

Focus

Aide à la décision par l'application de la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) à l'analyse multicritère des stratégies d'aménagement du Grand Büech à la Faurie

Un travail exploratoire mené sur le bassin versant du Grand Büech (Hautes Alpes) a permis de définir et de mettre en œuvre une méthode d'aide multicritère à la décision, l'analyse hiérarchique multicritère (AHP), bien adaptée au contexte de la gestion intégrée des cours d'eau. Cette méthode, qui s'appuie sur le principe de comparaison par paires des critères puis des solutions entre elles, a permis d'évaluer différents scénarios d'aménagement, sur la base de critères socio-culturels, économiques, de protection contre les inondations et environnementaux. À la fois simple et robuste, elle permet d'éclairer les maîtres d'ouvrage sur les choix de scénarios d'aménagement et d'orienter l'intervention des partenaires financiers dans les projets.

L'analyse multicritère pour la gestion intégrée des cours d'eau : un nouveau cadre méthodologique à définir

La gestion intégrée combinant la gestion durable des risques et la préservation des milieux fait office de nouveau référentiel. De nouvelles problématiques apparaissent au moment de choisir les aménagements et stratégies de protection structurelles et non structurelles. La mise en œuvre de plans d'aménagement intégrés tels que les PAPI (Programmes d'actions de prévention des inondations), nécessite de prendre en compte à la fois des aspects économiques, culturels, sociaux et environnementaux (MTES-DGPR, 2017). Le contexte d'application de la loi GEMAPI (Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations) introduit quant à lui une exigence accrue de combinaison de facteurs environnementaux et de protection contre les inondations. Dans ce contexte, les maîtres d'ouvrages « gémapiens » sont confrontés à des problématiques de décision relativement complexes pour arbitrer les choix entre mesures et stratégies. Le cahier des charges du Commissariat général au développement durable concernant la mise en place d'analyses multicritères (AMC) ne donne pas d'éléments de méthode pour la hiérarchisation, la pondération et l'agrégation des critères choisis. La méthode est une analyse coût-bénéfices (ACB) étendue conforme à l'objectif prioritaire d'analyse de l'effet en termes de protection contre les inondations. En marge de l'analyse coûts-bénéfices classique, d'autres critères environnementaux, humains et socio-culturels sont évalués sans toutefois procéder à une agrégation partielle ou totale de ces dits critères. Cette étape de synthèse finale est faite à l'appréciation des maîtres d'ouvrages.

La GEMAPI introduit d'autres besoins, appelant notamment la nécessité de développer des méthodes simples et fiables, directement opérationnelles et utilisables par les gestionnaires qui doivent faire face à ces nouvelles problématiques de décision. Sur la base de la méthodologie globale d'analyse présentée par Tacnet *et al.* (pages 48-53, dans ce même numéro), cet article illustre une application à un cas réel. La rivière Buëch, gérée par le SMIGIBA (Syndicat mixte de gestion intercommunautaire du Buëch et de ses affluents), est une rivière présentant une valeur patrimoniale environnementale importante mais aussi, localement, des risques d'inondations. Les enjeux environnementaux (préservation et restauration des milieux, respect de l'équilibre morphodynamique) ont ici une place essentielle et la conception des aménagements doit garantir le meilleur compromis entre les objectifs de réduction des risques et de protection des milieux. La méthodologie présentée dans cet article (encadré 1) explore un nouveau mode d'évaluation et de combinaison de critères notamment environnementaux.

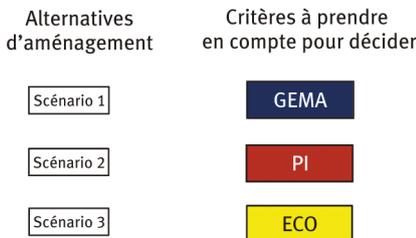
Les principes de la méthode AHP (analyse multicritère hiérarchique)

De nombreuses méthodes d'aide multicritère à la décision existent : leur objectif est d'aider les acteurs de la décision à formaliser un problème, expliciter le contexte de décision avant de procéder à l'évaluation et la comparaison des solutions. La méthode d'agrégation totale AHP (ou analyse multicritère hiérarchique) (Saaty, 1980) présentée dans l'encadré 1, compte parmi les plus simples à mettre en œuvre. Elle permet de calculer une note synthétique (valeur comprise entre 0 et 1) agrégée sur la base d'une hiérarchisation et d'une pondération de l'ensemble des critères entrant en compte dans la décision.

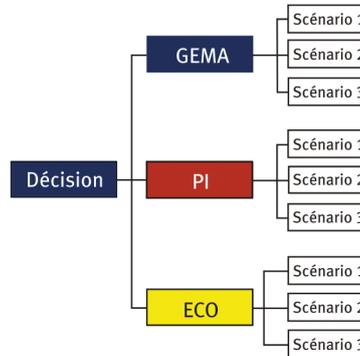
1 LE POINT SUR LA MÉTHODE AHP (ANALYSE MULTICRITÈRE HIÉRARCHIQUE)

Dans un premier temps, il convient de qualifier le cadre décisionnel relatif à la problématique de décision. Cette étape, applicable quelle que soit la méthode AMC choisie, permet de fixer l'entité ayant la responsabilité de la décision, les limites de l'évaluation, de définir notamment quelles sont les alternatives d'aménagement (ou scénarios) à évaluer, et quels sont les critères (ex. : socio-culturels, économiques, environnementaux) pertinents à utiliser pour les comparer (voir l'article de Tacnet *et al.*, pages 48-53, dans ce même numéro). La seconde étape consiste à structurer la hiérarchie des critères de décision et les alternatives sous une forme arborescente (arbre de décision) à plusieurs niveaux (figure 1 A et B). Les critères et alternatives sont comparés deux à deux à chaque niveau de l'arbre de décision (figure 1 C).

A Identification des alternatives d'aménagement et des critères d'évaluation



B Agencement des critères et alternatives en arbre de décision



1 Les quatre grandes étapes de l'AHP classique, de l'identification des critères d'évaluation jusqu'à l'évaluation des alternatives d'aménagement selon un critère unique synthétique (la décision).

C Attribution des préférences à tous les niveaux de l'arbre NB : dans les cases jaunes, sont indiquées les valeurs de l'échelle de Saaty

C1 Préférences entre critères

Ligne / colonne	GEMA	PI	ECO	w
GEMA	1,000	1,000	1,000	0,333
PI	1,000	1,000	1,000	0,333
ECO	1,000	1,000	1,000	0,333
Somme	3,000	3,000	3,000	1,000

C2 Préférence entre alternatives (évaluation des performances des alternatives)

C2.1 Pour le volet GEMA

Ligne / colonne	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	w
Scénario 1	1,000	1,000	0,200	0,143
Scénario 2	1,000	1,000	0,200	0,143
Scénario 3	5,000	5,000	1,000	0,714
Somme	7,000	7,000	1,400	1,000

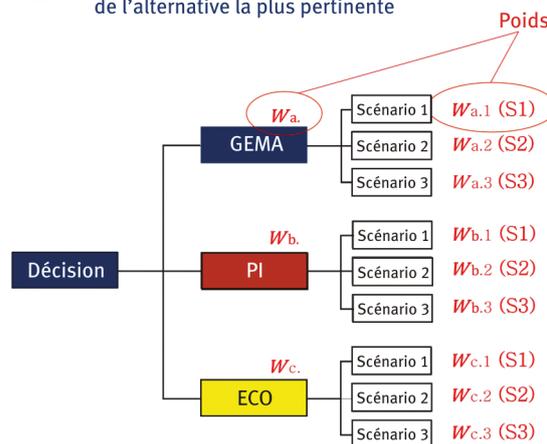
C2.2 Pour le volet PI

Ligne / colonne	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	w
Scénario 1	1,000	0,143	0,500	0,094
Scénario 2	7,000	1,000	5,000	0,738
Scénario 3	2,000	0,200	1,000	0,168
Somme	10,000	1,343	6,500	1,000

C2.3 Pour le volet ECO

Ligne / colonne	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	w
Scénario 1	1,000	0,333	0,333	0,143
Scénario 2	3,000	1,000	1,000	0,429
Scénario 3	3,000	1,000	1,000	0,429
Somme	7,000	2,333	2,333	1,000

D Agrégation totale des poids calculés pour chaque branche de l'arbre et choix de l'alternative la plus pertinente



EXEMPLE – Évaluation Scénario 1 :
 $WS1 = (W_{a.1} * W_a) + (W_{b.1} * W_b) + (W_{c.1} * W_c)$

Les alternatives d'aménagement sont comparées entre elles au dernier niveau de l'arborescence. Cette comparaison se fait via une matrice de préférences qui permet de déterminer des poids relatifs pour chaque critère et alternative à défaut de méthode de pondération fixée par la loi ou par des méthodes dédiées. Les préférences sont attribuées selon une échelle qualitative à 9 niveaux (Saaty, 1980), reliant des valeurs chiffrées à des expressions verbales : 1 signifie critère A d'importance égale à critère B, jusqu'à 9 qui signifie critère A absolument plus important que critère B. Des valeurs intermédiaires (de compromis) peuvent également être renseignées (figure 2).

Finalement, les poids calculés pour les critères et les alternatives sont agrégés de la racine vers les feuilles de l'arbre (critères terminaux) selon un principe qui s'apparente à une somme pondérée (figure 1 D). Une version simplifiée du calcul a été codée sur tableur Excel. Elle permet l'obtention directe des poids des critères et des alternatives.

2 Échelle d'importance relative utilisée pour comparer entre eux les critères d'un même niveau (toutes les combinaisons par paires, telles que présentées en exemple dans les tableaux de la figure 2 C (échelle dite de Saaty, 1980).

Critère A	Critère B	Valeurs de compromis
(critère A) aussi important que (critère B)	1,000	2,000
un peu plus important que	3,000	4,000
plus important que	5,000	6,000
beaucoup plus important que	7,000	8,000
absolument plus important que	9,000	

Critère B	Critère A	Valeurs de compromis
aussi important que	1,000	0,500
un peu moins important que	0,333	0,250
moins important que	0,200	0,167
beaucoup moins important que	0,143	0,125
absolument moins important que	0,111	

► Cette méthode reste simple d'application, mais n'est pas exempte de biais qu'il est important de connaître avant d'en faire usage. Parmi les critiques connues, notons :

- la possibilité de compensation entre critères. Si les poids sont les mêmes, une bonne évaluation sur un critère peut en effet balancer une mauvaise sur un autre : on comprend aisément ici l'importance de la détermination des préférences ;
- le mode de calcul des poids à partir de préférences subjectives ;
- le renversement de rang.

Du fait du mode d'agrégation des poids calculés (somme pondérée), des écarts de performance sur certains critères entre les alternatives évaluées peuvent être masqués ou mal interprétés. Il faut garder en mémoire que même si les différences d'évaluation sont minimes, une meilleure note indique une meilleure solution, la valeur des scores ne doit pas perturber l'interprétation. En pratique, si la méthode supporte théoriquement un nombre infini de niveaux de critères, l'expérience montre que l'esprit humain ne peut comparer valablement que sept critères au maximum en raisonnant par paires. Au-delà, il devient difficile de comparer deux à deux les critères d'une même matrice sans éviter des incohérences. Il faut donc limiter le nombre de critères de même niveau hiérarchique (le nombre de branches à un embranchement). On recommande un nombre maximal de sous-critères entre trois et quatre. Enfin, il convient de veiller à construire un arbre de critères qui soit le plus équilibré possible, c'est-à-dire avec des profondeurs de niveaux de critères équivalentes entre les branches de l'arbre. Plus un critère sera situé en profondeur dans l'arbre et moins son influence sur le résultat final sera importante. D'autres méthodes existent, notamment les méthodes d'agrégation partielle qui permettent de limiter ces écueils (méthode Electre par exemple). Ces méthodes sont cependant moins simples à mettre en œuvre et les résultats plus longs et complexes à interpréter par les décideurs.

Déploiement de la méthode sur le site du Grand Büech à la Faurie

Contexte

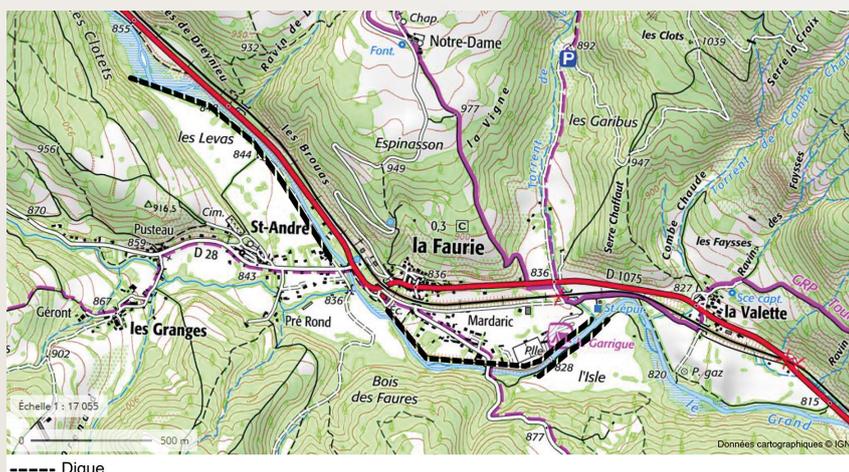
Le SMIGIBA, syndicat de rivière du bassin versant du Büech et de ses affluents, a fait appel à un bureau d'études (Hydrétudes) afin de qualifier le risque inondation sur la commune de la Faurie (Hautes-Alpes), de proposer des scénarios d'aménagements préventifs et de réaliser une analyse coûts-bénéfices étendue (AMC au sens MTES/DGPR, 2017) sur ces aménagements (Hydrétudes, 2017). En parallèle, le SMIGIBA a bénéficié d'un soutien de l'État pour la mise en place d'une démarche expérimentale d'utilisation d'une méthode d'analyse multicritère d'aide à la décision. L'objectif de cette dernière est de proposer un complément à la méthodologie du cahier des charges AMC PAPI pour explorer la prise en compte conjointe de critères environnementaux, économiques et de réduction des risques. C'est dans ce cadre qu'Irstea a conduit ses travaux d'analyse selon le principe de l'AHP sur les scénarios d'aménagements proposés par le bureau d'études tout en combinant les évaluations et les méthodes tel que présenté dans Tacnet *et al.* (pages 48-53, dans ce même numéro).

Des scénarios ont été proposés pour le secteur d'Aspremont plus en aval, mais seuls les scénarios et analyses effectuées pour le site de la Faurie sont présentés ici. Pour le site, six scénarios (dont un scénario de référence correspondant à l'état initial) ont été proposés. Le premier prévoit une réfection des digues en place (figure 3). Le second prévoit l'arasement d'une partie de la digue amont (digue des Levas) et de la digue aval en rive droite en face du camping. Le scénario 3 consiste en un effacement d'une partie de la digue des Levas associé à la création d'une digue transversale en amont des habitations du secteur de St-André et un élargissement du lit en rive droite en face du camping. Les scénarios n° 4 et n° 5 prévoient un élargissement du lit au droit de la digue des Levas et sur le secteur du camping, avec en plus un remplacement du pont pour le scénario n° 5.

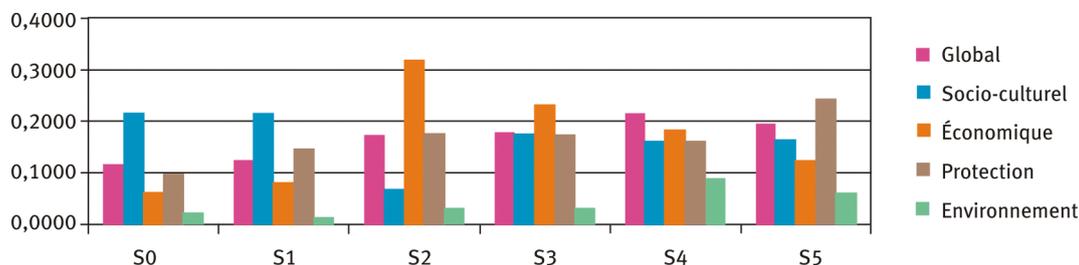
Premiers résultats et perspectives

À la suite d'échanges avec les partenaires et élus, le SMIGIBA a proposé une première liste de critères liés aux principaux aspects qu'il souhaitait voir pris en compte dans l'analyse multicritère. Ces critères ont été repris et complétés pour aboutir à un total de soixante-trois critères regroupés selon quatre entrées (ou macro-critères) : socio-culturel (impacts sur le patrimoine, sur les usages et le paysage), économique (pertinence économique des aménagements selon les résultats de l'ACB réalisée par Hydrétudes), protection contre les inondations (impact notamment sur la population, les habitations, les infrastructures, les surfaces agricoles avec prise en compte du risque de défaillance des ouvrages) et l'environnement. Les critères environnementaux ont fait l'objet de travaux à part entière menés en parallèle. Le centre Irstea d'Aix-en-Provence a élaboré des critères liés aux milieux et aux espèces aquatiques, et le centre de Grenoble a appliqué une méthode d'analyse de l'impact des aménagements sur le fonctionnement hydrogéomorphologique du cours d'eau (Piton *et al.*, pages 58-61, dans ce même numéro). L'ensemble des soixante-trois critères a été agencé dans un arbre de critères à plusieurs niveaux avec, au niveau de chaque feuille (critère terminal) les six scénarios alternatifs d'aménagement qui ont fait l'objet d'une évaluation selon plusieurs indicateurs quantitatifs et qualitatifs.

3 Situation des digues en amont et en aval du village de la Faurie.



④ Classement global (note agrégée) et selon les 4 macro-critères des scénarios d'aménagement du secteur de la Faurie évalués par comparaison mutuelle au dernier niveau de l'arbre de critères avec l'échelle de préférence de Saaty. Les valeurs en ordonnées correspondent aux poids relatifs agrégés calculés pour chaque scénario.



Les valeurs obtenues pour chaque indicateur, en bout d'arbre, ont permis de guider les choix de préférences formalisés à l'aide de l'échelle de Saaty (figure ②) et de calculer des poids relatifs pour chaque scénario. Le classement résultant de cette évaluation est présenté sur la figure ④.

Le scénario n° 4, qui prévoit un élargissement du lit au droit de la digue des Levas et sur le secteur du camping, ressort comme le scénario préféré au regard de l'ensemble des familles de critères et des préférences (ou importances associées). Ce classement résulte de l'agrégation de classements possiblement différents au niveau des sous critères. Selon les seuls aspects socio-culturels, le scénario n° 1 ressort comme le meilleur. Le scénario n° 2 ressort avantageux relativement aux seuls aspects économiques, il apparaît comme le plus rentable. D'un point de vue de la protection, le scénario n° 5 apparaît comme le plus pertinent. Enfin, sur le plan environnemental, c'est le n° 4 qui semble le moins impactant.

Ce classement est basé sur une hypothèse d'importance égale entre les critères socio-culturels, économiques, de niveau de protection et environnementaux. Il reste tout à fait possible pour le décideur de fixer d'autres niveaux de préférences directement ou en concertation entre élus, habitants, services techniques et acteurs divers.

Conclusion

La méthodologie d'analyse multicritère proposée constitue un exemple d'application de la démarche globale proposée dans l'article de Tacnet *et al.* (pages 48-53, dans ce même numéro). Il s'agit d'une approche d'aide à la décision simple, rapide, modulable, facilement adaptable et peu coûteuse à mettre en place, mais aussi un outil de concertation et de médiation qui nécessite l'implication de toutes les parties intéressées. Un analyste peut proposer un modèle prédéterminé, mais cette co-construction est assurément un atout de la démarche. Elle permet en effet d'envisager une prise de décision clairement argumentée et traçable, compréhensible par tous les acteurs. Le travail méthodologique effectué par Irstea en appuie au SMIGIBA, n'est pas exclusif au bassin versant du Buëch. La méthode est transférable à d'autres bassins versants et à d'autres problématiques de décision. Autre atout, le déploiement de la méthode peut être ajusté selon le niveau de complexité de la décision en adaptant la profondeur de l'arbre de critères. Suivant les

compétences technico-scientifiques et les enjeux, il sera dans certains cas inutile de déployer un arbre de décision trop détaillé, alors que dans d'autres contextes, un niveau de spécificité très poussé sera nécessaire.

Finalement, la complexité grandissante des choix décisionnels en matière de gestion des cours d'eau, imposée notamment par les nouvelles politiques de gestion intégrée (PAPI, GEMAPI), tendent à accroître le besoin de traçabilité des décisions. Les méthodes d'aide multicritère, telle que la méthode AHP présentée à titre d'exemple, permettent de garder la trace des choix effectués, de l'expression des besoins pris en compte, jusqu'à l'identification d'une solution d'aménagement pertinente, en passant par la formalisation de critères, d'indicateurs d'évaluation des performances des alternatives et de leur pondération à tous les niveaux de l'arbre. Des résultats partiels provenant d'autres méthodes peuvent également être utilisés et combinés. ■

Les auteurs

Félix PHILIPPE, Guillaume PITON et Jean-Marc TACNET

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

✉ felix.philippe@irstea.fr

✉ guillaume.piton@irstea.fr

✉ jean-marc.tacnet@irstea.fr

Antoine GOURHAND

Syndicat mixte de gestion intercommunautaire du Buëch

et de ses affluents (SMIGIBA),

Maison de l'Intercommunalité, F-05140 Aspres-sur-Buëch, France.

✉ agourhand.smigiba@orange.fr

EN SAVOIR PLUS...

📄 **MTEs-DGPR**, 2017, Cahier des charges PAPI 3 – Plan d'actions de prévention des inondations, Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer – Direction générale de la prévention des risques, 61 p., <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/prevention-des-inondations>

📄 **HYDRÉTUDES**, 2017, Analyse multicritères sur les scénarios d'aménagement du Buëch vis-à-vis du risque inondation – Analyse multicritères – Réf. GA16-30/Etude/Version 1, SMIGIBA.

📄 **SAATY, T.**, 1980, *The analytic hierarchy process*, McGraw Hill.