

ANALYSE MULTICRITERES ET FUSION D'INFORMATION POUR L'EXPERTISE ET LA GESTION INTEGREE DES RISQUES NATURELS EN MONTAGNE

MULTICRITERIA DECISION ANALYSIS AND INFORMATION FUSION FOR EXPERTISE APPLIED TO NATURAL RISKS IN MOUNTAINS

Jean-Marc TACNET

Cemagref- Unité ETNA

2, rue de la papeterie - 38402
Saint Martin d'Hères Cedex

jean-marc.tacnet@cemagref.fr

Mireille Batton-Hubert

Ecole des Mines de Saint-

Etienne (ENMSE/SITE)

29, rue Ponchardier - 42100

Saint-Etienne

Jean Dezert

ONERA

29, avenue de la division
Leclerc - B.P. 72 - 92232

Chatillon Cedex

Résumé

Les risques naturels en montagne (crues torrentielles, avalanches) menacent les biens et les personnes avec des conséquences souvent dramatiques. Dans un contexte de connaissances partielles et imparfaites de l'occurrence et de la physique des phénomènes, l'expertise utilise des approches pluridisciplinaires à la fois qualitatives et quantitatives pour identifier les phénomènes, analyser les risques et proposer des stratégies de réduction des risques au travers de mesures structurelles (ouvrages de génie civil) ou non-structurelles (zonage, plans d'alerte). Les analyses dépendent de la qualité et de l' « incertitude » associées à l'information disponible provenant soit de mesures, d'analyses historiques, de témoignages mais aussi d'avis subjectifs, parfois contradictoires exprimés par les experts eux-mêmes. Finalement, les scénarios de phénomènes et les décisions peuvent reposer sur des informations incertaines et contradictoires sans qu'il soit réellement possible d'expliquer la part de vérité, d'imprécision, de conflit ou simplement de méconnaissance dans les hypothèses ayant conduit au résultat. Cet article décrit une méthodologie (dénommée *ER-MCDA*) d'aide à la décision basée sur l'association de l'analyse multicritères hiérarchique (AHP), les théories des ensembles flous, des possibilités et des fonctions de croyances. Les théories des ensembles flous et des possibilités sont utilisées pour transformer des critères quantitatifs et qualitatifs dans un cadre commun de discernement dans le contexte des théories de Dempster-Shafer (DST) et de Dezert-Smarandache (DSmT). Un problème de décision basée sur l'analyse de la sensibilité d'un site avalanche montre comment la méthode permet de prendre en compte et tracer l'importance des critères, l'imperfection des évaluations et jugements d'expert et la fiabilité des sources.

Mots-clés : risques naturels, montagne, expertise, aide multicritères à la décision, Analyse multicritères hiérarchique (AHP), information imparfaite, fusion d'information, logique floue, théorie des fonctions de croyance, DST, DSmT.

Summary

Rapid mass movements hazards such as mountain rivers (torrents) and snow avalanches put humans and material assets at risk with dramatic consequences. Risk reduction is reached through structural and non-structural measures such as zoning control, preventive information. In a context of lacking knowledge about the natural phenomena, expertise is required to provide analyses for decision and risk management purposes using multi-disciplinary quantitative or qualitative approaches. Expertise depends on the quality and uncertainty of the available information that may result from measures, historical analysis, testimonies but also subjective, possibly conflicting, assessments done by the experts themselves. At the end, phenomena scenarios and decisions may very well rely on very uncertain and conflicting information without being able to really know what was completely true, imprecise, conflicting or simply unknown in the hypotheses leading to the result. A framework mixing fuzzy logics, evidential reasoning and multi-criteria decision analysis (*ER-MCDA*) is proposed. The Analytic Hierarchy Process (AHP) is used to model the decision and to elicit preferences between criteria. Fuzzy Sets and Possibilities theories are used to transform quantitative and qualitative criteria into a common frame of discernment for Dempster-Shafer Theory (DST) and Dezert-Smarandache Theory (DSmT). A simplified decision sorting problem based on a snow-avalanche risk management problem shows how the use of multi-criteria decision analysis principles and information fusion can be used to characterize and take information quality or imperfection into account for decision purposes.

Keywords : Mountain natural hazards, multicriteria decision making, Analytic Hierarchy Process (AHP), information imperfection, information fusion, fuzzy logic, evidence theory, DST, DSmT.

1 Introduction : gestion des risques naturels, décision et expertise

Les phénomènes gravitaires rapides en montagne (crues torrentielles, avalanches, chutes de blocs) constituent un réel danger pour les enjeux humains et matériels en raison de l'intensité et de la soudaineté des phénomènes (figure 1). Les connaissances liées à l'occurrence, à la physique et aux effets des phénomènes sur les enjeux restent partielles et imparfaites. Les informations disponibles sont fortement hétérogènes et entachées d'imperfections (imprécision, incertitude...). Elles résultent de mesures, d'analyses historiques, de témoignages ou de résultats de modèles provenant de sources inégalement fiables et potentiellement conflictuelles (Tacnet, 2009) (voir figure 19).



Figure 1 : Les avalanches, les crues torrentielles sont des phénomènes gravitaires destructeurs contre lesquels on essaie de se protéger (Tacnet et al., 2009a).

L'expertise utilise des approches pluridisciplinaires à la fois qualitatives et quantitatives pour définir et choisir parmi les différentes stratégies de réduction des risques (figure 2) mettant en œuvre des mesures structurelles et non-structurelles (Tacnet et al., 2010b).

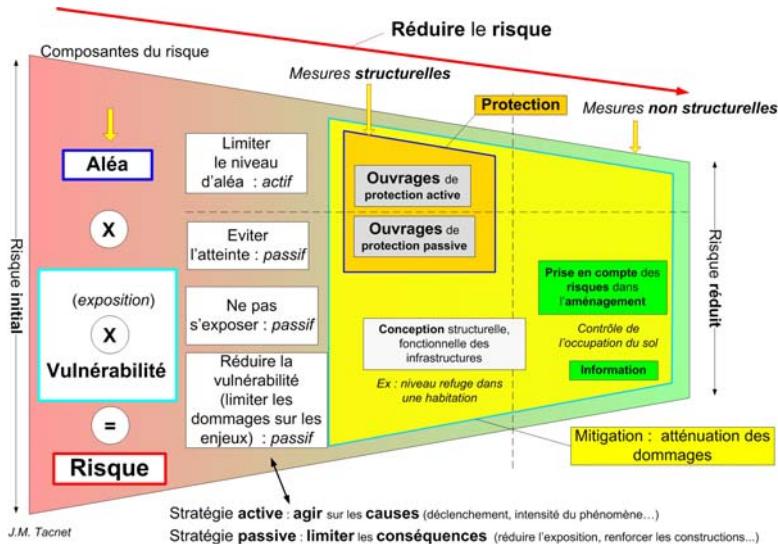


Figure 2 : Typologie des mesures de réduction du risque (Tacnet, 2009).

Cet article décrit une méthodologie dénommée *ER-MCDA*¹ d'aide à la décision adaptée au contexte de la gestion préventive des risques en particulier et plus généralement aux processus de décision basés sur des informations hétérogènes et imparfaites provenant de sources inégalement fiables et potentiellement conflictuelles. La section 2 décrit sommairement les méthodes d'aide multicritères à la décision et les théories de représentation et traitement de l'imperfection de l'information. Sur la base d'un exemple relatif à l'analyse de la sensibilité d'un site d'avalanche, la section 3 décrit les principales étapes de la méthodologie *ER-MCDA* à savoir, l'analyse hiérarchique du problème de décision et la définition du cadre de discernement de décision, l'évaluation imprécise des critères, la transposition et les deux étapes de fusion des évaluations puis des critères. Enfin, la section 4 conclut par un résumé des atouts de la méthode et l'énoncé de ses principaux développements actuels.

¹ Raisonnement crédibiliste – Aide multicritères à la décision (Evidential Reasoning-Multicriteria Decision Analysis)

2 Aide multicritères à la décision, représentation et traitement de l'information imparfaite

2.1 Les méthodes d'aide multicritères

L'aide multicritères à la décision concerne trois problématiques de décision consistant pour un décideur à choisir, ranger, ou trier des alternatives ou des solutions sur la base de préférences exprimées sur des critères (Roy, 1989). Les méthodes d'agrégation totale, basées sur la théorie de l'utilité multiattribut (M.A.U.T) (Dyer, 2005) attribuent à chaque alternative ou solution, l'évaluation d'un critère unique de synthèse (figure 3). Contrairement aux méthodes dites d'agrégation partielle ou de surclassement (Roy, 1989), ces méthodes reposent sur une hypothèse critiquable de transitivité de l'indifférence.

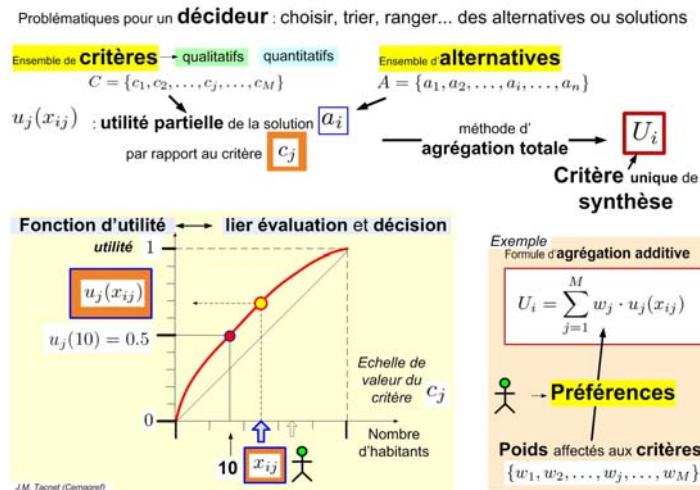


Figure 3 : Principe des méthodes d'aide multicritères basées sur une agrégation totale

La fonction d'utilité est essentielle dans ces méthodes d'agrégation totale : elle transforme des grandeurs réelles hétérogènes dans une mesure d'utilité commune sur laquelle va porter l'agrégation (figure 3). L'analyse multicritères hiérarchique (AHP)² (Saaty, 1980), la plus simple de ces méthodes, est basée d'une part sur la décomposition d'un problème de décision en critères (analyse) et d'autre part sur la synthèse et l'agrégation de poids affectés aux critères des différents niveaux de la hiérarchie (figures 4 et 5). Les préférences (traduisant l'importance relative) entre critères, s'expriment par les poids w_j issues de matrices de comparaison par paires entre critères d'un même niveau hiérarchique selon une échelle de ratio sémantique. L'agrégation des poids et de l'évaluation se fait de la racine vers les feuilles selon un principe qui s'apparente à une somme pondérée.

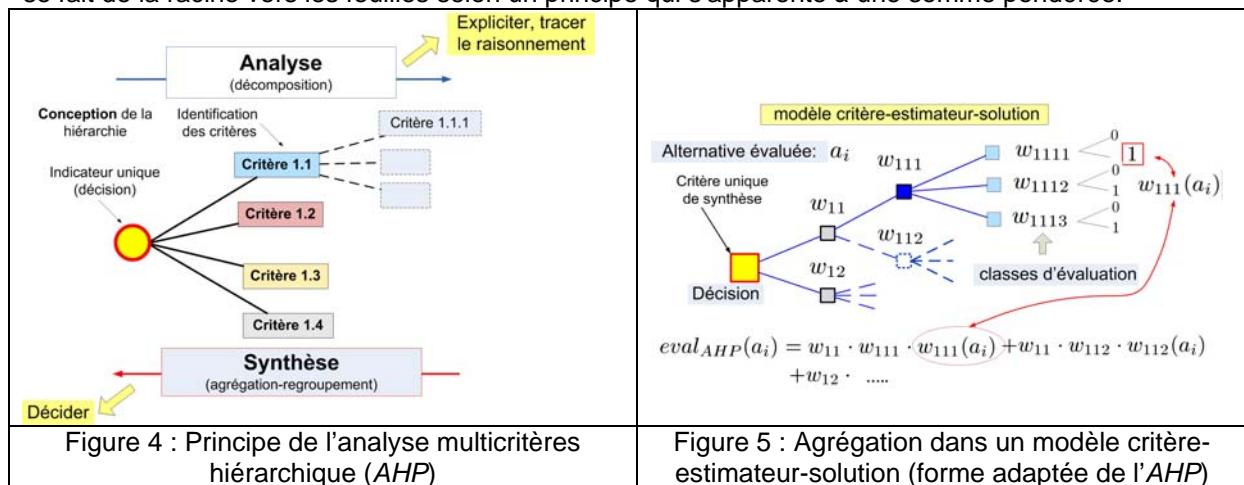


Figure 4 : Principe de l'analyse multicritères hiérarchique (AHP)

Figure 5 : Agrégation dans un modèle critère-estimateur-solution (forme adaptée de l'AHP)

² Analytic Hierarchy Process

2.2 Nature, représentation et traitement de l'imperfection de l'information

La décision est liée à l'information et à ses multiples formes d'imperfection (figure 6). Cette imperfection peut s'exprimer sous forme d'inconsistance (contradiction entre deux sources), d'imprécision (« le volume est entre 5000 et 10000 m³ »), l'incomplétude (on ne connaît pas toutes les valeurs pouvant être prises) et l'incertitude (on ne sait pas si l'information est vraie). Plusieurs théories alternatives à la théorie classiques des probabilités permettent de représenter ces formes d'imperfection.

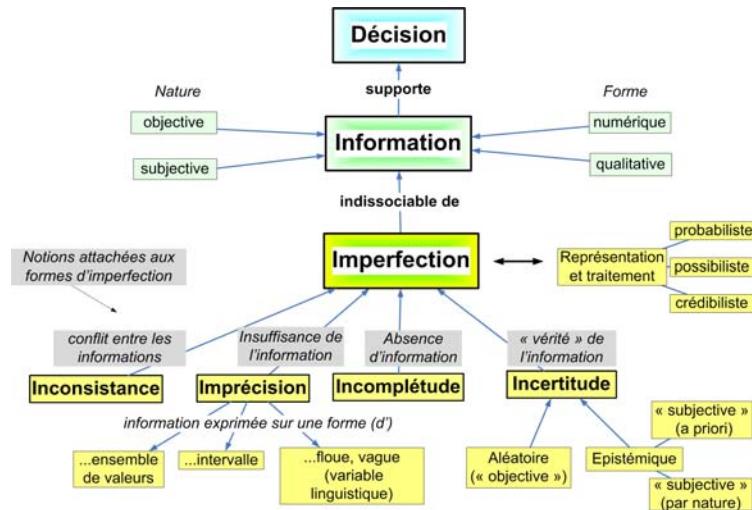


Figure 6 : L'imperfection de l'information, sous ses multiples formes, conditionne la décision³

La théorie des **ensembles flous** permet de représenter l'appartenance partielle d'une grandeur à un ensemble. Elle établit une correspondance entre des grandeurs quantitatives et des variables linguistiques utilisées pour décrire une grandeur, une propriété de manière imprécise. A titre d'exemple (fictif), une population de 13 habitants (dans une zone exposée) correspond partiellement à une densité « faible » ($\mu = 0.2$) et majoritairement à une densité « modérée » ($\mu = 0.8$).

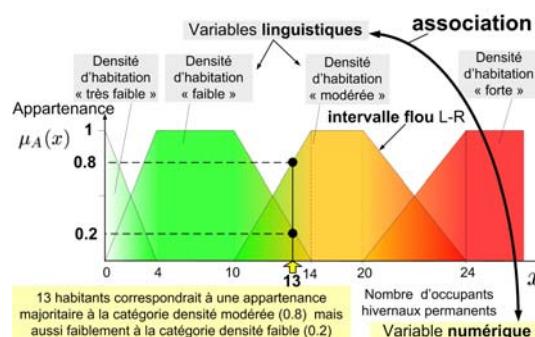


Figure 7 : Notion d'intervalles flous et de fonction d'appartenance dans le cadre de la théorie des ensembles flous

La théorie des **possibilités** (Zadeh, 1978) (Dubois et al., 2006) permet de représenter l'incertitude associée à une proposition au travers d'une distribution de possibilités constituée d'intervalles emboîtés. La théorie définit une mesure de possibilité (Π) et de nécessité (N) constituant des bornes hautes et basses de la probabilité de vérité de la proposition considérée (appartenance à un intervalle). Pour construire la distribution de possibilité, la source d'évaluation exprime sur chacun des ces intervalles un niveau de confiance correspondant à une mesure de nécessité (figure 8). Une distribution de possibilité permet d'exprimer des masses de croyance sur chacun des intervalles (Dubois et al., 2006) (Baudrit, 2005).

³ voir (Tacnet, 2009) en référence aux travaux et synthèses de P. Smets, D.Dubois, Bonissone....

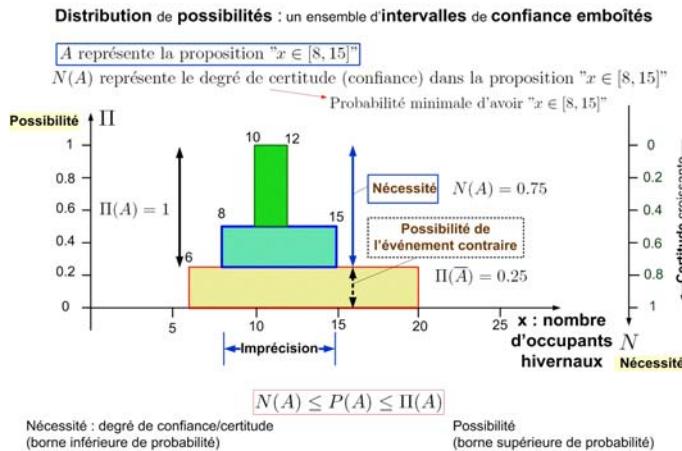


Figure 8 : Principe d'une distribution de possibilité

La théorie des **fonctions de croyance**, également nommée théorie de Dempster-Shafer (*DST*) (Shafer, 1976), permet de manipuler des degrés de confiance (ou masses de croyance) associés à la validité d'une information. Ces masses de croyance s'appliquent non plus seulement à des singletons comme dans la théorie des probabilités mais à des sous-ensembles (figure 9). Un cadre théorique indépendant de la théorie des probabilités a ensuite été formulé par P. Smets (1994) dans le cadre du modèle des croyances transférables (*TBM*⁴). Enfin, la théorie de Dezert-Smarandache (*DSmT*)⁵ constitue l'évolution la plus récente (Smarandache et Dezert, 2004-2009). Le cadre de discernement $\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n\}$ est essentiel. Il représente l'ensemble des éléments θ_i (hypothèses) correspondant à des notions vagues et incertaines. Des masses de croyance⁶ $m_i(\theta_i)$ sont affectées aux éléments de 2^Θ (respectivement D^Θ) dans le cadre de la *DST* (resp. *DSmT*).

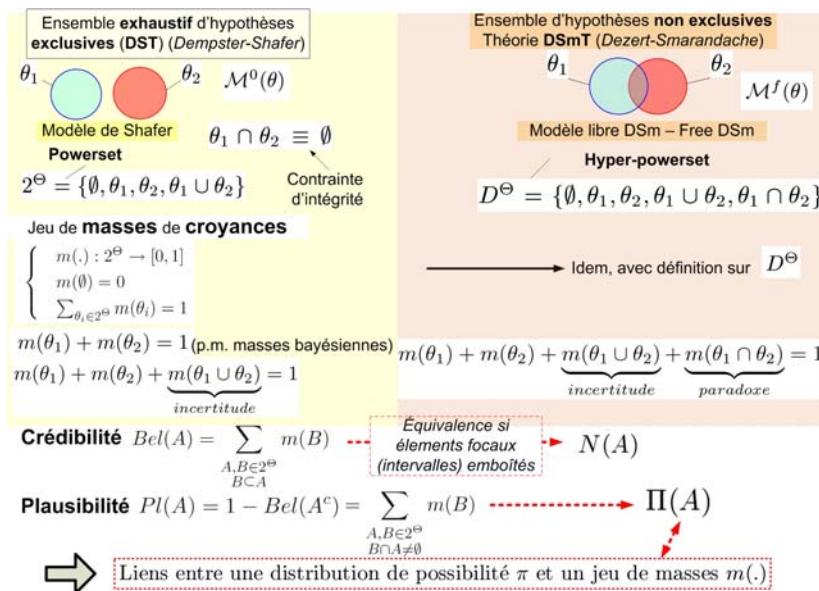


Figure 9 : Théorie des fonctions de croyance (*DST* et *DSmT*) et lien avec la théorie des possibilités

La fusion d'information est un des atouts de cette théorie. Elle consiste à prendre en compte la qualité (ou véracité) de l'information dans le processus de décision. Cette fusion d'information

⁴ Transferable Belief Model

⁵ Dezert-Smarandache Theory ou Théorie du raisonnement plausible et paradoxal

⁶ En anglais basic belief assignment, noté *bba*

consiste à produire une fonction de masse de croyance unique exprimée sur un même cadre de discernement à partir de plusieurs fonctions de masse de croyance issues de sources distinctes. Des facteurs d'affaiblissement, noté α permettent de considérer la fiabilité des sources. La règle de fusion de Dempster (figure 10), basée sur un principe de consensus conjonctif, est la première à avoir été proposée. Cette règle gère assez mal les situations de fort conflit et d'autres règles ont été imaginées notamment dans le cadre de la théorie *DSmT* (Smarandache et Dezert, 2004-2009) en proposant de repartir proportionnellement le conflit (règles dites P.C.R.⁷).

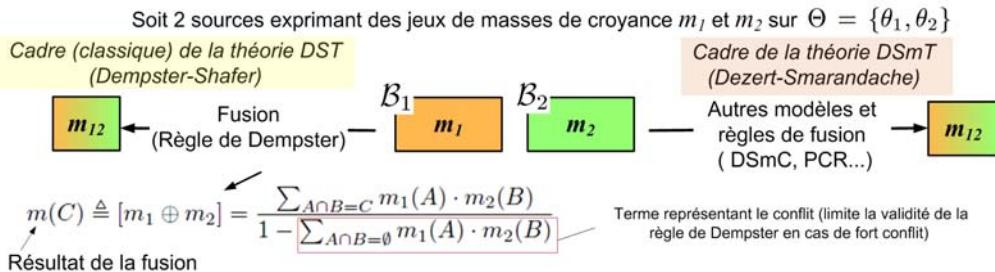


Figure 10 : Principe de la fusion de deux sources

En conclusion, la prise en compte de l'incertitude dans le cadre de l'analyse multicritères reste un problème difficile (Stewart, 2005). Des approches ont associé la théorie des fonctions de croyance et l'analyse multicritères (Beynon, 2000) (Wang, 2006) et/ou les ensembles flous (Omrani et al., 2007). Elles restent basées sur l'utilisation de la règle de Dempster et ne permettent pas de prendre des situations de fort conflit, la multiplicité et la fiabilité variable des sources.

3 La méthodologie ER-MCDA

La méthodologie *ER-MCDA*⁸ utilise d'une part l'analyse multicritères hiérarchique (*AHP*) uniquement comme cadre conceptuel pour décomposer le problème de décision en critères et d'autre part les théories des ensembles flous, des possibilités et des fonctions de croyance pour représenter et fusionner les évaluations imparfaites proposées par des sources. La démarche comprend quatre étapes (figure 11). L'évaluation des critères précède deux niveaux de fusion. Le premier concerne la fusion des évaluations. Le second concerne la fusion de critères considérés comme des sources (figure 12).

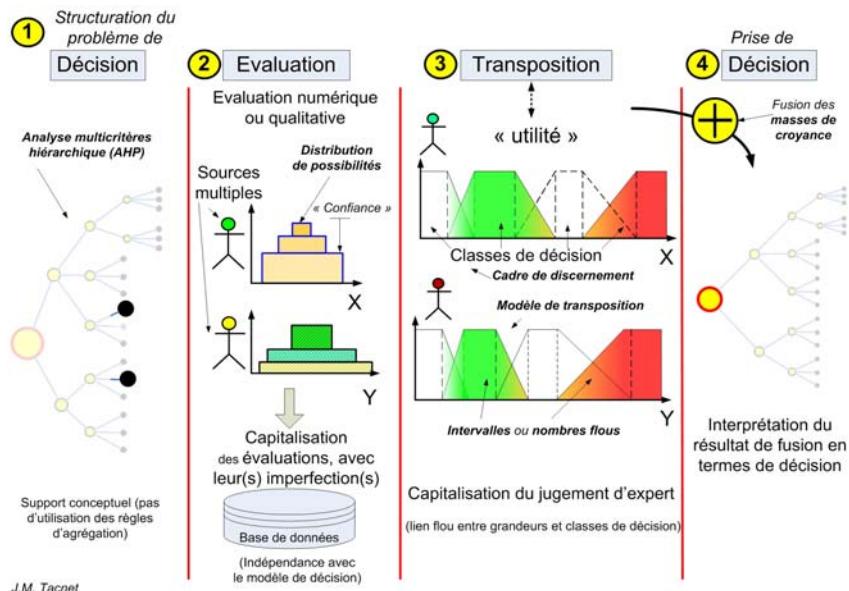


Figure 11 : La méthodologie ER-MCDA comprend 4 étapes et dissocie l'analyse du problème, l'évaluation des critères et la décision obtenue par fusion

⁷ Proportional Conflict Redistribution Rules

⁸ pour une description détaillée, voir (Tacnet, 2009) (Tacnet, 2009a)

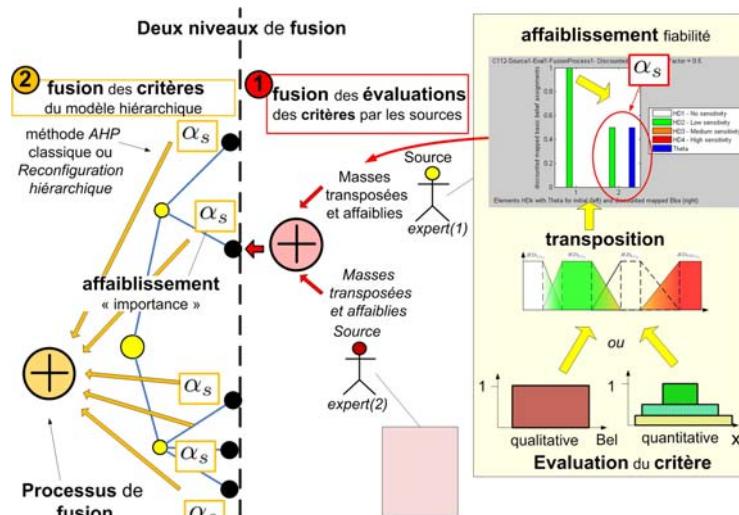


Figure 12 : ER-MCDA - l'évaluation des critères précède le premier niveau de fusion des évaluations, puis le niveau de fusion des critères.

Etape 1 – Décomposer et structurer le problème de décision. Cette étape-clé concerne la définition du cadre de discernement et de la structure hiérarchique des critères. On utilise un exemple (très) simplifié basé sur l'analyse de la sensibilité d'un site avalancheux dérivé d'un système opérationnel réel (Rapin et al., 2006). La décision porte sur le choix d'un niveau de sensibilité faible, moyen ou fort en fonction de critères liés à la vulnérabilité et à l'aléa (figure 13).

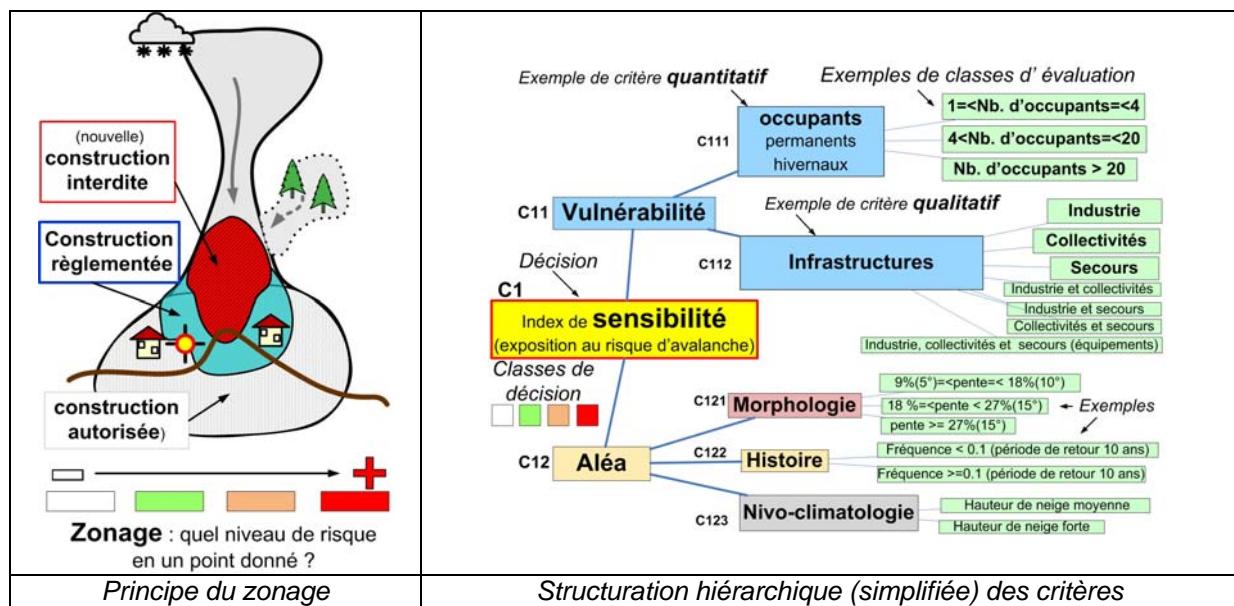
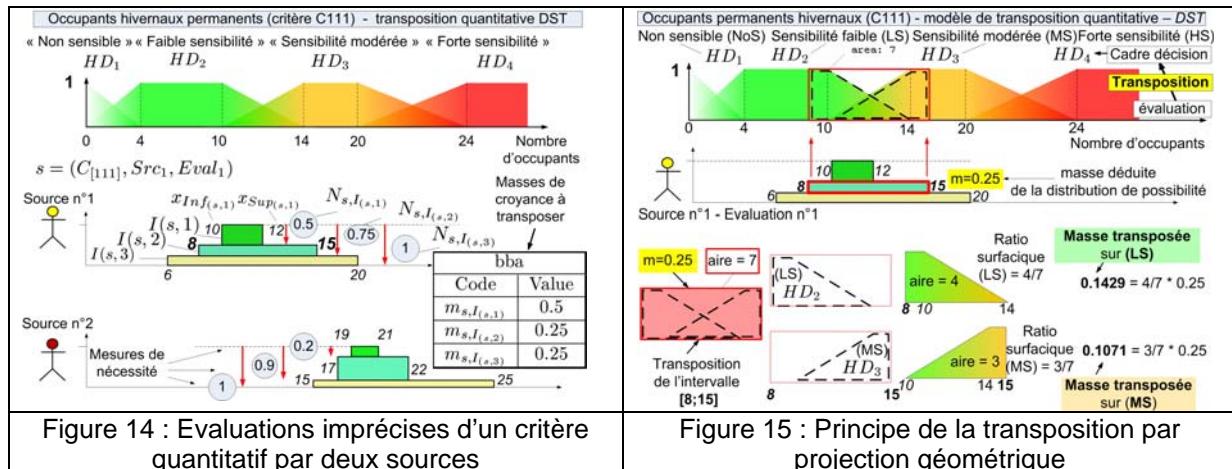


Figure 13 : Représentation hiérarchique d'un problème de décision : cas du zonage des risques

Etape 2 – Evaluer les critères. Pour chaque critère quantitatif ou qualitatif, une évaluation imprécise et incertaine est formulée par un expert sous la forme d'une distribution de possibilités correspondant à des intervalles emboîtés. Les mesures de nécessité (représentant la confiance) sont affectées à chaque intervalle puis transformées en masses de croyances affectées aux intervalles (figure 14).

Etape 3 – Transposer les évaluations. La fusion ne peut concerner que des masses de croyance exprimées (par différentes sources) sur un même cadre de discernement. Le modèle de transposition permet d'établir une correspondance entre des grandeurs quantitatives (nombre d'habitants...) et/ou qualitatives évaluées par les sources (experts) et les classes de décision du cadre de discernement de décision (sensibilité faible, moyenne, forte...) représentées par des intervalles flous. Les masses de croyance affectées à chacun des intervalles des distributions de possibilités sont réparties selon un principe de projection géométrique proportionnelle sur les hypothèses. Après transposition, on dispose donc, pour chaque source, de masses affectées sur le même cadre (figure 15).



Etape 4.1 – Fusionner les évaluations : Les masses résultant des évaluations des experts (ou d'autres sources) sont fusionnées dans le premier niveau de fusion (voir figure 1). Les masses de croyances issues de la transposition des évaluations des critères par les sources sont ensuite éventuellement affaiblies par application d'un coefficient d'affaiblissement α_s caractérisant leur fiabilité (figure 16).

Source n°1	α_s	Source s codée par $(C_{[111]}, Src_1, Eval_1)$						
		Facteur d'affaiblissement de fiabilité $\alpha_{Rel,C_{[111]},Src_1,Eval_1} = 0.5$	Frame de discernement - DST - $\Theta = \{NoS, LS, MS, HS\}$	NoS	LS	MS	HS	Θ
		$m_s(HD_1)$	$m_s(HD_2)$	$m_s(HD_3)$	$m_s(HD_4)$	$m_s(\Theta)$		
		0	0.625	0.375	0	0		
		$m'_s(HD_1)$	$m'_s(HD_2)$	$m'_s(HD_3)$	$m'_s(HD_4)$	$m'_s(\Theta)$		
		0	0.3125	0.1875	0	0.5		

Figure 16 : Jeu de masses de croyance résultant de la transposition et affaiblissement (fiabilité de la source) pour une source

Plusieurs évaluations d'un même critère peuvent être fusionnées en utilisant diverses règles de fusion⁹. On obtient donc un jeu de masse fusionné exprimé sur le cadre de discernement de décision (NoS, LS, MS, HS) pour chaque critère (figure 17).

Source n°1	Source n°2	Cadre de discernement - DST - $Card(\Theta) = 4$						
		α_{Rel}	\emptyset	HD_1	HD_2	HD_3	HD_4	Θ
		Facteur d'affaiblissement	ens. vide	Non sensible (NoS)	Faible sensibilité (LS)	Sensibilité modérée (MS)	Forte sensibilité (HS)	Θ
		$m_1 = m_{(C_{[111]}, Src_1, Eval_1)}$	0.5	0	0	0.3125	0.1875	0
		$m_2 = m_{(C_{[111]}, Src_2, Eval_1)}$	0.7	0	0	0	0.621	0.079
Processus de fusion n° 1 - Dempster-Shafer (règle normalisée)								
$m_{(C_{[111]})} = m_1 \oplus m_2$		0	0	0.1223	0.6306	0.0514	0.1957	
Règles de fusion								
Processus de fusion n° 2 - Smets criterium		$m_{(C_{[111]})} = m_1 \oplus m_2$	0.2335	0	0.0937	0.4834	0.0394	
Processus de fusion n° 3 - PCR6								
$m_{(C_{[111]})} = m_1 \oplus m_2$		0	0	0.1784	0.6229	0.0487	0.15	

Figure 17 : Résultats de la fusion des jeux de masses affaiblis associés à deux sources

Etape 4.2 – Fusionner les critères. Le second processus de fusion¹⁰ permet de fusionner les masses de croyance affectées aux critères considérés comme des sources. La fusion concerne les critères « terminaux » de l'arbre hiérarchique. Leur poids agrégé permet de définir leur importance relative dans le processus de fusion. Le coefficient d'affaiblissement (proposé dans la théorie des fonctions de croyance) a été utilisé en première approche sans être totalement satisfaisant (Tacnet et

⁹ voir (Smarandache et Dezert, 2004-2009) pour une comparaison exhaustive des méthodes

¹⁰ Les calculs de fusion ont été réalisés grâce aux routines de calcul Matlab® développées par Arnaud Martin (laboratoire E3I²-EA3876 ENSIETA Brest, France)(Martin,2009).

al., 2009a). Des développements récents ont permis de proposer une nouvelle méthode de fusion pour prendre en compte de manière différenciée l'importance et la fiabilité associée aux sources (figure 18) , un cas où la DST échoue, en adaptant des règles de fusion basées sur des principes de redistribution des masses de croyance spécifiques (Dezert et al., 2010) (Smarandache et al., 2010).

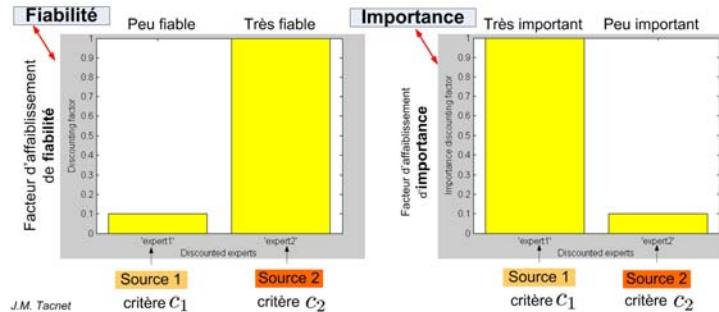
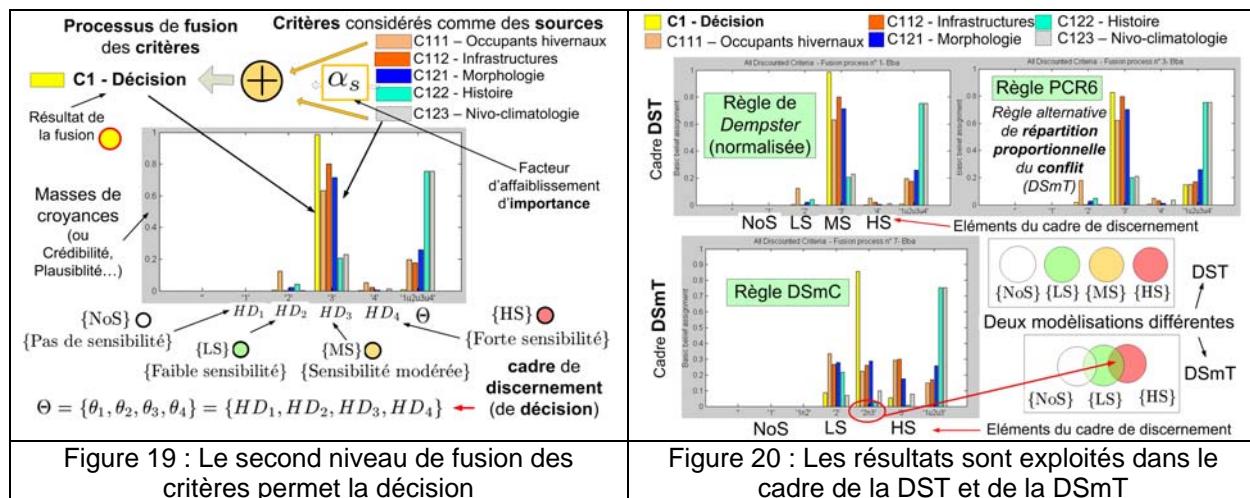


Figure 18 : Le processus de fusion doit distinguer l'importance et la fiabilité des sources

Les résultats de la fusion permettent d'obtenir des valeurs de masses de croyance (ou des crédibilités, plausibilités) affectées à chacune des classes (figure 19). Il est ainsi possible non seulement de choisir une classe mais aussi de savoir comment l'information disponible soutient le choix (répartition relative entre les classes) et de connaître le niveau d'information disponible (en analysant la masse affectée à Θ , représentant l'ignorance totale). Les cadres de la DST et de la DSmT sont utilisés pour modéliser le problème (figure 20). L'analyse comparative doit être poursuivie.



4 Conclusion – perspectives

L'approche proposée associe de manière originale l'aide multi-critères à la décision, les théories des ensembles flous, des possibilités et la fusion d'information. Elle permet d'améliorer et tracer les processus de décision associés à l'expertise des risques naturels. Au niveau thématique, cette méthodologie présente des perspectives d'extension dans le cadre de l'analyse de l'efficacité des ouvrages et de la sûreté de fonctionnement (Tacnet et al., 2010b). Sur le fond de la méthode, les perspectives de développement concernent l'analyse de sensibilité des méthodes, le choix des processus de fusion, la définition et le test de protocoles de validation qui constitue souvent un verrou pour l'ensemble des méthodes d'aide à la décision. Pour prendre en compte la composante géographique des risques et permettre une appropriation des résultats par les décideurs (figure 21), une version spatialisée de la méthodologie est en cours de développement. Elle permet de considérer l'imperfection des sources, de déterminer un niveau de risque en traçant la provenance, la fiabilité et l'importance des informations utilisées mais aussi de représenter les résultats pour une meilleure exploitation par les décideurs. Elle sera confrontée à des approches pluridisciplinaires dans le cadre de la gestion intégrée des risques notamment en terme de perception de l'incertitude.

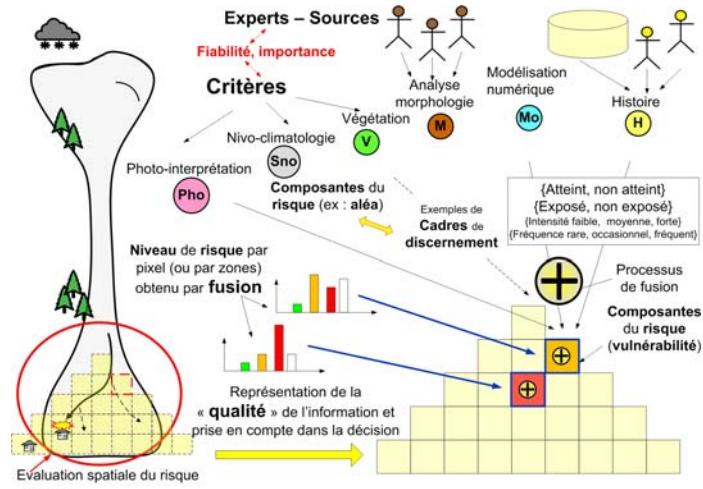


Figure 21 : Application spatiale de la fusion appliquée au processus d'expertise des risques naturels

5 Références

- M. Beynon, B. Curry, and P. Morgan, 2000. "The Dempster-Shafer theory of evidence: an alternative approach to multicriteria decision modelling", *Omega*, vol.28, no.1, pp. 37-50.
- C. Baudrit, 2005. "Représentation et propagation de connaissances imprécises et incertaines : application à l'évaluation des risques liés aux sites et aux sols pollués", Thèse de doctorat, Université Toulouse III -U.F.R. Mathématiques Informatique Gestion.
- J. Dezert, J.M. Tacnet, M. Batton-Hubert and F. Smarandache, 2010. "Multi-criteria decision making based on DSmT-AHP" in *Belief 2010, Proceedings of the 1st international Workshop on the Theory of Belief Functions*, Brest (France), 1-2 april 2010.
- D. Dubois and H. Prade, 2006. "Représentations formelles de l'incertain et de l'imprécis", dans *Concepts et méthodes pour l'aide à la décision - Volume 1 : outils de modélisation*, D. Bouyssou, D. Dubois, M. Pirlot, et H. Prade (Eds.), Hermès-Lavoisier, Paris.
- J. Dyer, 2005. "MAUT - Multiattribute Utility theory" in *Multiple Criteria Decision Analysis:State of the Art Surveys* – J. Figueira, S. Greco, M. Ehrgott, (Eds.) - Springer Verlag, Boston, Dordrecht, London, vol.78 of International Series in Operations Research and Management Science, pp.263-295.
- A. Martin, 2009. "Implementing general belief function framework with a practical codification for low complexity" in *Advances and applications of DSmT for Information Fusion - Collected works - Volume 3* – J. Dezert, F.Smarandache F. (Eds.) - American Research Press, Rehoboth, USA., pp. 217-273.
- H. Omrani, L. Ion-Boussier and P. Trigano, 2007. "A new approach for impacts assessment of urban mobility", *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, vol.4, no.3, pp. 439-444, 2007.
- F. Rapin, L. Belanger, A. Hurand and J.M. Bernard, 2006. "Sensitive avalanche paths:using a new method for inventory and classification of risk" in *International Snow Science Workshop Proceedings (ISSW) 2006*, 6 september to 30 october, Telluride, Colorado, United States, 2006.
- B. Roy, 1989, "Main sources of inaccurate determination, uncertainty and imprecision in decision models", *Mathematical and Computer Modelling*, vol.12, no.10-11, pp. 1245-1254, 1989.
- T. Saaty, 1980. The analytic hierarchy process. McGraw Hill, New York.
- G. Shafer, 1976. A mathematical theory of Evidence .Princeton University Press.
- F. Smarandache and J. Dezert, 2004—2009. "Advances and applications of DSmT for information fusion (Collected works)", Vol(s). 1-3, American Research Press, (téléchargeable sur <http://fs.gallup.unm.edu/DSmT.htm>)
- F. Smarandache, J. Dezert and J.M. Tacnet, 2010. Fusion of sources of evidence with different importances and reliabilities (accepted may 2010) in *Fusion 2010 Proceedings, 13th International Conference on Information Fusion*, Edinburgh, U.K., 26-29 July 2010.}
- Smets P., Kennes R., 1994. "The transferable belief model", *Artificial Intelligence*, vol. 66, n°2, p.191-234.
- T.J. Stewart, 2005. "Dealing with uncertainties in MCDA" in *Multiple Criteria Decision Analysis: state of the Art Surveys* – J. Figueira, S. Greco, M. Ehrgott (Eds.) - Springer Verlag, Boston, Dordrecht, London, vol.78 of International Series in Operations Research and Management Science, pp.445-470.
- J.M. Tacnet, M. Batton-Hubert and J. Dezert, 2009a. "Information fusion for natural hazards in mountains" in *Advances and applications of DSmT for Information Fusion- Collected works - Volume 3* - Dezert J., Smarandache F. (Eds.) - American Research Press, Rehoboth, USA., pp. 565-659, 2009.
- J.M. Tacnet, 2009b. "Prise en compte de l'incertitude dans l'expertise des risques naturels en montagne par analyse multicritères et fusion d'information", *Thèse de doctorat en Sciences et génie de l'environnement*, Ecole Nationale Supérieure des Mines, Saint-Etienne, France, 2009.
- J.-M. Tacnet, M. Batton-Hubert, J. Dezert, 2010. "A two-step fusion process for multi-criteria decision applied to natural hazards in mountains", *Belief 2010, Proceedings of the 1st International Workshop on the Theory of Belief Functions*, Brest (France), 1-2 april 2010.
- J.M. Tacnet, D. Richard, M. Batton-Hubert and J. Dezert, 2010b. Aide à la décision et fusion d'information pour l'expertise des risques naturels : analyse de l'efficacité des ouvrages de protection, *Actes de JFMS' 2010 (6 èmes journées de fiabilité des matériaux et des structures)*, Toulouse, France, 25-26 mars 2010.
- O.S. Vaidya and S. Kumar, 2006. "Analytic hierarchy process:an overview of applications", *European Journal of Operational Research*, vol.169, no.1, pp. 1-29.
- Y.M. Wang, J.B. Yang, and D.L. Xu, 2006. "Environmental impact assessment using the evidential reasoning approach", *European Journal of Operational Research*, vol.174, no.3, pp. 1885-1913.
- L. Zadeh, 1978. "Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility", *Fuzzy Sets and Systems*, vol.1, pp. 3-28, 1978.