrentielle qui déborde »). Les « nouvelles » théories de l'incertain sont adaptées à ces formes d'imperfection souvent rencontrées dans nos contextes d'expertise liés à la GPI (théories des ensembles flous, possibilités, fonctions de croyance) (tableau 1).

La prise en compte des imperfections de l'information est indispensable pour éclairer la décision. Les théories précédentes sont utilisées, par exemple, pour évaluer en toute rigueur et transparence des indicateurs d'efficacité d'ouvrages de correction torrentielle (figure 3).

12. Voir l'article « Collecter, formaliser, qualifier et stocker les données pour gérer les patrimoines », pages 80-85 de ce même numéro.

4 Principes d'analyse, de synthèse et de calcul de l'analyse multicritères hiérarchique (AHP).



Ceci constitue en effet un enjeu essentiel pour les maîtres d'ouvrage et notamment l'État français, propriétaire de bon nombre de ces infrastructures. Des méthodes d'aide multicritères à la décision associant la théorie des fonctions de croyance, des possibilités et des ensembles flous<sup>13</sup> sont ainsi utilisées pour évaluer les critères d'efficacité à l'échelle de l'ouvrage et des dispositifs. La fusion d'information envisage des sources multiples inégalement fiables et les combine en vue de la décision (choix de niveau d'efficacité, tri des ouvrages les plus ou moins efficaces, rangement des sites).

### Conclusion : la nécessité de combiner les méthodes

Pour soutenir les décisions opérationnelles, la gestion patrimoniale des infrastructures (GPI) doit combiner différents modèles déterministes, d'analyse fonctionnelle et d'aide à la décision en ayant conscience de leur portée et limites. La représentation et la propagation de l'imperfection de l'information permettent d'identifier ces limites. Cependant, l'intégration de toutes les approches reste encore un enjeu essentiel tant dans le domaine de la gestion des risques naturels<sup>13</sup> que dans le domaine de la gestion des réseaux urbains. Le développement des méthodes et l'exploitation de synergies entre les domaines thématiques d'application (réseaux, ouvrages de protection) sont autant de pistes à explorer notamment en lien avec la compétence GEMAPI (gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations). ■

13. Notamment les approches ER-MCDA et COWA-ER (Tacnet *et al.*, 2014).

### Les auteurs

#### Jean-Marc TACNET

Université Grenoble Alpes, Irstea, UR DTGR,  
Centre de Grenoble, 2 rue de la Papeterie,  
BP 76, F-38402 St-Martin-d'Hères, France.

✉ [jean-marc.tacnet@irstea.fr](mailto:jean-marc.tacnet@irstea.fr)

#### Simon CARLADOUS<sup>1,2,3</sup>

1. Université Grenoble Alpes, Irstea,  
UR ETGR, centre de Grenoble,  
F-38402 St-Martin-d'Hères, France.  
2. École nationale des Mines,  
29 rue Ponchardier, F-42100 Saint-Étienne, France.  
3. AgroPariTech,  
19 avenue du Maine, F-75015 Paris, France.

✉ [simon.carladous@irstea.fr](mailto:simon.carladous@irstea.fr)

#### Corinne CURT

Irstea, UR RECOVER,  
F-13182 Aix-en-Provence Cedex 5, France

✉ [corinne.curt@irstea.fr](mailto:corinne.curt@irstea.fr)

#### Yves LE GAT

Irstea, UR ETBX, centre de Bordeaux,  
F-33612 Cestas Cedex, France.

✉ [yves.le-gat@irstea.fr](mailto:yves.le-gat@irstea.fr)

#### Bénédicte RULLEAU<sup>1,2</sup>

1. Irstea, UR ETBX, centre de Bordeaux,  
F-33612 Cestas Cedex, France.  
2. UVSQ, GEARC, OVSQ, 11 boulevard d'Alembert,  
F-78280 Guyancourt, France.

✉ [benedicte.rulleau@irstea.fr](mailto:benedicte.rulleau@irstea.fr)

#### Caty WEREY

Irstea, UMR GESTE, Engees,  
F-67070 Strasbourg, France.

✉ [caty.werey@irstea.fr](mailto:caty.werey@irstea.fr)

### EN SAVOIR PLUS...

- 📖 **AFNOR**, 2001, NF EN 13306 X 60-319 – Terminologie de la maintenance, Association Française de Normalisation.
- 📖 **DUBOIS, D., PRADE, H.**, 2006, *Concepts et méthodes pour l'aide à la décision* (3 vol.), Hermès - Lavoisier, Paris.
- 📖 **FIGUEIRA, J., GRECO, S., EHRGOTT, M.-E.**, 2005, *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the art surveys*, *International Series in Operations Research and Management Science*, vol. 78, Springer.
- 📖 **MAYSTRE, L.-Y., BOLLINGER, D.**, 1999, *Aide à la négociation multicritères, pratiques et conseils*, Presses Polytechniques et Universitaires Romanes, Lausanne.
- 📖 **MERAD, M.**, 2010, *Aide à la décision et expertise en gestion des risques*, Lavoisier, p. 27-28.
- 📖 **SAEGROV S.**, 2005, *CARE-W Computer Aided REhabilitation for Water networks*, London, IWA Publishing.
- 📖 **TACNET, J.-M., DEZERT, J., CURT, C., BATTON-HUBERT, M., CHOJNACKI, E.**, 2014, How to manage natural risks in mountain areas in a context of imperfect information? New frameworks and paradigms for expert assessments and decision-making, *Environment Systems and Decisions*, 34 (2), p. 288-311.
- 📖 **PARAMOUNT PROJECT**, 2012, *imProved Accessibility: Reliability and safety of Alpine transport infrastructure related to MOUNTainous hazards in a changing climate, WP7 final report : Decision support guidelines - methods, procedures and tools.*





*Suite à un orage de grêle, route de montagne coupée à la circulation par des laves torrentielles.*