

Système interactif d'aide à la décision pour la gestion du patrimoine d'une société d'autoroute

Céline SANCHEZ
Brigitte MAHIEU

*Service Structure Viabilité Sécurité, Société des
Autoroutes Estérel Côtes d'Azur Provence Alpes
ESCOTA*

Jacky MONTMAIN*
Marc VINCHES
École des Mines d'Alès

■ RÉSUMÉ

L'amélioration du processus décisionnel pour la maintenance préventive et la gestion d'un patrimoine d'infrastructures concerne les opérations d'entretien, d'amélioration et de mise à niveau. En fonction des informations disponibles sur l'état du patrimoine, des opérations sont programmées. L'affectation d'une priorité d'intervention à une opération relève d'un processus d'évaluation mettant en jeu plusieurs critères à différents niveaux fonctionnels. Le logiciel SINERGIE a été développé afin de soutenir le traitement de l'information nécessaire pour passer de la mesure d'une anomalie à la programmation d'une opération. Il se compose d'un système d'information (SI) régissant l'ensemble des informations relatives à l'évaluation des opérations, sur lequel se fonde un système interactif d'aide à la décision (SIAD). Cette solution consiste à gérer une mémoire commune de l'état du patrimoine afin d'accompagner les acteurs de l'exploitation dans leurs prises de décisions pour la gestion du patrimoine : tout choix proposé par le SIAD est justifiable par des éléments d'argumentation techniques ou stratégiques gérés par le SI. Les différentes phases de traitement de l'information que propose SINERGIE sont illustrées pour le domaine des chaussées.

Decision Assistance Interactive System (DAIS) for managing motorway company holdings

■ ABSTRACT

Improvements to the decision-making process in the areas of preventive repairs and facility management for a range of infrastructure entail the operations of maintenance, upgrade and retrofitting. Depending on the information available concerning the state of facilities, specific types of operations can be programmed. Assigning priority action to a given operation necessitates an evaluation process that introduces several criteria at various functional levels. The SINERGIE software has been developed to support the information processing required to make the transition from measuring an operational anomaly to scheduling an appropriate course of action. This step comprises an Information System (IS) that oversees all information pertinent to operations evaluation and serves to derive a Decision Assistance Interactive System (SIAD, according to the French acronym). The solution consists of managing a shared memory of the state of the facility as a means of accompanying operational actors in taking decisions to enhance facility management: any choice proposed via this SIAD instrument may be justified by technical or strategic arguments that fall under control of the IS. The various information processing phases laid out in SINERGIE have been illustrated for road applications.

* **AUTEUR À CONTACTER :**

Jacky MONTMAIN*
jacky.montmain@ema.fr

INTRODUCTION

Le ministère français de l'Équipement coordonne des projets de recherche concernant le domaine des infrastructures du génie civil, notamment dans le cadre des projets du Réseau génie civil et urbain (RGC&U). Le deuxième point de l'appel à projets de recherche et d'innovation 2005, orga-

nisé par l'Agence nationale de la recherche, intitulé « conservation et évaluation du patrimoine existant » indique clairement que l'aide à la décision et le développement du patrimoine sont des domaines importants de recherche et développement (R&D). Divers promoteurs de cet axe de recherche envisagent une démarche selon trois logiques distinctes et complémentaires : la logique de mesure, la logique de l'évaluation et la logique de la décision. Les acteurs de l'auscultation et de l'instrumentation (chercheurs ou praticiens) souhaitent disposer de techniques efficaces pour détecter, qualifier et quantifier l'état des matériaux et leurs défauts. L'expert qui, en appui technique du maître d'ouvrage, doit, d'une part, définir les stratégies d'instrumentation et d'auscultation et, d'autre part, fournir un diagnostic, souhaite disposer de données et de procédures efficaces pour établir un diagnostic fiable de l'ouvrage. Le maître d'ouvrage doit s'assurer que l'ouvrage remplit ses fonctions au meilleur coût, dans le cadre d'exploitation prévu, et disposer d'éléments fiables lui permettant de prendre des décisions relatives à l'entretien et à la maintenance, voire au renforcement de l'ouvrage. Ces différents acteurs interviennent successivement à trois niveaux : mesure, évaluation, décision.

La société ESCOTA s'est dotée depuis de nombreuses années d'une structure et de compétences permettant de traiter les trois aspects. Concernant la mesure et l'évaluation de l'état de son infrastructure, un réseau autoroutier de 460 kilomètres de long, comportant 818 ouvrages d'art, 40 tunnels et 871 bâtiments, les districts au niveau du territoire et les divers services de la direction de l'Exploitation d'ESCOTA s'emploient à ce que l'état des connaissances relatives aux éléments du patrimoine soit régulièrement mis à jour. Concernant les aspects de recherche en logique de la décision, c'est en 2004 que la société ESCOTA a décidé de se doter d'un système informatisé d'aide à la décision, SINERGIE, fondé sur une volonté de transparence dans les décisions, de responsabilisation de ses personnels à chaque niveau d'intervention et de justification de sa logique décisionnelle dans un contexte multicritère et multi-acteur [1, 2].

PROCESSUS DÉCISIONNEL DE MAINTENANCE ET DE GESTION DU PATRIMOINE D'INFRASTRUCTURES DE LA SOCIÉTÉ ESCOTA

■ La société ESCOTA

Le 17 janvier 1956, la première société d'économie mixte concessionnaire d'autoroute en France a été créée : la société de l'autoroute Esterel Côte d'Azur (ESCOTA), aujourd'hui filiale d'ASF, dont le réseau est présenté sur la [figure 1](#).

figure 1
Le réseau ESCOTA.



■ Les éléments du patrimoine et les opérations

Gérer le patrimoine signifie assurer la pérennité du patrimoine et préserver son niveau de qualité pour offrir aux usagers un niveau de service élevé en termes de sécurité et de confort. Cette gestion se traduit par une surveillance attentive et la réalisation d'entretiens, d'améliorations et de mises à niveau des éléments de patrimoine (EP). Tout EP est rattaché à un « domaine de gestion du patrimoine ».

Les six domaines de gestion du patrimoine sont :

1. les bâtiments ;
2. les chaussées, les clôtures, la signalisation horizontale, la surveillance des talus ;
3. la lutte contre l'incendie, le débroussaillage, la signalisation verticale ;
4. les ouvrages d'art, tunnels et murs de soutènement ;
5. l'environnement, les bassins, les plantations, l'assainissement, les dispositifs de retenue ;
6. le système d'information géographique.

Chaque domaine est placé sous la responsabilité d'un expert. Les activités des experts sont coordonnées par le responsable de l'infrastructure.

On précise d'abord la signification de quelques termes et expressions.

Élément du patrimoine (EP) : c'est un ouvrage, un bâtiment, etc. à un point routier (PR) donné ou bien une zone définie par un intervalle de points routiers.

Exemples : la chaussée entre les points routiers 145 et 157 (entre les échangeurs des Adrets et de Mandelieu), le tunnel de Pessicard au point routier 196, etc.

Opération (OP) : une opération est la description de travaux d'entretien, d'amélioration ou de mise à niveau, à réaliser sur un ou plusieurs éléments du patrimoine. Elle est rattachée à un domaine de gestion de patrimoine.

Niveaux d'urgence et de priorité : l'évaluation des OP relève d'analyses de risques. Sur la base de données techniques, l'expert métier effectue une analyse de risque technique et associe à chaque OP un niveau d'urgence. Le responsable de l'infrastructure effectue ensuite une analyse de risque stratégique qui associe un degré de priorité à l'OP.

La gestion et la planification des *opérations* constituent une tâche complexe pour les décideurs qui doivent faire face à une masse importante d'informations. Les décideurs ont besoin d'avoir une vision globale du patrimoine en termes d'objectifs et de contraintes, c'est-à-dire de disposer d'une évaluation continue de l'état du patrimoine dans un contexte d'exploitation dynamique. Il a donc été décidé de mettre en place un système informatique pour aider à la définition et au déploiement d'une stratégie de gestion optimisée du patrimoine reposant sur une évaluation continue de l'état des EP, de l'urgence et de la priorité des opérations induites. Le décideur doit prendre en compte plusieurs aspects dans la décision : les techniques à utiliser, la réglementation en vigueur, l'impact sur la sécurité des usagers et le coût de l'opération, le tout dans un contexte sociétal évolutif. Le problème d'aide à la décision d'ESCOTA est donc fondamentalement multicritère selon les dimensions technique, réglementaire, sécuritaire et financière.

■ Problématique de la décision en organisation

Le processus décisionnel impliqué dans la gestion du patrimoine d'ESCOTA présente toutes les caractéristiques de la décision en organisation telles que décrites par l'économiste H.A. Simon [3].

Les fondements de sa théorie reposent sur les remarques suivantes :

1. Le décideur ne possède pas en fait une connaissance totale de la situation, d'où le terme de « rationalité limitée » introduit par H.A. Simon. Les limitations de cette connaissance des faits et hypothèses provient principalement des contraintes de l'organisation qui sélectionne ou favorise tel ou tel scénario en fonction de ses intérêts [4].

2. La capacité limitée de l'homme à traiter l'ensemble des flux d'informations imprécises, incertaines, incomplètes voire contradictoires, nécessaires à la décision, semble montrer qu'une aide à la décision efficace relève de la performance des systèmes de traitement de l'information [5].

3. Toujours selon le modèle de rationalité limitée de Simon, le décideur est naturellement tenté de s'orienter vers une approche monocritère, occultant la prise en compte de la complexité de la réalité. L'approche multicritère de l'aide à la décision permet de pallier cette restriction en augmentant le niveau de réalisme et de lisibilité donné au décideur [6].

4. Les différentes phases de la décision ne se présentent pas de façon linéaire, mais en boucles. De nombreuses itérations sont nécessaires, au vu de la faible capacité de traitement de l'information des hommes et de la complexité des problèmes de décision, avant qu'un terme puisse être apporté au processus de décision. Phases de renseignement (Intelligence), de conception (Design), de sélection (Choice) et de révision (Review) se succèdent sans logique chronologique préétablie possible, selon le modèle IDCR de H.A. Simon [4, 5] (figure 2). Une interprétation cybernétique du modèle IDCR a été donnée dans [1].

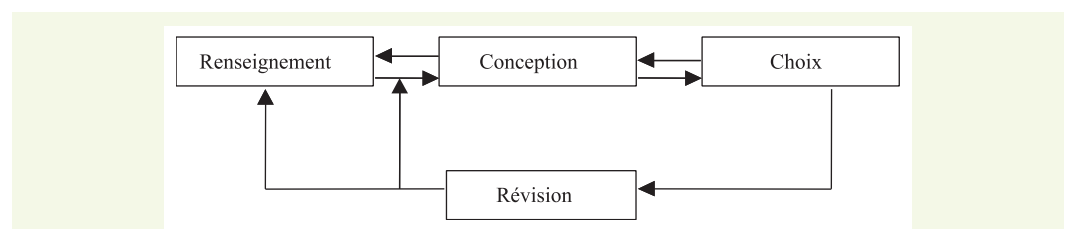
La gestion du patrimoine chez ESCOTA relève de cette catégorie de processus décisionnels et cette analyse justifie les choix techniques qui ont été faits. Ainsi, SINERGIE doit permettre :

- le décloisonnement des acteurs des logiques de mesure, d'évaluation et de décision, qui nuit à l'établissement des priorités d'intervention des opérations en assurant le partage et la remontée de l'information ;
- la gestion informatisée de l'ensemble des données relatives à l'état du patrimoine et leur traitement automatisé en vue de la programmation d'opérations ;
- la prise en compte des multiples critères d'évaluation propres à chaque domaine d'expertise, à chaque niveau fonctionnel de l'exploitation ;
- la répétition des phases de mesure ou d'évaluation lorsque le décideur requiert un complément d'information ou une validation d'expertise suite à l'identification d'un point sensible, imprécis ou incomplet dans le dossier d'une opération.

Le traitement de l'information, son acquisition et son partage sont donc au cœur de la solution développée et l'approche choisie par ESCOTA s'inscrit, par là, totalement dans la lignée du modèle de Simon. Une attention toute particulière est portée à l'aspect multicritère de l'évaluation de l'état du patrimoine, de l'urgence et de la priorité des opérations afférentes. Sur la base d'une analyse de sensibilité de l'évaluation multicritère, il sera alors possible de fournir une trace de la logique des décisions relatives à la politique de gestion du patrimoine sur la base des éléments techniques, réglementaires, sécuritaires et financiers gérés par le système d'information.

figure 2

Le modèle IDCR de Simon.



■ Les étapes de la démarche : mesure, évaluation et décision

➤ La logique de mesure : la détection de symptômes

Le suivi du patrimoine est réalisé de façon périodique : des inspections détaillées périodiques (idp) sont réalisées tous les 3, 5 ou 6 ans en fonction du niveau de surveillance de chaque EP.

Ces inspections permettent la détection de symptômes de dégradation ou d'anomalie sur un EP. Des comptes-rendus d'inspection sur les éléments de patrimoine sont transmis aux experts métiers, qui sont les responsables des divers domaines d'intervention. Pour les ouvrages d'art (OA), par exemple, une méthode d'évaluation normalisée par le SETRA est utilisée pour les visites annuelles et pluriannuelles : la méthode IQOA [7]. Son objectif est de synthétiser les constats en vue d'améliorer la maintenance.

Les inspections périodiques sont ainsi des bilans de santé, qui fournissent une évaluation globale et synthétique de l'état des EP inspectés. Dans la méthode IQOA, par exemple, un score partiel caractérisant quantitativement la gravité d'un symptôme est attribué selon une échelle de valeurs propre à la méthode d'évaluation (**tableau 1**). Ensuite, un score global, synthèse de l'état de l'OA, qui correspond à la fusion des différents scores partiels relevés, est affecté à l'OA.

tableau 1
Définition des classes
IQOA.

Classe IQOA	Signification
Classe 1	Ouvrage en bon état relevant de l'entretien courant au sens de l'instruction technique sur la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art.
Classe 2	Ouvrage dont la structure est en bon état apparent, mais dont les équipements ou les éléments de protection présentent des défauts, ou dont la structure présente des défauts mineurs, et qui nécessite un entretien spécialisé sans caractère d'urgence.
Classe 2E	Ouvrage dont la structure est en bon état apparent, mais dont les équipements ou les éléments de protection présentent des défauts, ou dont la structure présente des défauts mineurs, et qui nécessite un entretien spécialisé urgent, pour prévenir le développement rapide de désordres dans la structure et son classement ultérieur en 3.
Classe 3	Ouvrage dont la structure est altérée et qui nécessite des travaux de réparation mais sans caractère d'urgence.
Classe 3U	Ouvrage dont la structure est gravement altérée, et qui nécessite des travaux de réparation urgents liés à l'insuffisance de capacité portant de l'ouvrage ou à la rapidité d'évolution des désordres pouvant y conduire à brève échéance.

Les niveaux de gravité quantifiés des différents symptômes relevés sur un EP sont donc agrégés via un opérateur normalisé qui dépend du domaine de gestion de patrimoine : moyenne pondérée normalisée par le CETE Méditerranée pour les chaussées, agrégation par opérateur *Max* pour la méthode IQOA du SETRA pour les ouvrages d'art [7] (**tableau 1**). La notion d'agrégation fait l'objet de développements spécifiques (*cf.* ci-dessous).

*Exemple 1 : Prenons l'exemple de la visite d'un mur de soutènement dans un état général « moyen » avec une coulure sur le parement. Les notes selon les quatre grandes parties d'ouvrage pourraient être celles du **tableau 2**. La note IQOA, le score global, est $\max(1, 1, 2, 2E) = 2E$ (**tableau 2**).*

tableau 2
Évaluations partielles et
note IQOA.

Partie d'ouvrage	Note
Zone d'influence	1
Équipements	1
Drainage	2
Structure	2E
NOTE IQOA	2E

Exemple 2 : Les indices de qualité des bilans de santé pour les chaussées sont définis dans le **tableau 3**.

tableau 3
Indices des bilans de santé pour les chaussées.

Désignation	Indice
Indice de dégradation de surface	SURF
Indice de dégradation structurelle	STRU
Indice de qualité structurelle	IESC

Ces indices sont calculés à l'aide d'une moyenne pondérée sur un ensemble de mesures relevées lors des bilans de santé comme l'adhérence, la macro-texture, les fissures, l'orniérage, etc. Ils constituent des indicateurs de l'état des chaussées.

En conclusion, en termes de logique de mesure, lorsqu'un score global est affecté à un EP pour caractériser son état :

- celui-ci est le résultat de l'agrégation des niveaux de gravité quantifiés des différents symptômes relevés sur l'EP ;
- l'opérateur d'agrégation utilisé relève d'une norme imposée par un organisme extérieur, selon une méthode d'évaluation standard.

Chez ESCOTA, le suivi préventif des structures a été initié par un point zéro des EP, puis par la mise en place d'inspections périodiques [8].

› La logique d'évaluation : expertise et urgences d'intervention

Les experts métiers sont responsables de la gestion et de la maintenance de l'ensemble du patrimoine. Sur la base des bilans de santé des EP, ils évaluent l'état du patrimoine en fonction de critères d'urgence (**figure 3**) pour lesquels des échelles de valeur sont définies au préalable (**tableau 4**). ESCOTA définit trois niveaux d'urgence possibles pour les opérations, indépendamment du domaine d'expertise (**tableau 4**).

L'appréciation de l'urgence est une interprétation des bilans de santé en fonction de critères propres au métier de l'expert, mais aussi relativement aux caractéristiques de l'environnement et à la localisation de l'EP. Elle correspond à une analyse de risque technique et permet à un expert métier d'attribuer un degré d'urgence à toute opération concernant son domaine.

figure 3
Les critères d'urgence pour les chaussées.

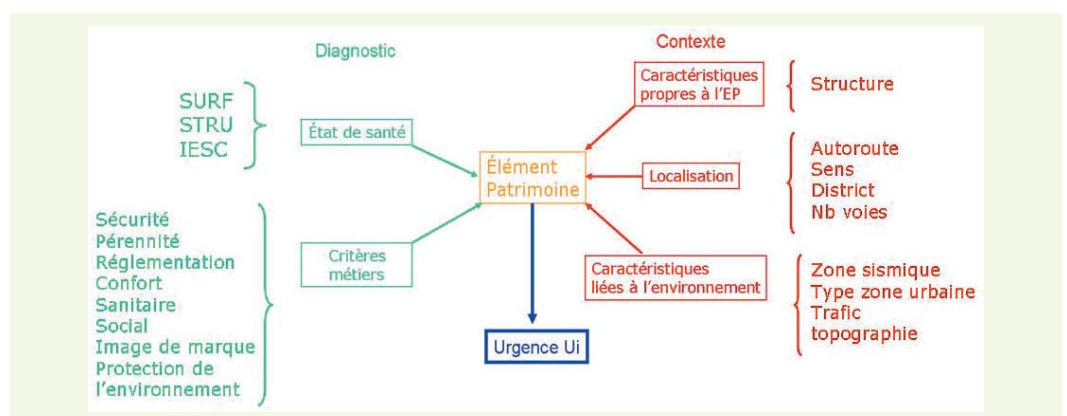


tableau 4
Les niveaux d'urgence.

Niveau d'urgence	Signification
Urgence U1	Très important
Urgence U2	Moyennement important
Urgence U3	Importance faible

La **figure 4** propose un exemple d'opération d'entretien pour le domaine des chaussées. Pour des raisons de confidentialité, les noms et données apparaissant dans l'exemple utilisé tout au long de cet article sont fictives (A808, PR 1, 2, etc.).

Les scores partiels (**tableau 4**) attribués selon les critères du domaine des chaussées expriment l'interprétation que l'expert fait du bilan de santé et des données de contexte relativement à ces critères métiers (**figure 5**). Il s'agit d'une analyse de risque technique resituée dans un contexte d'exploitation donné. Sur cet exemple, la chaussée A808 entre les points kilométriques 1 et 2 présente une fissuration longitudinale qui a évolué depuis le dernier bilan de santé. En fonction des informations disponibles sur cette portion de chaussée (**figure 4**), l'expert attribue un score d'urgence selon chaque critère métier et a la possibilité de justifier son intention en langue naturelle dans une fenêtre associée (**figure 5**). Il s'avère ici que la réfection de la couche de roulement est urgente car il s'agit

figure 4
Un exemple d'opération d'entretien.

Opération exemple entretien

» enregistrée le 25/08/2006

Nature de l'opération

Réparations ponctuelles de surface

Description des désordres : A la suite d'une étude particulière démontrant les états de structure et de surface corrects, un entretien est programmé en 2008 par la mise en oeuvre d'un BBTM, sous réserve de l'évolution des caractéristiques de surface

Technique de réparation : Reprofilage et amélioration de l'adhérence + colmatage de fissuration.

Budget : Entretien Infrastructure

Origine : Diagnostic

figure 5
Exemple d'évaluation en urgence.

Fiche d'urgence pour l'A808 km 1 et 2

Titre :

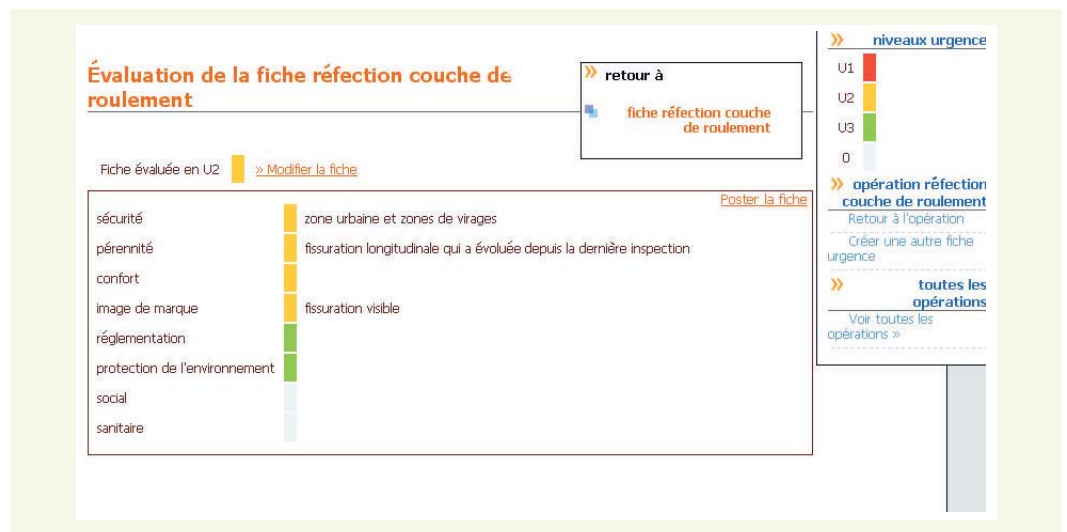
Description :

Critère	U1	U2	U3	0	Commentaires
sécurité :	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text" value="zone urbaine et zones de virages"/>
pérennité :	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text" value="fissuration longitudinale qui a évol"/>
image de marque :	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text" value="fissuration visible"/>
confort :	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>
protection de l'environnement :	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>
réglementation :	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="text"/>
social :	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="text"/>
sanitaire :	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="text"/>
montant estimé (k€) :	<input type="text" value="0.0"/>				

d'une zone comprenant des virages avec un trafic important (zone urbaine). La *sécurité* pourrait donc être menacée. L'état de santé de la chaussée est analysé, sur le plan purement technique, par le biais des indices de dégradation de surface (SURF), de structure (STRU) et de qualité structurale (IESC). Ce diagnostic n'affecte pas la *pérennité* de la chaussée en l'état des choses, mais une réparation rapide permettra d'anticiper sur toute évolution plus grave. Enfin, il n'y a aucune incidence sur les aspects *sanitaire et social*.

En termes d'interface, on retrouve les scores partiels de la fiche de saisie de la **figure 5** sur la fiche d'évaluation de l'opération générée par SINERGIE (**figure 6**). Les scores sont exprimés dans un code de couleur (U_1 rouge, U_2 jaune, U_3 vert et 0 gris). Le degré d'urgence global attribué à cette opération est le résultat de l'agrégation des scores partiels attribués aux critères de la **figure 5** : l'opération « *chaussée A808 entre les points kilométriques 1 et 2* » est classée en niveau d'urgence U_2 . On reviendra sur le calcul de cette valeur agrégée.

figure 6
Une fiche d'évaluation en urgence U_2



› La logique de décision : stratégie et priorités d'intervention

Les urgences U_i relatives à chaque opération sont ensuite soumises à une validation par le responsable de l'infrastructure, qui évalue les priorités d'intervention en fonction de critères de priorité : sécurité des usagers et des EP, engagement de la société (vis-à-vis de l'État), contraintes d'exploitation, etc. Ce responsable contrôle l'ensemble des domaines de l'exploitation et a donc un rôle d'arbitre. Les critères sont associés à des échelles de valeurs normalisées ; trois niveaux de priorité sont définis pour les opérations (**tableau 5**).

Une opération d'urgence U_i est évaluée en termes de priorité d'intervention P_j . Cette évaluation se fait en fonction des critères de priorité : ceux-ci expriment le point de vue du responsable sur les opérations au niveau de la stratégie de gestion du patrimoine d'ESCOTA. C'est une analyse de risque stratégique : l'opération est évaluée selon chaque critère en termes de retour sur investissement ; il s'agit donc d'évaluer le risque à faire ou ne pas faire l'opération en fonction de chaque critère. En effet, lors de l'évaluation d'une opération concernant par exemple une chaussée, on évalue le risque à faire ou ne pas faire l'opération en termes de sécurité, d'exploitation de l'autoroute (possibilité de neutraliser une voie, pendant quelles tranches horaires, etc.), ou en termes financiers [9]. Retarder une opération de maintenance peut conduire ultérieurement à une opération plus lourde et donc plus onéreuse.

tableau 5
Les niveaux de priorité d'intervention.

Niveau de Priorité	Signification
Priorité P1	Risque fort
Priorité P2	Risque moyen
Priorité P3	Risque faible



figure 7
Fiches d'évaluation en priorité.
a. Fiche de saisie.
b. Fiche de synthèse.

De plus, ce niveau d'évaluation s'exerce sur l'ensemble des métiers représentés dans le service de gestion de patrimoine infrastructure : il faut évaluer les urgences signalées par chacun des experts métiers selon un référentiel unique. Les évaluations des six experts métiers doivent être rendues commensurables. On s'appuie sur la méthode MACBETH [10] pour accompagner le décideur dans cette tâche (cf. ci-dessous). Le responsable évalue et arbitre les opérations en prenant en compte les six domaines de gestion de patrimoine. Cette étape clôture l'analyse de risque au niveau de la stratégie de l'entreprise. Le responsable peut alors mettre en place une planification des opérations ainsi évaluées par ordre de priorité et proposer des programmes pluriannuels.

Pour l'exemple « chaussée A808 entre les points kilométriques 1 et 2 », le responsable consulte la fiche d'évaluation en urgence faite par l'expert (figure 7). La figure 7a représente l'interface de saisie des priorités partielles attribuées par le décideur à l'opération selon chacune des dimensions de son analyse de risque stratégique. Après agrégation de ces évaluations partielles, l'opération sera finalement classée P2. La figure 7b est la fiche de synthèse de l'opération évaluée en priorité.

> Synthèse

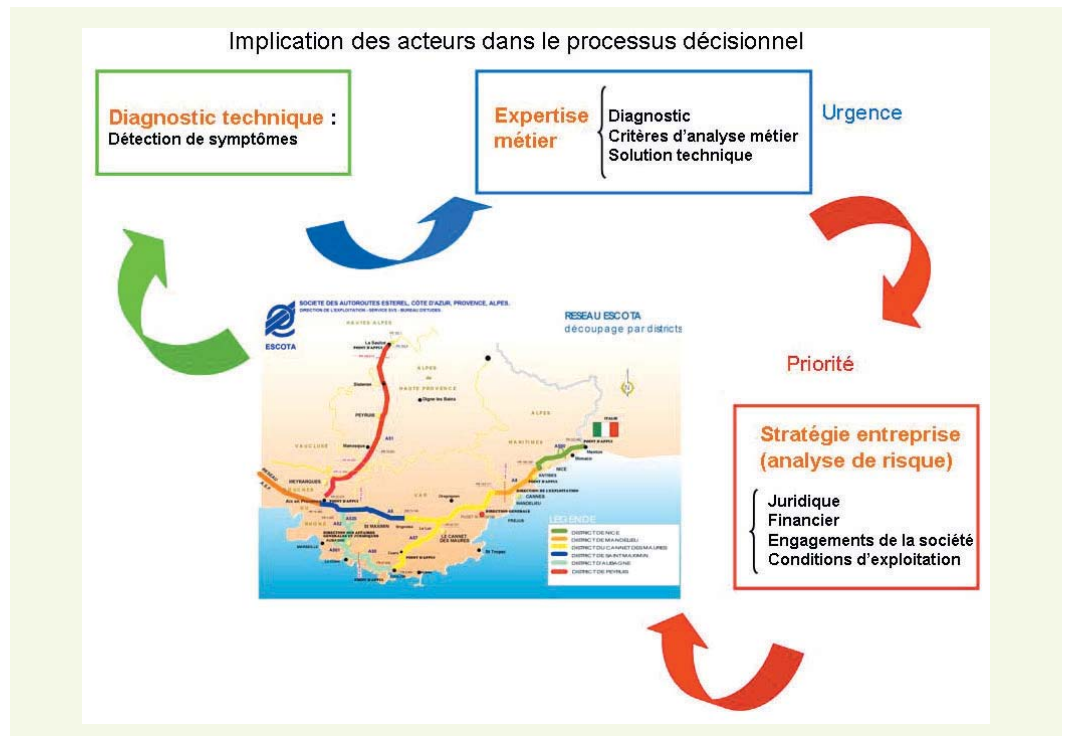
Les trois niveaux d'évaluation décrits ci-dessus correspondent aux trois logiques indiquées dans l'appel à projets de recherche et d'innovation 2005 mentionné en introduction :

- la logique de mesure pour la détection de symptômes ;
- la logique d'évaluation pour les urgences d'intervention ;
- la logique de décision pour les priorités d'intervention.

La figure 8 résume l'enchaînement des étapes constituant de la logique de décision. Elle fait apparaître les dimensions nouvelles d'analyse apportées à chaque niveau hiérarchique du processus de décision, de la mesure jusqu'à la planification. L'apport et l'interprétation des informations à chaque niveau fonctionnel enrichissent le contenu décisionnel du flux d'informations. Une décision ne se prend jamais sur l'information brute, mais sur l'interprétation que l'on en fait dans un contexte et à un niveau fonctionnel donné.

Même si, en dernier ressort, la décision finale (dans ce cas, il s'agit de décider d'effectuer une opération) incombe à un individu clairement identifié, ici le responsable, celle-ci doit résulter de la gestion contrôlée des interactions entre tous les acteurs du processus décisionnel : du processus d'évaluation du bilan de santé à la programmation de l'opération. Les intervenants dans la gestion

figure 8
Une décision multicritère
hiérarchisée.



du patrimoine, c'est-à-dire les inspecteurs, les experts et le responsable, conditionnent directement la décision en fonction des informations dont ils disposent et chacun, selon sa fonction, ses responsabilités, son expérience et son savoir-faire, peut les interpréter différemment. Ces intervenants sont indissociables du processus de décision car ils sont les seuls capables d'apprécier la diversité et la complexité des données. Le logiciel SINERGIE doit donc en premier lieu encourager le partage de l'information et supporter le processus d'évaluation collective.

OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION : SINERGIE

■ La solution technique SINERGIE

Le développement de l'outil d'aide à la décision SINERGIE (Système INteractif d'Évaluation pour le Renouvellement et la Gestion de l'Infrastructure d'Escota) constitue une évolution significative du fonctionnement de la gestion du patrimoine.

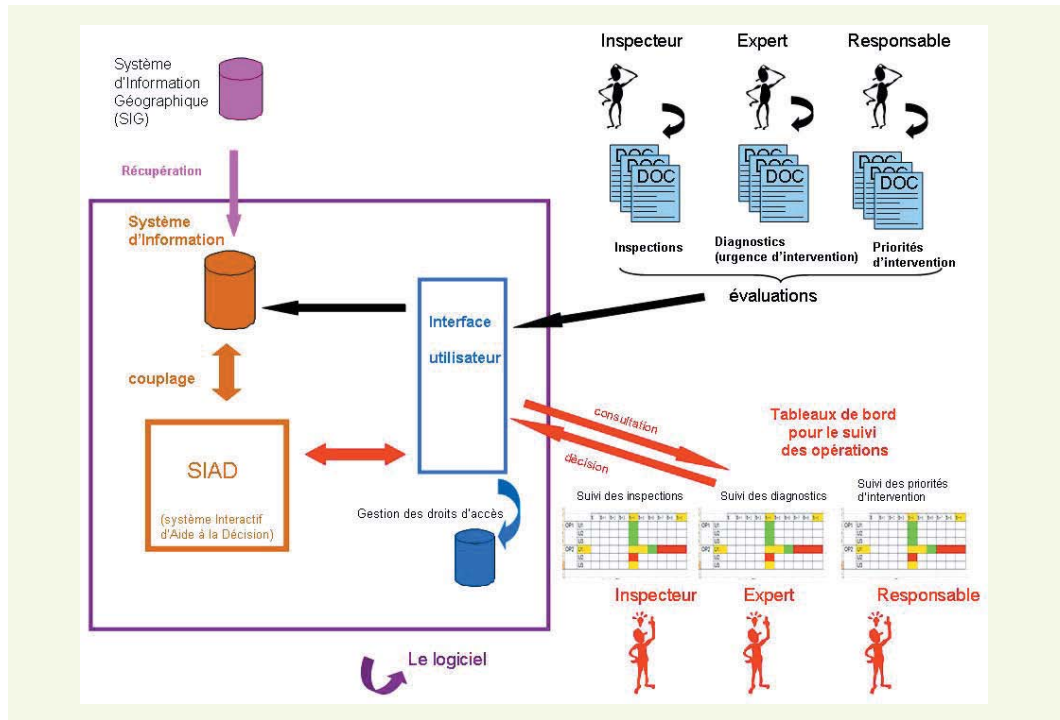
SINERGIE comprend la mise en œuvre :

- d'un système d'information (SI) gérant l'ensemble des informations disponibles sur le patrimoine et destiné à devenir la mémoire de la gestion du patrimoine à ESCOTA ;
- d'un système interactif d'aide à la décision (SIAD) supportant le processus d'évaluation multicritère hiérarchisée et assurant le suivi du patrimoine.

SINERGIE est un outil (figure 9) :

- de mémorisation et de partage des connaissances car il comprend l'état 0 des EP, ainsi que les données de localisation, de trafic, de zone urbaine, de zone sismique et de topologie ;
- d'accompagnement pour l'analyse de risque lors des évaluations des urgences et des priorités d'intervention. L'analyse de risque relève d'un diagnostic pour les inspecteurs, de l'expertise technique pour l'expert, et se situe au niveau de la stratégie d'entreprise pour le responsable ;
- de suivi des évaluations en urgence et priorité affectées aux opérations ;
- d'archivage proposant l'historique de l'état des EP, des opérations, des bilans de santé ;

figure 9
Le logiciel SINERGIE.

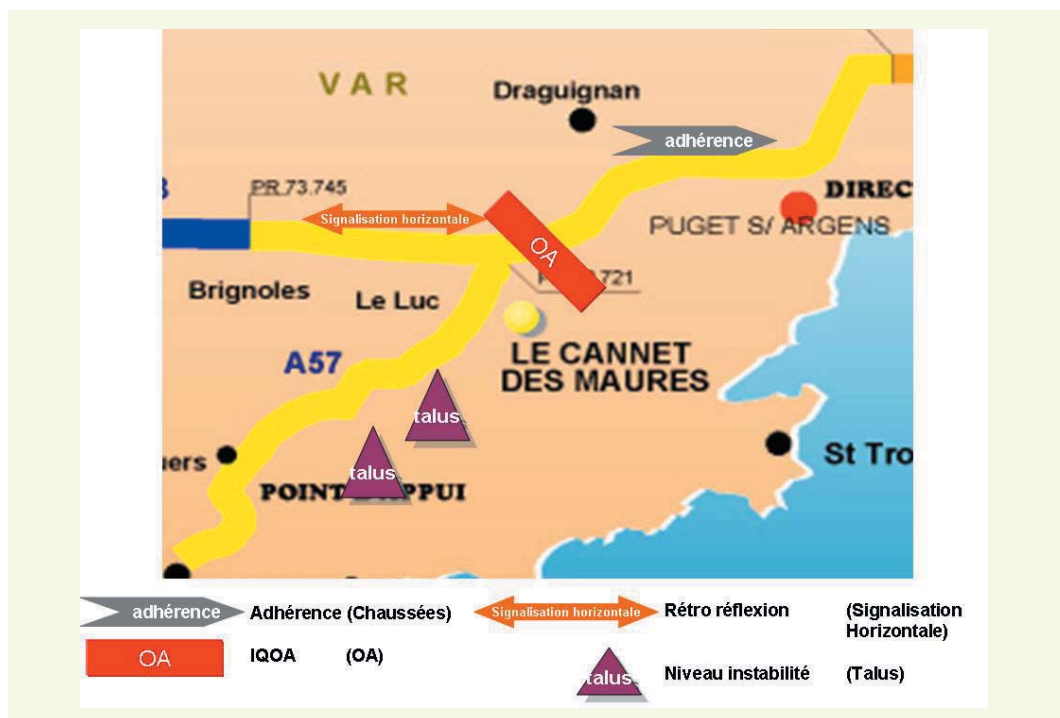


- de supervision car il fournit une représentation synthétique de l'état du patrimoine à un instant donné sous la forme d'une carte synoptique ;
- d'aide à la justification en permettant d'identifier les dimensions déterminantes de l'analyse de risque hiérarchisée qui ont conduit à l'évaluation de la priorité d'une opération.

■ La consultation de l'état du patrimoine

SINERGIE permet de connaître à tout moment l'état du patrimoine autoroutier. En effet, pour tout EP, sont accessibles : les bilans de santé, les opérations réalisées ou à réaliser. De plus, une carte synoptique permet de visualiser les dépassements de seuils utilisés dans les bilans de santé des EP (figure 10).

figure 10
Carte synoptique sur le district du Cannet des Maures.



■ Évaluation et agrégation multicritères

Les notions d'*échelles de notation* (gravité, urgence et priorité) et d'*agrégation multicritère* ont déjà été présentées. Ces deux notions fondamentales dans le processus qui attribue une urgence et une priorité à une opération méritent néanmoins quelques précisions pour être employées à bon escient dans cette évaluation multicritère hiérarchisée.

› Échelles de notations

Avant de procéder à l'agrégation multicritère qui permet de calculer l'urgence et la priorité d'une opération, il faut procéder à quelques vérifications concernant la nature des échelles des évaluations. Cette vérification est nécessaire pour garantir la cohérence logique du processus d'évaluation. Trop souvent, dans la pratique, il est fait usage de techniques d'agrégation, généralement avec une moyenne pondérée, alors que l'on ne dispose que d'informations ordinales concernant l'évaluation des alternatives. Pour ce travail préparatoire, on utilise la méthode MACBETH [10]. Précisons quelques notions fondamentales, pour mieux comprendre l'écueil des échelles d'évaluation.

Soit un ensemble fini d'éléments X . On dit qu'on a une information ordinale lorsqu'on est capable de ranger les éléments X par satisfaction décroissante. Disposer d'une information ordinale sur les préférences des éléments de X signifie qu'on peut associer un nombre $n(x)$ à tout élément x de X satisfaisant les conditions :

$$\forall x, y \in X : [xPy \Leftrightarrow n(x) > n(y)] \quad (1)$$

et

$$\forall x, y \in X : [xIy \Leftrightarrow n(x) = n(y)] \quad (2)$$

où la relation P « est plus attractif que » est asymétrique et non transitive et la relation I « est aussi attractif que » est une relation d'équivalence. Un exemple pour $n(x)$ est de prendre le nombre d'éléments de X rangés après x . $n(x)$ définit une échelle ordinale. On remarque que cette procédure ne permet pas de définir de manière unique les valeurs de $n(x)$.

Sur la base de cette information ordinale, il peut être possible de construire une échelle d'intervalle en recueillant sous forme de différences les intensités de préférences entre les éléments de X :

$$n(x) - n(y) = k\alpha, k \in \mathbb{N}, \quad (3)$$

où k caractérise l'intensité de préférence et α permet de respecter les bornes du domaine (par exemple $[0,1]$). L'échelle d'intervalle est obtenue par résolution d'un système d'équations de type (1), (2) et (3) complétées par la comparaison des expressions aux valeurs extrêmes 0 et 1 du domaine $[0,1]$: $1 - n(x) = k\alpha$ et $n(x) - 0 = k\alpha$.

La méthode MACBETH est utilisée pour la construction d'une échelle d'intervalle quantifiant les jugements de valeur qu'une personne peut émettre à propos des éléments d'un ensemble fini. Ici, il s'agit de vérifier que les experts métiers et le responsable d'exploitation utilisent bien des échelles d'intervalle pour leurs cotations en urgence et en priorité. MACBETH propose un mode de questionnement fondé sur l'expression de jugements sur la différence d'attractivité pouvant exister entre deux éléments quelconques de X . Ce principe est d'ailleurs à l'origine du nom MACBETH : Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique. Par exemple, on interrogera l'expert métier en charge du domaine « Chaussées » sur la différence d'intensité qui existe, en terme d'urgence relativement au critère « sécurité », entre deux opérations OP_1 et OP_2 de maintenance relatives à deux portions de chaussée. Cette procédure est effectuée sur un ensemble d'opérations comparées deux à deux (une base d'apprentissage) pour identifier l'échelle utilisée par l'expert.

Dans cette application, la méthode MACBETH est donc utilisée pour identifier l'échelle cardinale associée à chaque critère d'évaluation en urgence et en priorité. Elle permet de guider les experts métiers et le responsable d'exploitation dans la construction de leur échelle d'évaluation cardinale.

Par ailleurs, il est à noter que l'obtention d'une information cardinale sur les intensités de préférence des critères doit être cohérente avec la méthode d'agrégation. La méthode MACBETH « classique » garantit cette cohérence lorsque l'agrégation est une moyenne pondérée. Elle a été étendue plus récemment à un opérateur d'agrégation modélisant l'interaction entre les critères [11].

› Agrégation multicritère

L'un des problèmes d'aide à la décision multicritère est d'arriver à classer les solutions (ici les opérations en termes d'urgence et de priorité) en prenant en compte tous les critères. Outre l'agrégation sur les indicateurs de symptômes, où l'opérateur d'agrégation est imposé par les partenaires institutionnels (l'opérateur *Max* pour l'IQOA pour les ouvrages d'art, la moyenne pondérée par le CETE pour les chaussées), il reste à définir, d'une part, les opérateurs d'agrégation des experts métiers pour calculer le degré global d'urgence associé à une opération et, d'autre part, les opérateurs d'agrégation du responsable de service pour évaluer le degré global de priorité d'une opération.

Dans l'approche cardinale, il s'agit de construire une fonction $h : [0,1]^p \rightarrow [0,1]$ telle que pour chaque opération OP^k décrite par ses évaluations partielles (u_1^k, \dots, u_p^k) : $h(OP^k) = h(u_1^k, \dots, u_p^k)$ où $h(OP^k)$ représente l'évaluation globale de l'opération OP^k relativement aux p critères et où u_i^k est l'évaluation partielle de OP^k selon le critère i .

On appelle opérateur cette fonction h . Divers opérateurs permettent d'exprimer la satisfaction simultanée d'objectifs (attitude de conjonction du décideur ; ex : $h(u_1, u_2, \dots, u_p) = \prod_{i=1}^p (u_i)$), la redondance (attitude de disjonction ; ex : $h(u_1, u_2, \dots, u_p) = 1 - \prod_{i=1}^p (1 - u_i)$), le compromis (on trouve parmi ces derniers opérateurs les moyennes arithmétiques, géométriques ou harmoniques).

L'identification de l'opérateur h peut être décomposée en deux étapes. On peut cerner le comportement du décideur en lui demandant de fournir une appréciation linguistique du niveau de compatibilité entre conséquence et objectif sur un ensemble réduit d'actions. Il est alors possible de déterminer rapidement le type d'agrégation à employer : conjonction, compromis ou disjonction. Une fois reconnue l'une des trois précédentes attitudes fondamentales possibles du décideur, on peut utiliser des familles de fonctions paramétrées pour affiner la détermination de l'opérateur d'agrégation : le choix de h est alors ramené à un problème d'identification paramétrique [12-14]. Cependant, dans les opérateurs ci-avant, les critères jouent un rôle symétrique. Dans nombre de ces cas pratiques, il peut être nécessaire d'introduire la notion d'importance relative des critères (IRC).

La notion d'IRC conduit naturellement à introduire des distributions de poids sur les critères dans le cadre du formalisme précédent en généralisant si possible les opérateurs.

Le cas le plus usuel de tels opérateurs est la moyenne pondérée :

$$\forall (u_1, u_2, \dots, u_p) \in [0,1]^p, h(u_1, u_2, \dots, u_p) = \sum_{i=1}^p p_i u_i^k \quad (4)$$

La notion de poids peut être transposée sur de nombreux opérateurs d'agrégation, dès lors que l'opération présente une structure additive sous-jacente [13]. Ainsi, lorsque h est de la forme $\Psi^{-1}(\Psi(\cdot) + \Psi(\cdot))$, une extension de l'équation précédente peut être proposée :

$$\bar{h}(u_1, u_2, \dots, u_p) = \Psi^{-1}\left(p \sum_{i=1}^p p_i \Psi(u_i)\right) \text{ où } \sum_{i=1}^p p_i = 1 \quad (5)$$

À titre d'exemple, pour le produit en posant $\psi = \text{Log}$, on obtient : $\bar{h}(u_1, u_2, \dots, u_p) = \prod_{i=1}^p (u_i)^{p p_i}$.

Dans cette application, à chaque étape de l'évaluation d'une opération (les niveaux d'urgence et les priorités) correspondent des critères relatifs au métier de chacun (experts et responsable) (cf. figure 8). L'évaluation à un niveau donné consiste alors à estimer l'intérêt de l'opération au regard de l'ensemble des critères d'analyse associés à la fonction de l'acteur de la décision : un score partiel est attribué à chacun de ces critères. Ces scores sont ensuite remontés dans la hiérarchie décisionnelle via des opérateurs d'agrégation qui permettent d'attribuer un score global à l'opération en termes d'urgence et de priorité. La notion d'importance relative des critères est primordiale dans cette application : elle permet de distinguer le rôle de chaque critère en terme de contribution marginale dans l'élaboration des évaluations globales.

Comme il s'agit davantage ici d'exposer une méthodologie que de déployer des outils mathématiques compliqués qui nuiraient à sa compréhension, on considère que les stratégies de chaque expert et du responsable présentent les seules caractéristiques suivantes :

- l'importance relative des critères est à prendre en compte ;
- la compensation entre les scores partiels est autorisée ;
- la monotonie est stricte ($u_i > u'_i \Rightarrow h(u_1, \dots, u_i, \dots, u_p) > h(u_1, \dots, u'_i, \dots, u_p)$) ;
- les critères sont indépendants.

La moyenne pondérée est un opérateur qui permet de prendre en compte ces caractéristiques. On considérera donc que les stratégies décisionnelles associées aux experts ou au responsable sont de simples moyennes pondérées. Des opérateurs plus complexes pour modéliser en particulier l'interaction entre les critères ont été utilisés à des fins équivalentes dans [1]. L'identification des poids pour chacun des opérateurs d'agrégation peut être obtenue dans ce cas à l'aide de la version « classique » de MACBETH.

L'agrégation de type moyenne pondérée modélise l'IRC à travers des coefficients normalisés (poids) qui s'interprètent comme des taux de substitution entre critères :

$$h_w(OP^k) = h_w(u_1^k, u_2^k, \dots, u_p^k) = \sum_{i=1}^p w_i u_i^k \quad (6)$$

où les u_i^k sont les scores attribués à une opération OP^k selon chacun des p critères associés à une fonction décisionnelle d'ESCOTA (experts ou responsable) et w_i le poids associé au critère i pour cette fonction. Le terme $w_i \cdot u_i^k$ est la contribution marginale du critère i à l'évaluation de OP^k .

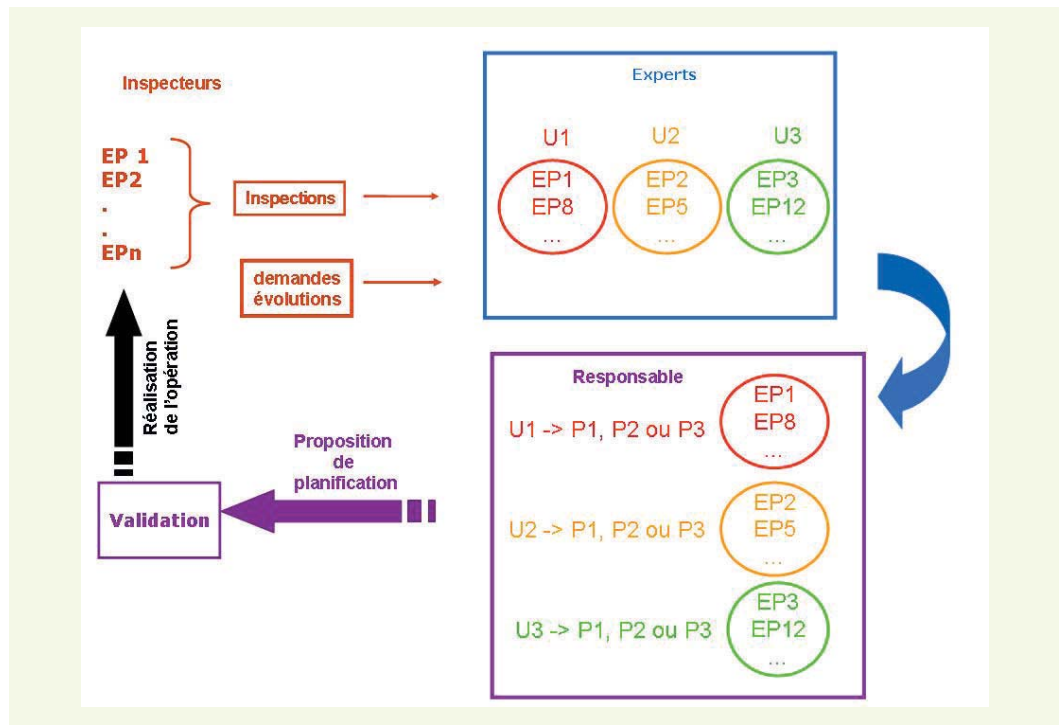
Cette notion de contribution marginale est la base de la fonctionnalité de justification de SINERGIE comme on le verra plus bas.

Pour les experts, les poids des critères sont définis au préalable et restent identiques pour toutes les évaluations. Ils dépendent du domaine d'intervention considéré et de l'expérience de l'expert. Le responsable évalue les opérations de tous les domaines d'intervention avec les mêmes critères de priorité. Toutefois, ces critères n'ont pas la même importance suivant le domaine considéré. Les poids des critères de priorité sont définis pour chaque domaine de gestion de patrimoine par le responsable. Cette opération garantit la commensurabilité des évaluations en priorité d'un domaine à l'autre.

> L'évaluation d'une opération

On considère une opération OP impliquant un ensemble d'EP $\{EP1, \dots, EPn\}$ dont la figure 11 représente le processus d'évaluation. On suppose que l'on se place dans l'un des six domaines de gestion de patrimoine.

figure 11
Processus d'évaluation
d'une opération.



- *Évaluation en urgence d'intervention*

À partir des bilans de santé et/ou des demandes des inspecteurs, l'expert responsable du domaine concerné évalue chaque EP de l'opération et y associe un score selon chaque critère d'évaluation d'urgence. Il peut éventuellement accompagner ce score d'un commentaire qui a pour objet d'expliquer les raisons de cette attribution. Chaque score partiel est exprimé dans l'espace de valeurs $\{U_1, U_2, U_3\}$. La moyenne pondérée des scores par les poids des critères définis par l'expert prend également ses valeurs dans cet espace fini pour chaque EP. On obtient trois groupes d'EP pour cette opération : les $\{U_1\}OP$, $\{U_2\}OP$ et $\{U_3\}OP$.

- *Évaluation en priorité d'intervention*

Pour chaque EP classé en U_1 , le responsable associe un score partiel exprimé dans l'espace de valeurs $\{P_1, P_2, P_3\}$ accompagné éventuellement d'un commentaire selon chaque critère de priorité à des fins argumentatives. La moyenne pondérée des scores par les poids des critères définis par le responsable prend également ses valeurs dans l'espace $\{P_1, P_2, P_3\}$ (figure 11). Le responsable procède de même pour les EP classés en U_2 et U_3 . On obtient ainsi trois groupes d'EP classées en P_1, P_2 ou P_3 .

On remarque qu'il est possible par exemple d'avoir trois EP classés respectivement en U_1, U_2 et U_3 qui seront évalués respectivement en P_1, P_1 et P_2 . En effet, les échelles d'urgence et de priorité sont indépendantes car elles ne relèvent pas des mêmes préoccupations.

■ Le suivi des évaluations

Cette fonctionnalité propose différents outils pour suivre l'évaluation des opérations en urgence et priorité. Un tableau de bord permet, non seulement d'avoir une vision globale des opérations en cours ou à venir sur l'ensemble du patrimoine, mais également de voir leur évolution. Un exemple de tableau de bord de suivi des évaluations en urgence d'intervention est présenté sur la figure 12.

- *Le tableau de bord*

Le tableau de bord représenté sur la figure 12 (en haut à gauche) synthétise les évaluations des opérations en cours. On a, pour chaque opération (ici OP_1 et OP_2), le nombre d'EP classés en urgence U_1, U_2 et U_3 sur plusieurs années, l'année courante étant t_{i+4} dans notre exemple.

Évaluation des diagnostics U_i

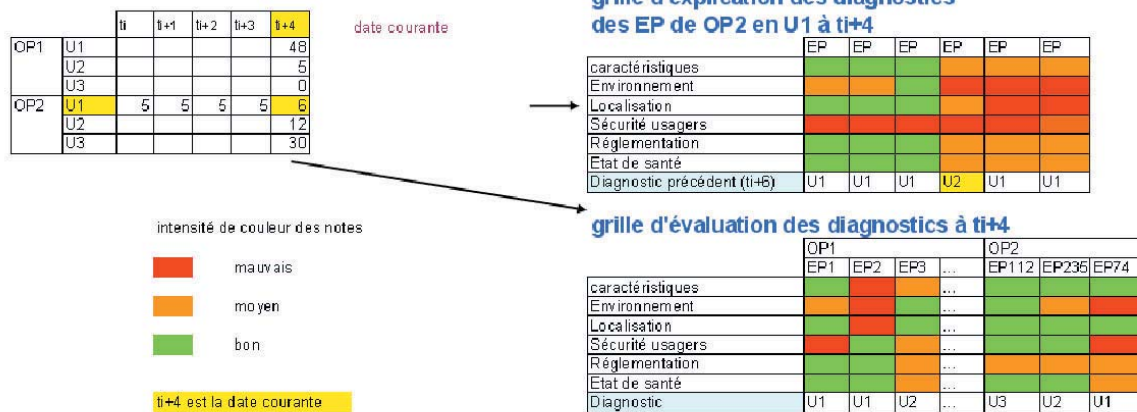


figure 12

Exemple de suivi des évaluations en urgence d'intervention.

La grille d'évaluation : affichage des urgences à une date t .

La figure 12 (en bas à droite) représente les évaluations des EP des opérations OP_1 et OP_2 à la date t_{i+4} . Cette grille présente la fiche d'urgence de chaque EP : on visualise les notes sur chaque critère où on a représenté les valeurs $\{U_3, U_2, U_1\}$ respectivement par les couleurs verte, jaune et rouge pour plus de lisibilité.

• La grille d'explication : urgences des EP d'une opération à une date t

Sur le tableau de bord (en haut à gauche), on remarque qu'entre t_{i+3} et t_{i+4} apparaît un nouvel EP en U_1 pour OP_2 (on passe de 5 à 6). En « cliquant » sur la case concernant OP_2 en urgence U_1 à t_{i+4} du tableau de bord, la grille d'explication en haut à droite affiche les EP concernés et leur évaluation en fonction des critères.

La ligne « Diagnostic précédent » affiche l'urgence de chaque EP à la date précédente (t_{i+3} dans notre exemple). On peut ainsi s'apercevoir aisément qu'un EP est passé d'urgence U_2 en urgence U_1 .

■ La prise de décision

En fonction des évaluations en priorité d'intervention, le responsable est à même de proposer une planification des opérations qui entraîne la programmation et la réalisation des opérations. La description des travaux réalisés, ainsi que les dates de début et de fin des opérations, sont enregistrées dans le SI afin de connaître à tout moment l'état du patrimoine.

La planification correspond à une procédure d'optimisation dans la réalisation des tâches en fonction de leurs durées et de leurs coûts, ainsi que des contraintes de tous ordres qu'elles impliquent. En effet, les opérations de réfections de chaussées, par exemple, ne peuvent pas se programmer pendant la période estivale compte tenu de la densité de trafic pendant cette durée. Le décideur a la possibilité de fixer sa stratégie à travers des fonctions « objectifs » (faire autant d'opérations classées P_1 que possible, faire autant d'opérations que possible, etc.), des contraintes (dépenser le budget de façon linéaire sur l'année, recouvrement d'opérations, etc.). L'évaluation multicritère hiérarchisée a permis de décomposer le processus décisionnel en plusieurs étapes fonctionnelles : le traitement informationnel depuis la mesure jusqu'à la planification d'opérations a été distribué. La mise en équation de la planification est facilitée par la caractérisation des opérations en terme de priorité d'intervention. Les trois étapes de diagnostic, d'évaluation des urgences et de détermination des priorités constituent les phases du traitement de l'information nécessaires à l'explicitation de la logique décisionnelle de l'entretien du réseau.

■ La justification

Cette fonction permet de donner des éléments d'explication de la logique décisionnelle à chaque niveau fonctionnel. Pour chaque niveau de décision dans le processus d'évaluation d'une opération, cette fonction recherche les dimensions qui ont joué un rôle décisif dans les évaluations. Il s'agit de retrouver les critères qui ont joué le plus sur la note globale. Cette notion d'explication est fortement liée à la notion de contribution marginale d'un critère évoquée précédemment.

Considérons donc une opération OP^k : cette opération a été retenue comme la plus prioritaire suivant une stratégie modélisée par un opérateur d'agrégation que l'on note $h_w(\cdot)$. Par définition, on a : $\forall j, h_w(OP^k) \geq h_w(OP^j)$. Dans cette application, $h_w(\cdot)$ est la somme pondérée (cf. équation (6)). L'extension du principe de justification pour des opérateurs non linéaires est exposée dans [15].

Il peut être d'abord pertinent de donner des éléments concernant la priorité absolue de OP^k : c'est une justification dans l'absolu. Il doit alors être possible de paramétrer le niveau de détail de l'explication requise. On peut en effet souhaiter plusieurs niveaux de détail dans la justification du résultat. On peut vouloir une justification « en un mot », qui aille à l'essentiel des raisons de cette préférence, qui en donne les raisons principales, qui fournisse les raisons détaillées ou qui rapporte jusqu'aux raisons anecdotiques.

Pour cela, il suffit dans un premier temps de réordonner les termes de la somme $\sum_{i=1}^p w_i \cdot u_i^k$ de façon à ce que :

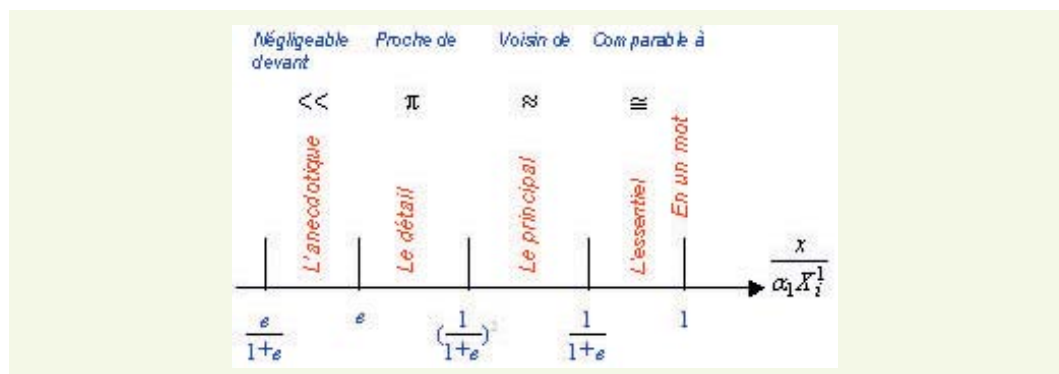
$$\forall i, w_i \cdot u_i^k \geq w_{i+1} \cdot u_{i+1}^k. \quad (7)$$

On peut ensuite partitionner les contributions marginales ou potentiels absolus $P_A^k(i) = w_i \cdot u_i^k$ en classes relatives aux ordres de grandeur du ratio : $\frac{w_i \cdot u_i^k}{w_1 \cdot u_1^k}$. Une relation « $A \ r \ B$ » est équivalente à « $(A/B) \ r \ 1$ » et peut être modélisée comme un intervalle (flou si nécessaire) sur le rapport (A/B)

en utilisant un unique paramètre e (le seuil e a une limite supérieure de 0,4656 due à la contrainte $1/e > (1 + e)^2$) [16]. Plus ce ratio est proche de 1, plus la contribution du critère i est forte et plus ce critère représente une dimension essentielle de l'évaluation. On définit ainsi un découpage symbolique sur l'échelle continue $\frac{x}{w_1 \cdot u_1^k}$ dans lequel chacun des termes $w_i \cdot u_i^k$ peut être classé (figure 13).

Les symboles des relations aux ordres de grandeur $=, \cong, \approx, < \text{ et } \ll$ signifient respectivement *égal à*, *voisin de*, *comparable à*, *petit devant* et *négligeable devant* et sont associés aux argumentations « en un mot », « à l'essentiel », « principalement », « dans le détail » et « de façon anecdotique ».

figure 13
Découpage en étiquettes symboliques des contributions marginales.



Ainsi, à titre d'exemple, si l'on a $\frac{1}{1+e} \leq \frac{w_i \cdot u_i^k}{w_1 u_1^k} < 1$, le ratio $\frac{w_i \cdot u_i^k}{w_1 u_1^k}$ est *voisin* de 1, la contribution du critère i au score global de OP^k est une raison essentielle du score global élevé de OP^k .

SINERGIE est donc à même de restituer les critères déterminants dans chaque évaluation avec une précision paramétrable. Le nombre de classes est un paramètre à fixer qui dépend de la connaissance que l'on souhaite exprimer (*le détail et l'anecdotique* pourraient par exemple être fondus en une seule catégorie linguistique). Le paramètre e est à déterminer, une valeur courante de e est 0,1 et correspond à l'idée commune qu'une grandeur devient négligeable devant une autre en deçà d'un rapport 1/10.

Une autre façon d'envisager le niveau de justification serait de fixer le pourcentage β % d'explication du score de OP^k et de chercher $p_0 / h_w(OP^k) \triangleq \sum_{i=1}^{p_0 \leq p} w_i \cdot u_i^k = t\% \cdot \sum_{j=1}^p w_j \cdot u_j^k$, les u_i^k ayant été réordonnés conformément à (7).

Dans un deuxième temps de la légitimation de la décision, il est important de donner des éléments de réponse concernant les dimensions selon lesquelles OP^k a été classée plus prioritaire que OP^j , les axes selon lesquels OP^k a *fait la différence* sur OP^j . Il s'agit là d'une justification en relatif où les grandeurs à analyser sont les sommes des *potentiels relatifs individuels* $P_R^{kj}(i) = w_i \cdot (u_i^k - u_i^j)$:

$$\forall j, h_w(OP^k) - h_w(OP^j) = \sum_{i=1}^p w_i \cdot (u_i^k - u_i^j) = \sum_{i=1}^p P_R^{kj}(i) \quad (8)$$

On peut reprendre le précédent raisonnement sur les ordres de grandeur, sur cette expression, après avoir procédé pour chaque opération OP^j à une permutation des indices de $\sum_{i=1}^p P_R^{kj}(i)$ pour ranger les potentiels relatifs individuels dans un ordre décroissant.

Dans un dernier niveau d'argumentation, le plus synthétique, il peut être intéressant de positionner l'opération prioritaire OP^k par rapport à l'ensemble des $n - 1$ autres opérations OP^j de façon globale.

Il s'agit encore d'une justification relative, mais cette fois-ci par rapport aux opérations dans leur ensemble. On a alors recours au critère d'analyse $\sum_{j \neq k} \sum_{i=1}^p w_i \cdot (u_i^k - u_i^j)$ que l'on réécrit :

$$\sum_{j \neq k} \sum_{i=1}^p w_i \cdot (u_i^k - u_i^j) = \sum_{i=1}^p \left[(n-1)u_i^k - \sum_{j \neq k} u_i^j \right] \cdot w_i = \sum_{i=1}^p \left[P_R^k(i) \right] \quad (9)$$

On se ramène ensuite, sur cette expression, à un problème similaire à l'interprétation précédente selon les ordres de grandeur. Cette fois-ci, les termes $P_R^k(i) = (n-1)u_i^k - \sum_{j \neq k} u_i^j$ sont les potentiels

relatifs moyens et les plus importants correspondront aux critères selon lesquels l'opération OP^k s'est clairement imposée comme plus prioritaire que la moyenne des opérations à traiter.

La justification permet de faire remonter les critères déterminants de la décision à chaque niveau fonctionnel d'évaluation : les priorités d'intervention sont ainsi justifiées par les dimensions les plus discriminantes de l'évaluation multicritère hiérarchique. Le responsable est ainsi à même de répondre à tout moment de la politique d'entretien qu'il déploie pour son patrimoine, le SIAD lui assurant la traçabilité de sa stratégie.

Si, lors de la saisie d'un score partiel relatif à l'un de ces critères, un commentaire (ou une pièce jointe) a été introduit pour argumenter l'évaluation donnée en langage naturel, alors ce commentaire sera automatiquement proposé comme un argument rhétorique lors de la requête de justification. La **figure 14** correspond à l'interface graphique de la procédure de justification précédente. Une repré-

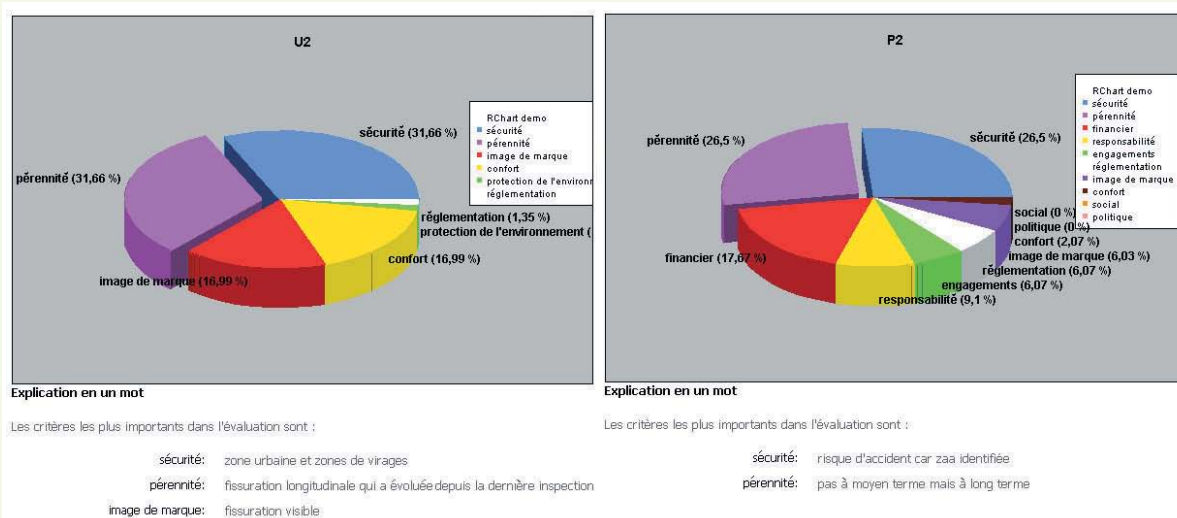


figure 14
Justification de l'opération de réfection de couche de roulement pour l'A808— PR 1 à 2.

sentation des contributions marginales des critères impliqués y est proposée. L'opération utilisée dans cette illustration correspond à l'exemple de la « *chaussée A808 entre les points kilométriques 1 et 2* » : graphiquement, on peut déjà se faire une idée des critères qui ont conduit à classer cette opération en urgence U_2 et en priorité P2.

CONCLUSION

Le vieillissement des infrastructures est une préoccupation constante pour les maîtres d'ouvrage qui doivent garantir la sécurité des usagers et le bon fonctionnement, au cours du temps, de leurs infrastructures. Face à la masse d'informations à gérer, il est indispensable de mettre au point une stratégie d'aide à la décision durable permettant d'aider les gestionnaires dans leurs prises de décision et dans la légitimation de leurs logiques d'investissement.

ESCOTA s'est investi dans une démarche à plusieurs facettes : mesure, évaluation et décision. Elle se dote maintenant d'un outil informatique d'aide à la décision pour améliorer la maintenance et la gestion du patrimoine : le logiciel SINERGIE. Celui-ci se compose d'un système d'information (SI) et d'un système interactif d'aide à la décision (SIAD) pour accompagner les acteurs de l'exploitation dans la planification des opérations d'entretien, d'amélioration et de mise à niveau des divers éléments de patrimoine. La décision revêt à la fois un caractère multi-acteur (inspecteurs, experts, responsable) et multicritère. Les évaluations sont fonctions des domaines et des niveaux de responsabilité de chacun, de même que les critères d'analyse associés à ces domaines et niveaux. L'aide à la décision proposée par le logiciel comporte également un volet relatif à la légitimation de la politique de gestion. La décomposition de l'évaluation des opérations en terme de diagnostic, d'urgence et de priorité est une phase essentielle du traitement de l'information qui facilite et prépare *in fine* une planification argumentée des opérations.

REMERCIEMENTS

Le développement de l'outil Sinergie est réalisé dans le cadre de la thèse de Céline Sanchez en convention « CIFRE » (convention industrielle de formation par la recherche, sous l'égide du ministère de la Recherche) regroupant le Laboratoire de génie informatique et ingénierie de production (LGI2P) et le Centre des matériaux de grande diffusion (CMGD) de l'École des mines d'Alès et la société d'autoroute ESCOTA. Les auteurs tiennent à remercier l'Agence nationale de la recherche technique pour son soutien financier. Ils tiennent également à associer à ces remerciements les personnels du service Structure viabilité sécurité et des districts d'ESCOTA.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 **AKHARRAZ A., MONTMAIN J., DENGUIR A., MAURIS G.**, Information System and Decisional Risk Control for a Cybernetic Modeling of Project Management, *5th international conference on computer science (MCO 04)*, Metz, juillet **2004**, pp. 407-414.
- 2 **AKHARRAZ A., MONTMAIN J., MAURIS G.**, Decision acceptability in project management : argumentation and risk control, *IAR-ICD workshop on Intelligent Control and Diagnosis*, Grenoble, novembre **2002**, 6 pages.
- 3 **POMEROL J.-Ch.**, L'apport de Herbert Simon dans le management et la décision, *Revue de l'intelligence artificielle (Revue des Sciences et Technologies de l'Information)*, **2002**, **16** (1-2).
- 4 **SIMON H.-A.**, *Sciences des systèmes, sciences de l'artificiel*, Dunod, **1991**, 229 pages.
- 5 **SIMON H.-A.**, *Administration et processus de décision*, Economica Paris, **1983**, 321 pages.
- 6 **ROY B., BOUYSSOU D.**, *Aide multicritère à la décision : méthodes et cas*, Economica Paris, **1993**, 695 pages.
- 7 **SETRA**, IQOA (Image de la Qualité des Ouvrages d'Art) *Guide de visite en subdivision*, Référence F 9630 PV, Bureau de vente du SETRA, **1996**, 17 pages.
- 8 **SAGEAU J.-F.**, Sites, Risque et Génie Civil, Le Suivi préventif des structures, *colloque Paris Unesco*, Paris, 8-9 novembre **2000**, pp. 541-552.
- 9 **TROUILLET P.**, DRCA, Risque et Génie Civil, Suivi préventif des ponts autoroutiers du réseau concédé, *colloque Paris Unesco*, Paris, 8-9 novembre **2000**, pp. 553-561.
- 10 **BANA E COSTA C.-A., VANSNICK J.-C., MACBETH** – an interactive path towards the construction of cardinal value functions, *International transactions in operational Research*, **1994**, **1**, pp. 489-500. (Une version de démonstration de MACBETH est proposée à l'adresse : <http://www.m-macbeth.com>)
- 11 **CLIVILLÉ V.**, *Approche Systémique et méthode multicritère pour la définition d'un système d'indicateurs de performance*, Thèse de l'université de Savoie, Annecy, **2004**, 216 pages.
- 12 **DUBOIS D.**, *Modèles mathématiques de l'imprécis et de l'incertain en vue d'applications aux techniques d'aide à la décision*, Thèse de doctorat d'État ès sciences mathématiques, Institut national polytechnique de Grenoble, Grenoble, **1983**, 413 pages.
- 13 **DUBOIS D., PRADE H.**, Criteria aggregation and ranking of alternatives in the framework of fuzzy set theory, *Fuzzy Sets and Decision Analysis, TIMS Studies in the Management Sciences*, **1984**, **20**, pp. 209-240.
- 14 **DUBOIS D., PRADE H.**, A review of fuzzy set aggregation connectives, *Information Sciences*, **1985**, **36**, pp. 85-121.
- 15 **AKHARRAZ A., MONTMAIN J., MAURIS G.**, A project decision support system based on an elucidative fusion system, *Fusion 2002, 5th International Conference on Information Fusion*, Annapolis, Maryland, USA, **2002**.
- 16 **MAVROVOUNIOTIS M., STEPHANOPOULOS G.**, Formal order-of-magnitude reasoning in process engineering, *Computer and Chemical Engineering*, **1988**, **2** (9/10), pp. 867-880.