



# Protection contre les inondations et mise en valeur des atouts environnementaux : le défi du Buëch

**Présentation : Corinne Curt – Antoine Gourhand**

Travaux menés par :

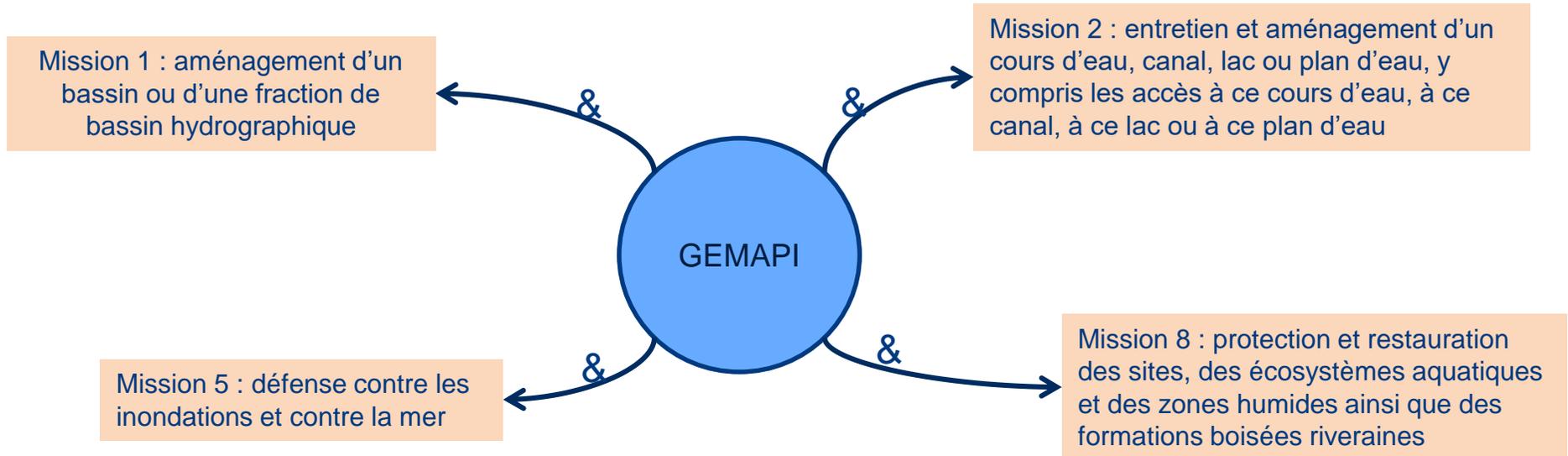
**Irstea Aix-en-Provence – UR RECOVER** : C Curt – P Di Maiolo – P Mériaux –  
Y Le Coarer – M Vennetier

**Irstea Grenoble – UR ETNA** : JM Tacnet – G Piton – F Philippe

**SMIGIBA** : A Gourhand – C Gand – J Prouteau-Hoffmann – C Ruhl – C Vassas



# Contexte : des enjeux multiples



Extrait du guide méthodologique 2018 « Analyse multicritère des projets de prévention des inondations » :

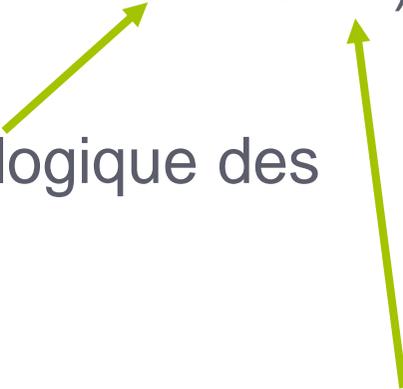
*Quels sont les bénéfices potentiels d'un projet de protection contre les inondations ? **Le projet étudié bénéficie-t-il davantage aux logements, aux entreprises, au secteur agricole ou au secteur public ?** Quelle commune en bénéficie le plus ? Quels vont potentiellement être les impacts négatifs de l'aménagement ? Combien d'habitants et d'emplois seront protégés ? Quel est le coût du projet par habitant protégé ? Par emploi protégé ? **Quels sont les coûts subis par l'environnement ? ...***

Décisions complexes, nombreux critères à considérer

→ Développement d'outils d'aide à la décision permettant d'intégrer les enjeux environnementaux et mieux adaptés à la réalité d'un territoire rural de montagne



# Trois résultats principaux

- Application de l'analyse multicritères hiérarchique à l'étude de scénarios d'aménagements (critères techniques, économiques, socio-culturels et environnementaux)
  - Evaluation de l'impact hydro-morphologique des aménagements
  - Développement d'indicateurs évaluant les effets des aménagements sur les écosystèmes
- 



Travaux menés en collaboration étroite entre équipes Irstea et le SMIGIBA



**Gestion intégrée des ouvrages de protection et des milieux :**  
*De l'expertise technique à l'aide à la décision dans le cadre  
d'application de la GEMAPI*

Analyse multicritères pour l'évaluation des aménagements  
*Application au Buech (SMIGIBA): sites de la Faurie et  
d'Aspremont*

*Synthèse des travaux réalisés par Irstea, U.R. Erosion Torrentielle Neige et Avalanches, Grenoble en*

*collaboration et pour le*

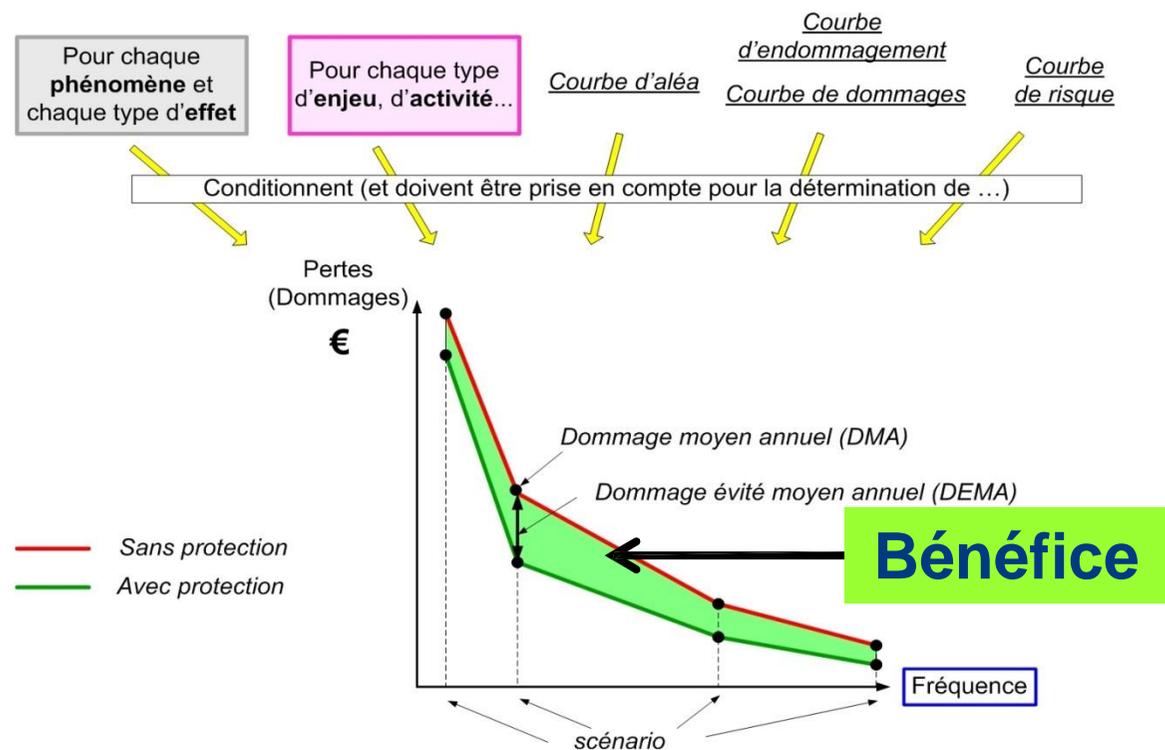


*(A. Gouhrand, C. Vassas)*

Jean Marc TACNET (synthèse) , Guillaume. PITON, Félix PHILIPPE

**Existant** : L'analyse coût-bénéfices (ACB) a été étendue dans le cadre de la méthodologie Analyse Multicritères du cahier des charges PAPI 3 (MTES/CGDD, 2018)

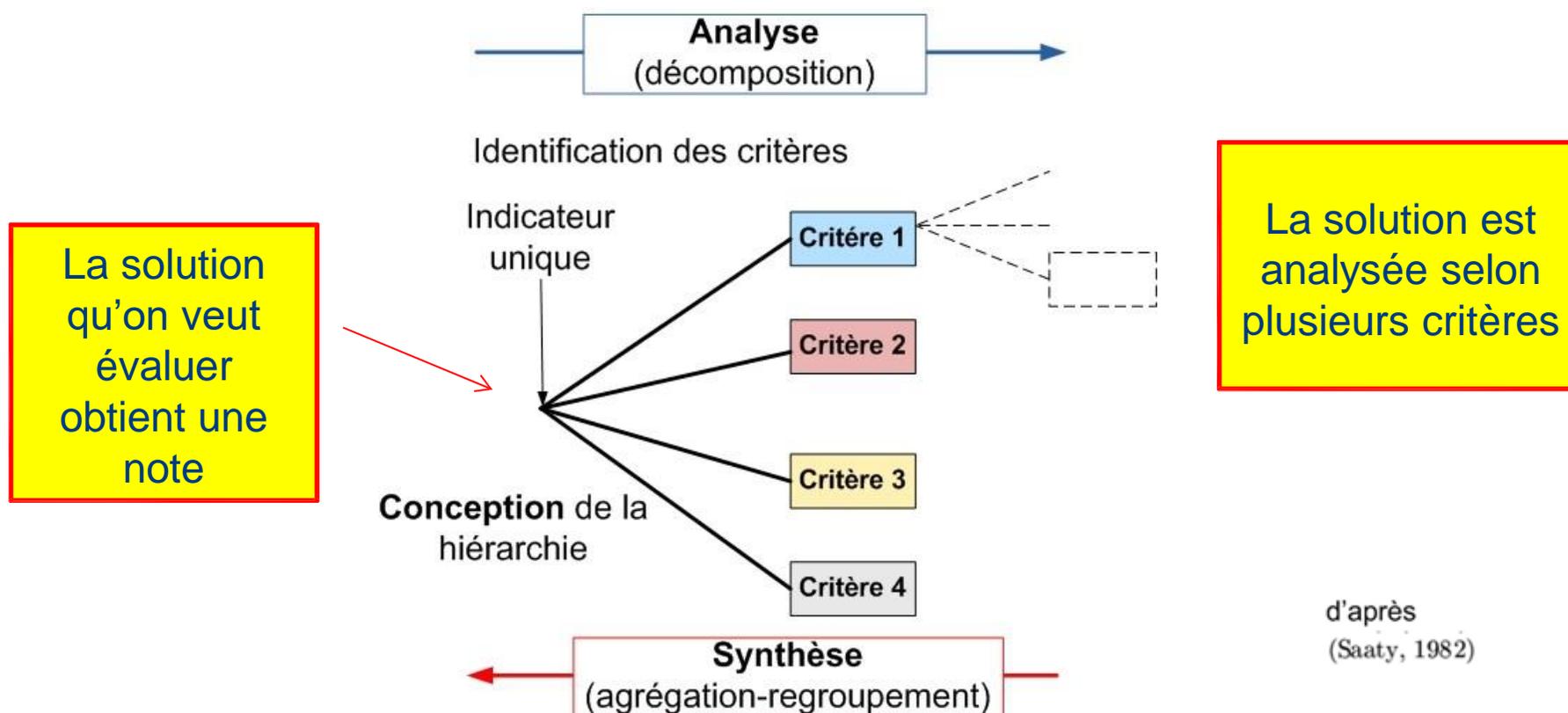
5



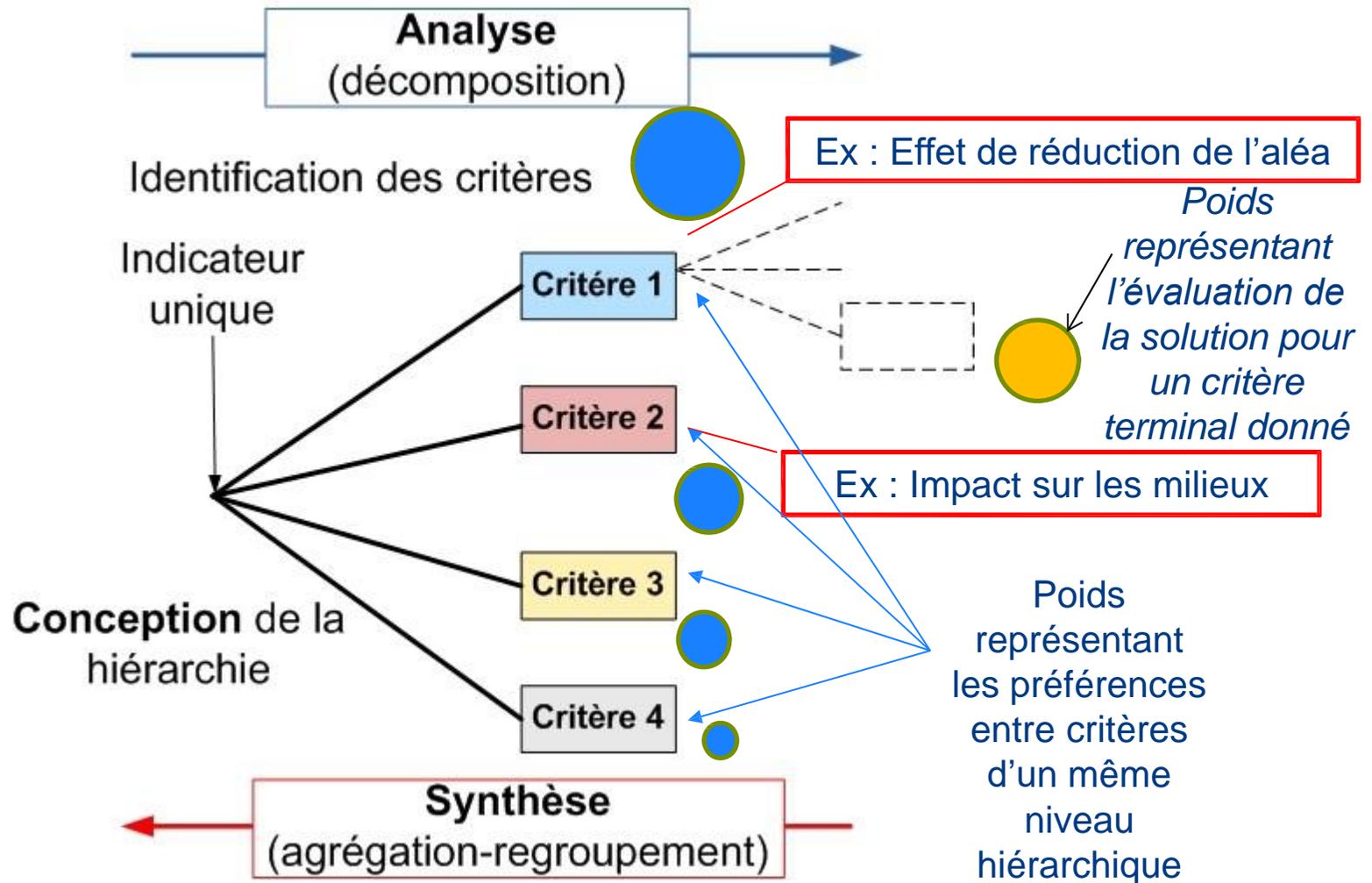
irstea Jean-Marc TACNET - 161207

Dans le contexte GEMAPI, la **méthodologie proposée ci-après** utilise des critères de cette méthode (notamment économiques) mais utilise **une approche différente** : l'aide multicritères à la décision

L'analyse multicritère hiérarchique (AHP) est une méthode simple et intuitive\* : On décompose une décision en sous-problèmes, on évalue, puis on agrège



# Le décideur exprime ses préférences sur les critères et sur les solutions



$$\text{Yellow Circle} = \text{Large Blue Circle} \times \text{Yellow Circle} + \text{Medium Blue Circle} \times \dots + \text{Small Green Circle} \times \dots$$

Poids du critère 1 X poids la solution évaluée par rapport à ce critère

Tacnet, J.-M., Piton, G., et Philippe, F. ; 2018- Synthèse travaux AAP Gemapi Cerema/irstea - 181024



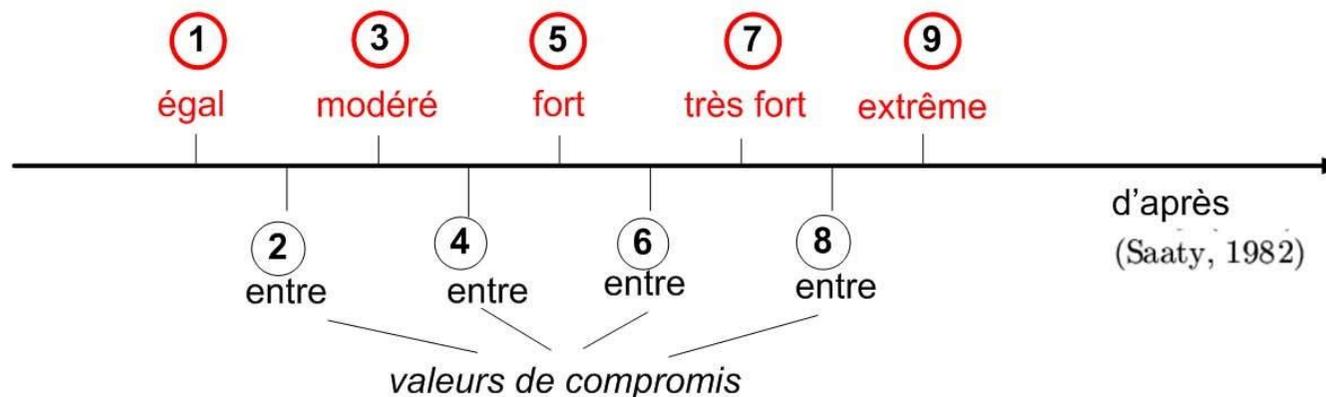
# Les principes de la méthode AHP

**Sens de préférence** : importance entre critères (dans l'arbre) ou solutions (critères terminaux, feuilles)

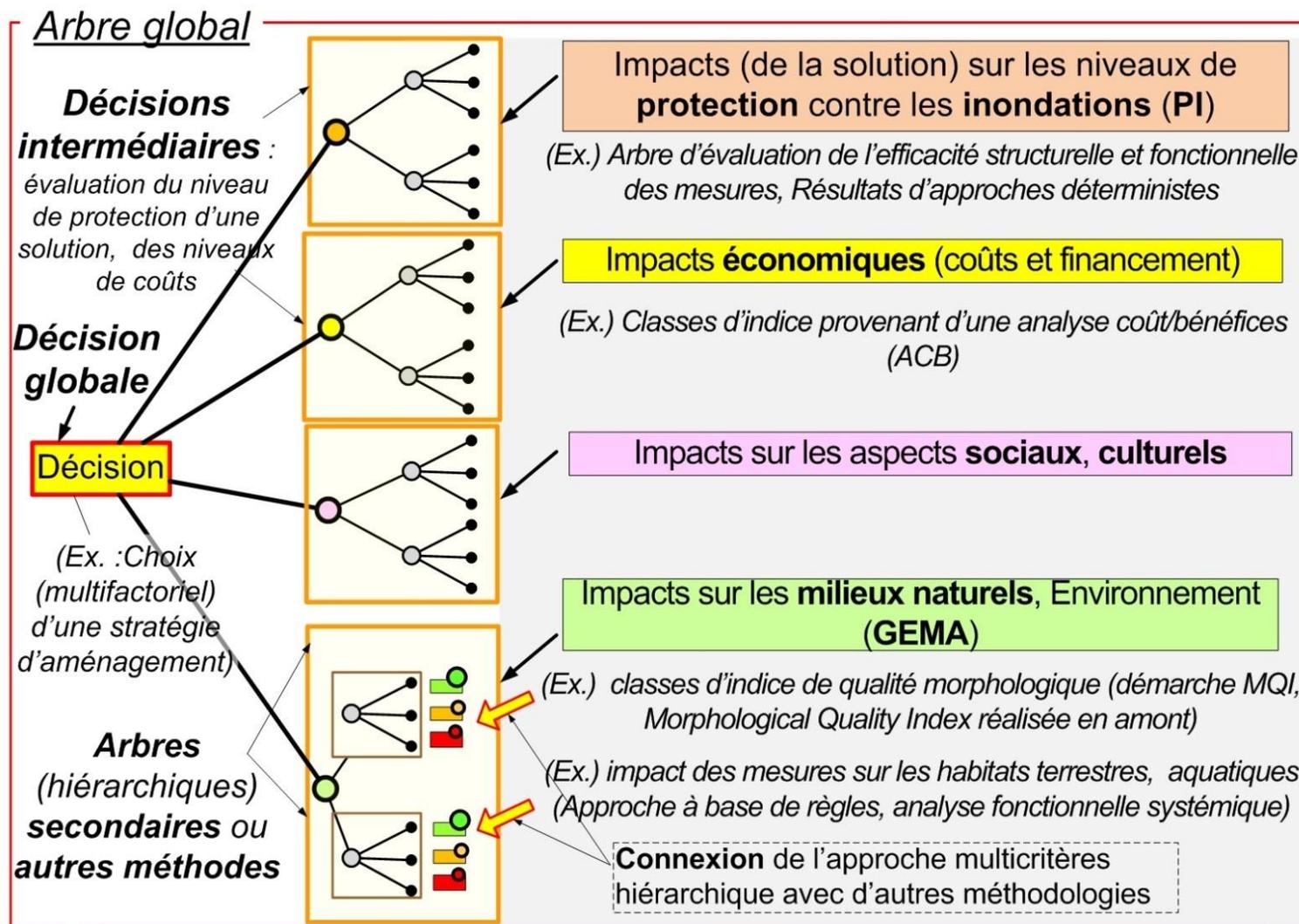
	GEMA	PI	.....
GEMA	1	0.2	
PI	5	1	
.....			

La solution B est fortement préférée à la solution A

**Echelle qualitative de préférence** entre critères évalués par paire



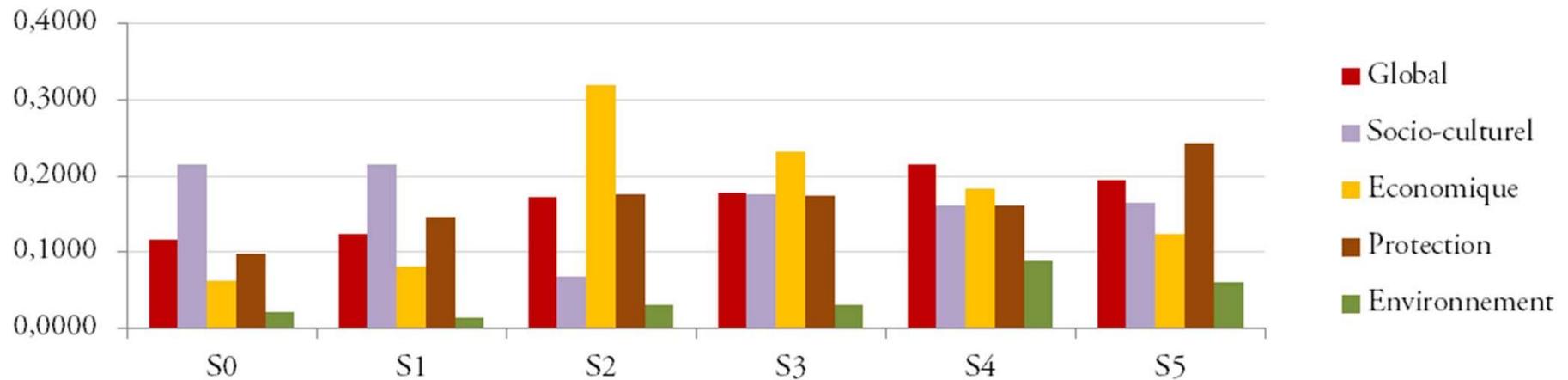
Un arbre hiérarchique modulaire est proposé. Il regroupe agrège plusieurs sous-arbres



J.-M. Tacnet 180820

(soumis SET, 9/2018)

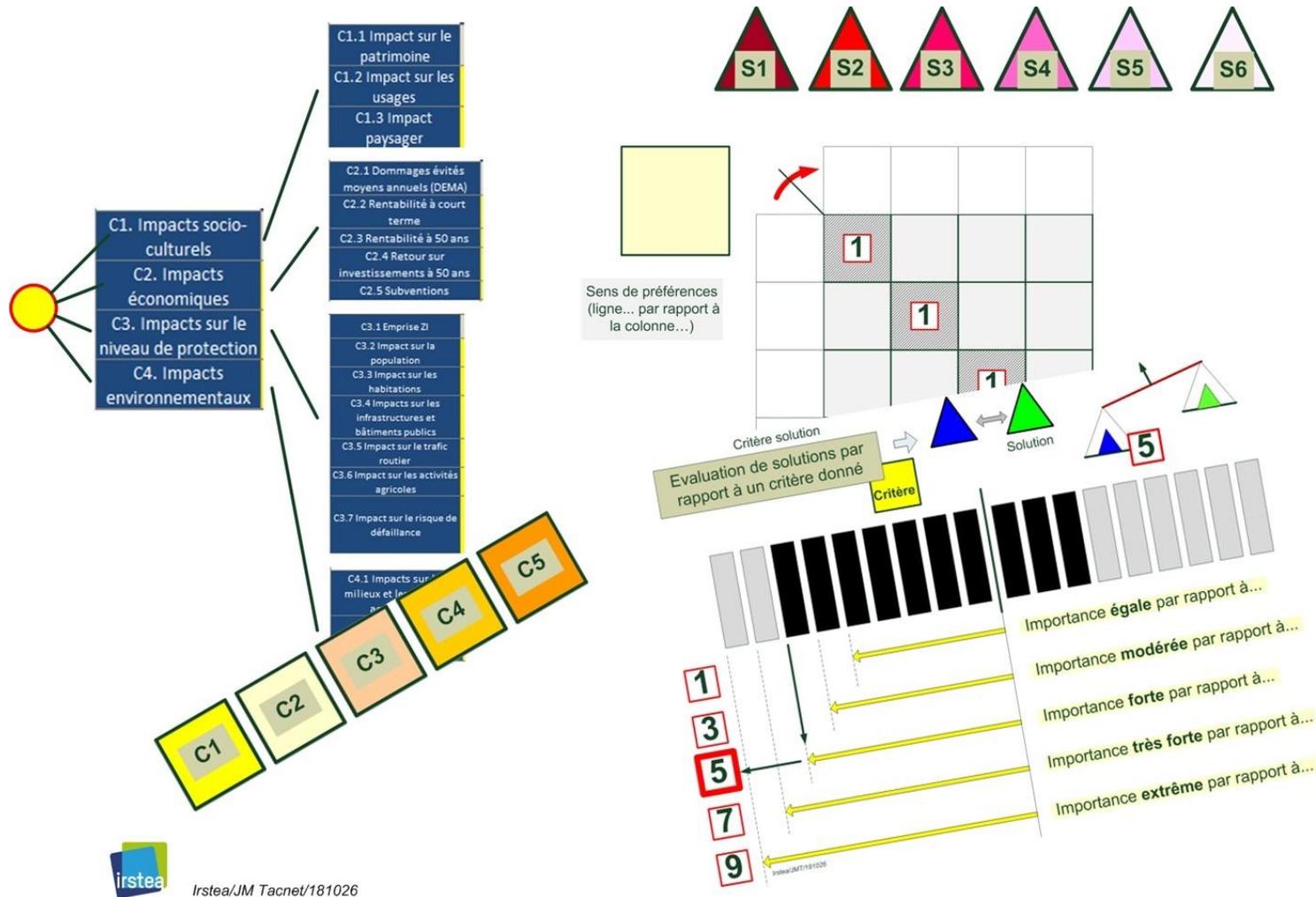
## Exemple de résultats : classement provisoire des scénarios pour le site de la Faurie



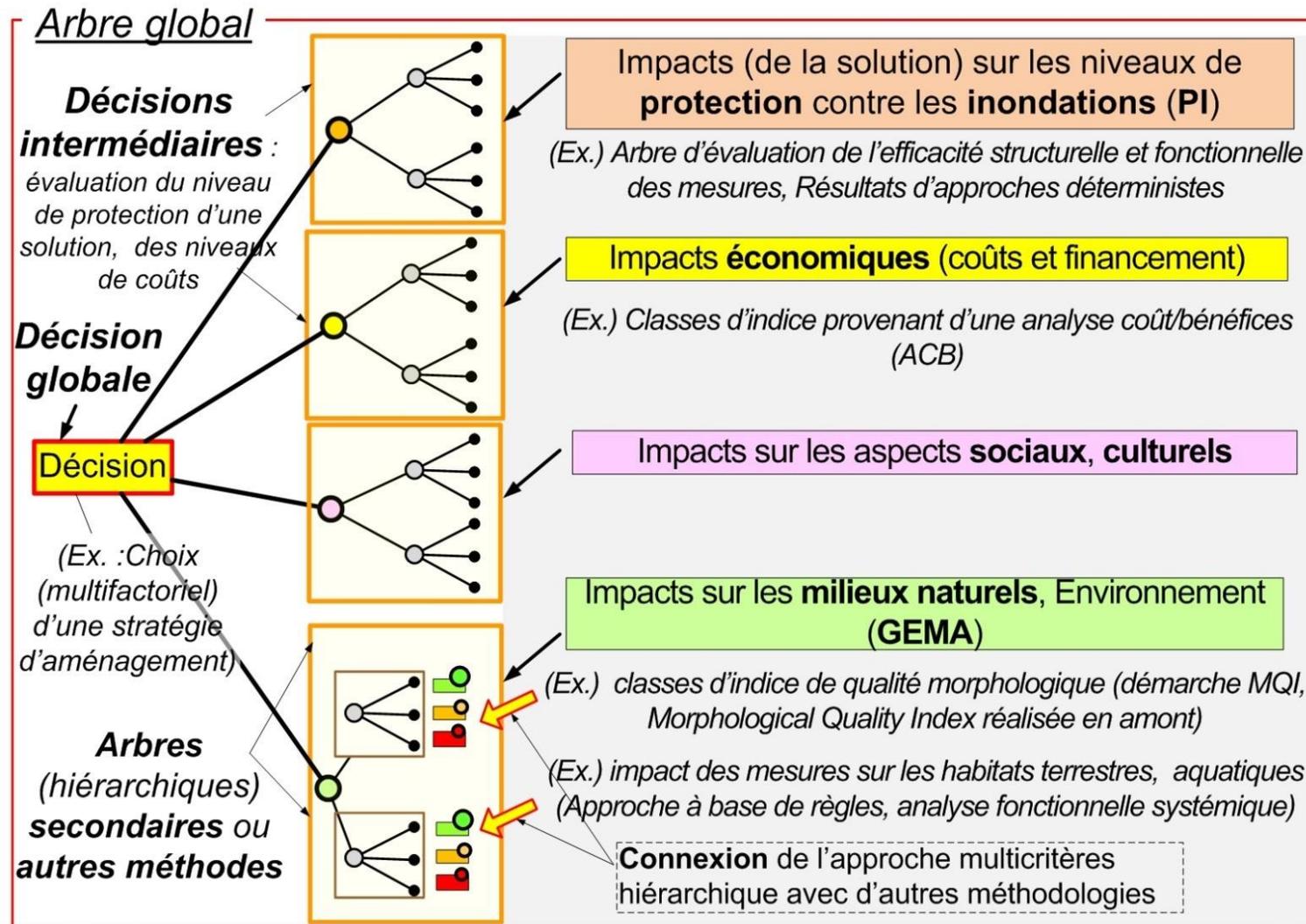
	Socio-culturel	Economique	Niveau de protection	Environnement
<b>Meilleur</b>	S0	S2	S5	S4
	S1	S3	S2	S5
	S3	S4	S3	S2
	S5	S5	S4	S3
	S4	S1	S1	S0
<b>Moins bon</b>	S2	S0	S0	S1



Une session de transfert de la méthodologie organisée avec les élus et techniciens du Smigiba : présentation des solutions, explication de la hiérarchie, expression des préférences...



Un arbre hiérarchique modulaire est proposé. Il regroupe agrège plusieurs sous-arbres



J.-M. Tacnet 180820

(soumis SET, 9/2018)



# Indicateurs de qualité hydro-géomorphologiques

*Synthèse des travaux réalisés par Irstea, U.R. Erosion Torrentielle Neige et Avalanches, Grenoble en*

*collaboration et pour le*



*(A. Gouhrand, C. Vassas)*

Jean Marc TACNET (synthèse), Guillaume PITON, Félix PHILIPPE

## Evaluer la qualité hydrogéomorphologique d'un cours d'eau

### Morphological Quality Index (MQI) – Index de qualité morphologique

RINALDI ET AL. *GEOMORPHOLOGY*(2013) + PROJET REFORM

→ 28 indicateurs portants sur différentes thématiques (Fonctionnalité, Artificialisation, Ajustement du lit).

#### 1. Découpage des tronçons sur critères

Confinement, Morphologie, Ruptures, affluents ou ouvrages clés

#### 2. Estimation des indicateurs par tronçon

SIG, Bibliographie, Terrain

#### 3. Estimation des modifications apportées aux indicateurs pour chaque tronçon et chaque variante d'aménagement

Mise à jour des indicateurs : SIG + dire d'expert

→ Agrégés pour donner une note [0,1] de qualité morphologique

Rinaldi et al.  
(2015)  
*Deliverable*  
6.2, Part 5, of  
REFORM EU  
project



# Effet des aménagements (MQI)

Indicateurs

Exemple de résultat sur :  
*le Grand Buëch à la Faurie*

- Classement des scénarios d'aménagement entre :
  - « maintien de l'état actuel » S0,
  - « dégradation légère » S1,
  - « restauration moyenne » S2-3,
  - « restauration ambitieuse » S4-5.
- 2-3 jours de travail par tronçon
- Réalisable en interne avec des moyens classiques (SIG, terrain, géomorphologie de base)
- Outil objectif, répétable et transférable

Tronçon		LaFau - S0	LaFau - S1	LaFau - S2	LaFau - S3	LaFau - S4	LaFau - S5
Indicateur	Nom	Note	Note	Note	Note	Note	Note
F1	continuité longitudinale des flux de sédiment et de bois	A	A	A	A	A	A
F2	Présence d'un lit majeur moderne	A	A	A	A	A	A
F3	Connectivité versant – corridor rivulaire						
F4	Processus de migration des berges	C	C	C	C+ (γ)	A- (δ)	A- (δ)
F5	Présence d'un corridor potentiellement érodable	C	C	C	C+ (γ)	B+ (δ)	B+ (δ)
F6	Cohérence entre faciès général du lit et pente de la vallée						
F7	Altération locale du faciès du lit	C	C	B- (β)	B- (γ)	B+ (δ)	B+ (δ)
F8	Traces de géomorphologie fluviale dans le lit majeur						
F9	Altération de la variabilité naturelle de la section en travers	C	C	B- (β)	B- (γ)	B+ (δ)	B+ (δ)
F10	Altération de la granulométrie	C1+	C1+	B- (β)	B- (γ)	A (δ)	A (δ)
F11	Présence de gros bois mort	C	C	B- (β)	B- (γ)	B+ (δ)	B+ (δ)
F12	Largeur de la ripisylve	B	B- (α)	B	B+ (γ)	A- (δ)	A- (δ)
F13	Extension linéaire de la ripisylve	A	B (α)	A	A	A	A
	Fonctionnalité	0.40	0.33	0.58	0.58	0.77	0.77
A1	Altération amont de l'hydrologie	A	A	A	A	A	A
A2	Altération amont du débit solide	A	A	A	A	A	A
A3	Altération hydrologique au sein du tronçon	A	A	A	A	A	A
A4	Altération du débit solide au sein du tronçon	A	A	A	A	A	A
A5	Structures transversales	C	C	C	C	C	C (ε)
A6	Protections de berge	D	D	D	D	D	D
A7	Endiguement artificiels	C+	C+	B- (β)	B- (γ)	B- (β)	B- (β)
A8	Modification artificielle du tracé du cours d'eau	A	A	A	A	A	A
A9	Autre ouvrages de stabilisation du lit	A	A	A	A	A	A
A10	Extraction de sédiment	B1+	B1+	B1+	B1+	B1+	B1+
A11	Extraction du bois mort	A	A	A	A	A	A
A12	Gestion de la végétation	B	C (α)	B	B	B	B
	Artificialité	0.79	0.74	0.83	0.83	0.83	0.83
CA1	Ajustement du faciès de lit	C+	C+	B- (β)	B (γ)	A (δ)	A (δ)
CA2	Ajustement de la largeur du lit	B+	B+	B+	B+	A (δ)	A (δ)
CA3	Ajustement du niveau du lit	B	B	B+ (β)	A- (γ)	A (δ)	A (δ)
	Ajustement du chenal	0.46	0.63	0.58	0.75	1.00	1.00
	<b>MQI</b>	<b>0.60</b>	<b>0.59</b>	<b>0.71</b>	<b>0.74</b>	<b>0.84</b>	<b>0.84</b>
	[MQImin; MQImax]	[0.6;0.71]	[0.55;0.7]	[0.6;0.78]	[0.62;0.81]	[0.79;0.94]	[0.79;0.94]



## Etat initial la Faurie

	LaFauAm	LaFau	LaFauAv
Fonctionnalité	0.93	0.40	0.91
Artificialité	0.76	0.79	0.88
Ajustement du chenal	0.71	0.46	0.83
<b>MQI</b>	<b>0.82</b>	<b>0.60</b>	<b>0.88</b>
[MQImin; MQImax]	[0.82;0.85]	[0.6;0.71]	[0.88;0.9]
	<u>Bon Etat</u>	<u>Etat Modéré</u>	<u>Très Bon Etat</u>

Rien, ruine des ouvrages

	S0	S1	S2	S3	S4	S5
Fonctionnalité	0.40	0.33	0.58	0.58	0.77	0.77
Artificialité	0.79	0.74	0.83	0.83	0.83	0.83
Ajustement du chenal	0.46	0.63	0.58	0.75	1.00	1.00
<b>MQI</b>	<b>0.60</b>	<b>0.59</b>	<b>0.71</b>	<b>0.74</b>	<b>0.84</b>	<b>0.84</b>
[MQImin; MQImax]	[0.6;0.71]	[0.55;0.7]	[0.6;0.78]	[0.62;0.81]	[0.79;0.94]	[0.79;0.94]
	<u>Etat modéré</u>	<u>Etat modéré</u>	<u>Bon Etat</u>	<u>Bon Etat</u>	<u>Bon état</u>	<u>Bon état</u>

**Index MQI après travaux**





# Développement d'indicateurs environnementaux → Evaluation des effets des aménagement sur les écosystèmes

Irstea Aix-en-Provence : P. Di Maiolo, C. Curt, P. Mériaux, Y. Le Coarer, M. Vennetier

SMIGIBA : A. Gourhand, C. Gand, J. Prouteau-Hoffmann, C. Ruhl, C. Vassas





# Principes

Développement d'indicateurs formalisés, mesures robustes (répétables, reproductibles)

Fondés sur connaissances hydro-morphologiques et écologiques – Milieu aquatique et forêt : connaissances expertes

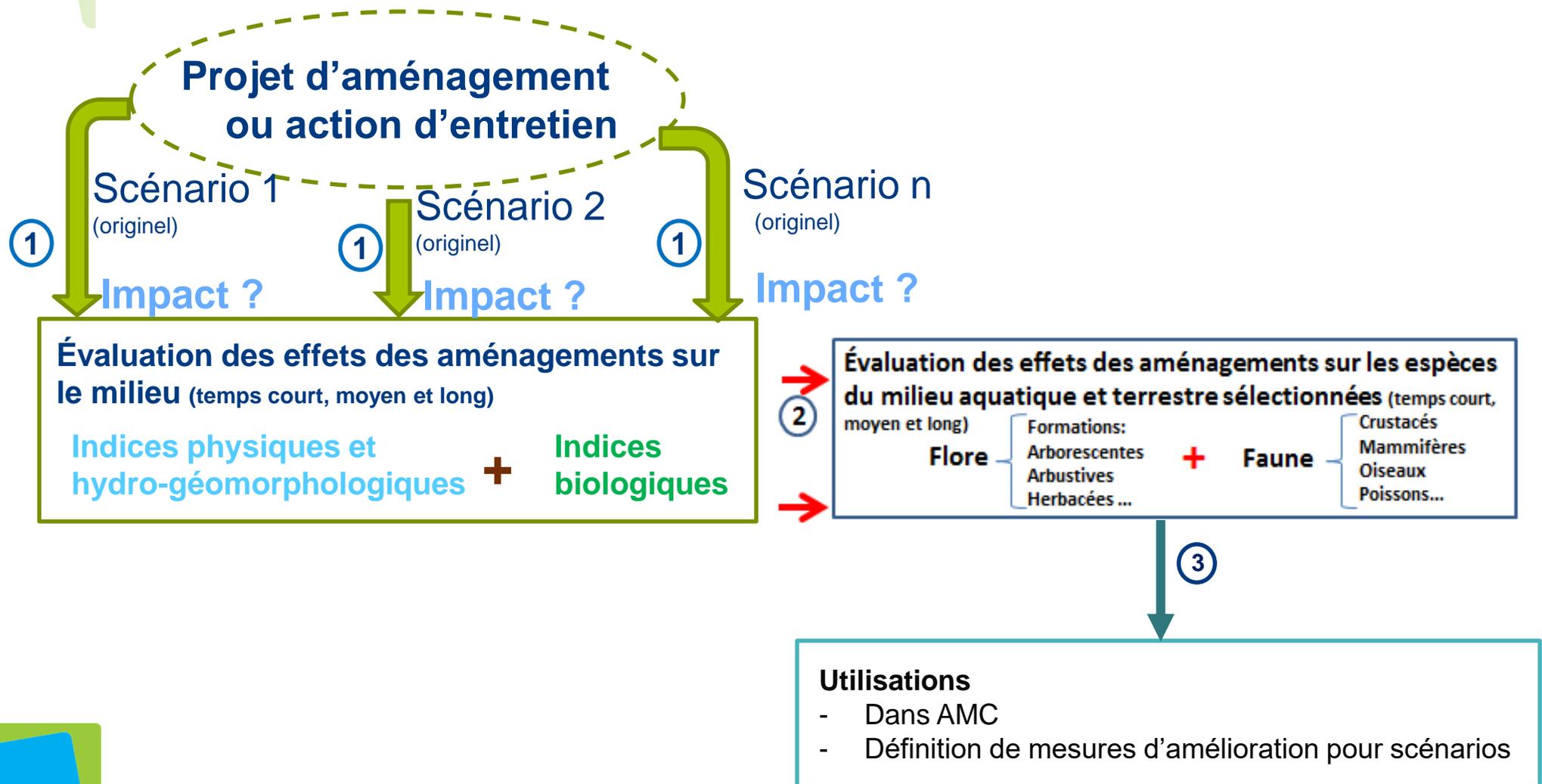
Agrégation des indicateurs pour obtenir des critères explicites pour les décideurs

Évaluations = tendances

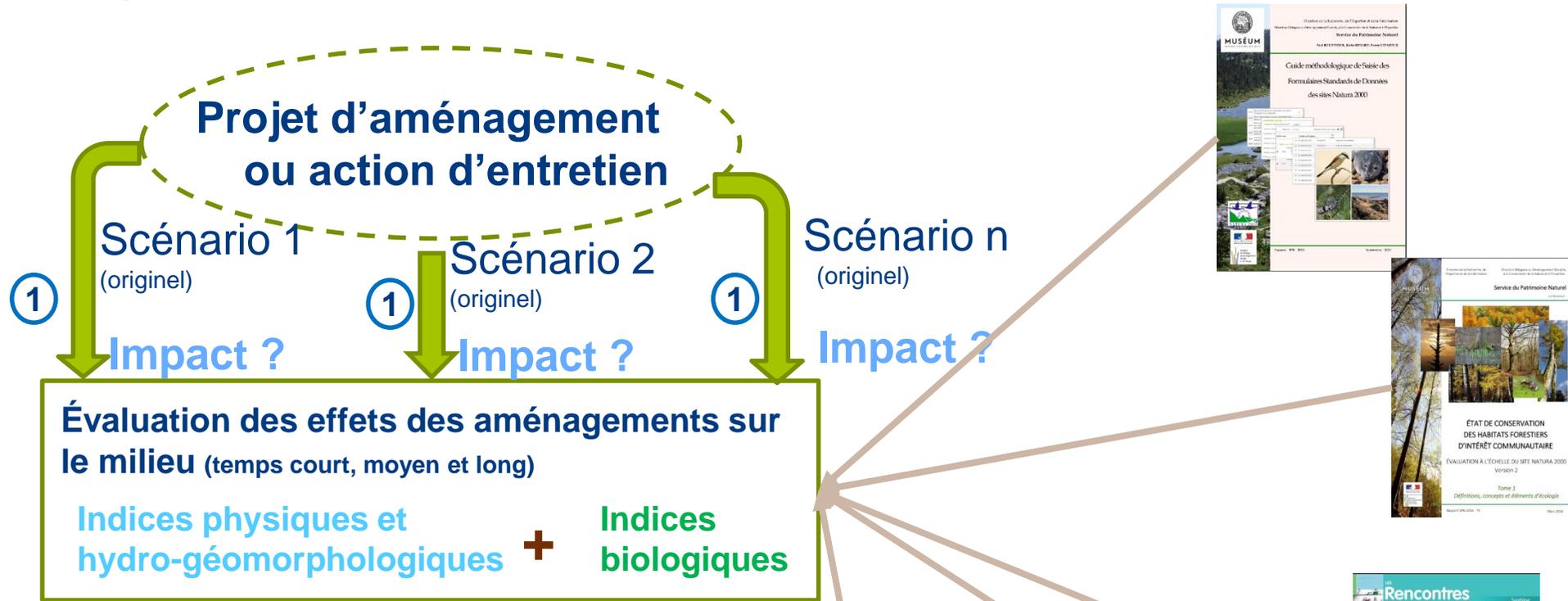
≠ note absolue des effets



# Une approche en 3 étapes



# Etape 1 : Effets des aménagements sur milieu



# Outil d'évaluation

## Effets "physico - Chimiques"

Participants: \_\_\_\_\_

Secteur: \_\_\_\_\_

Date: \_\_\_\_\_ Durée: \_\_\_\_\_

Scenario: \_\_\_\_\_

Classes proposées Impact espèces

A re

Espè

Milieux aquatiques et humides du tronçon				Temporalité et limites de l'impact					
Effet	Indice Effets Physico-chimique	Définition indice d'impact Physique	Échelle d'évaluation	N°	C	M	L	Limites	C
Propriétés du flux liquide	Dynamique spatio-temporelle	Évolution de la dynamique spatio-temporelle ou du « style fluvial » la forme générale du lit (nombre de chenaux...)	+ : Augmentation de la dynamique spatio-temporelle - : Diminution de la dynamique spatio-temporelle	1					
	Largeur du lit mineur	Évolution de la largeur moyenne du lit (bande active) sur le tronçon étudié	+ : Augmentation de la bande active - : Diminution de la bande	2					
	Hauteur d'eau moyenne	Évolution de la hauteur d'eau moyenne sur une année	+ : Augmentation de la hauteur d'eau - : Diminution de la hauteur d'eau	3					
	Hauteur d'eau d'étiage	Évolution de la hauteur d'eau minimale	+ : Augmentation de la profondeur minimale - : Diminution de la profondeur minimale	4					
	Vitesse moyenne de l'eau	Évolution de la vitesse d'eau moyenne est celle qui s'observe pendant une partie notable de l'année sur le tronçon étudié	+ : Augmentation de la vitesse moyenne de l'eau - : Diminution de la vitesse moyenne de l'eau	5					
Caractéristiques du flux liquide	Vitesse maximum de l'eau en fonction du débit	Évolution de la vitesse maximum d'eau est celle qui s'observe pendant un épisode de crue du cours d'eau sur le tronçon étudié	+ : Augmentation de la vitesse maximum - : Diminution de la vitesse maximum	6					
Qualité morphologique du lit	Discontinuités morphométriques	Évolution de discontinuités (Présence/absence : de trous d'eau, petits rapides...)	+ : Augmentation du nombre de discontinuités - : Diminution du nombre de discontinuités	7					
	Annexes hydrauliques	Évolution d'annexes hydrauliques (bras morts, rades affluents permanents ou...)	+ : Augmentation du nombre d'annexes	8					

4 Tableaux :  
(Milieu Aquatique ; Milieu Forestier)  
X  
(Effets physico-chimiques ; Effets biologiques)

50 indices à remplir (3 temps)



Court (2 ans)  
Moyen (8-10ans)  
Long (15-20ans)

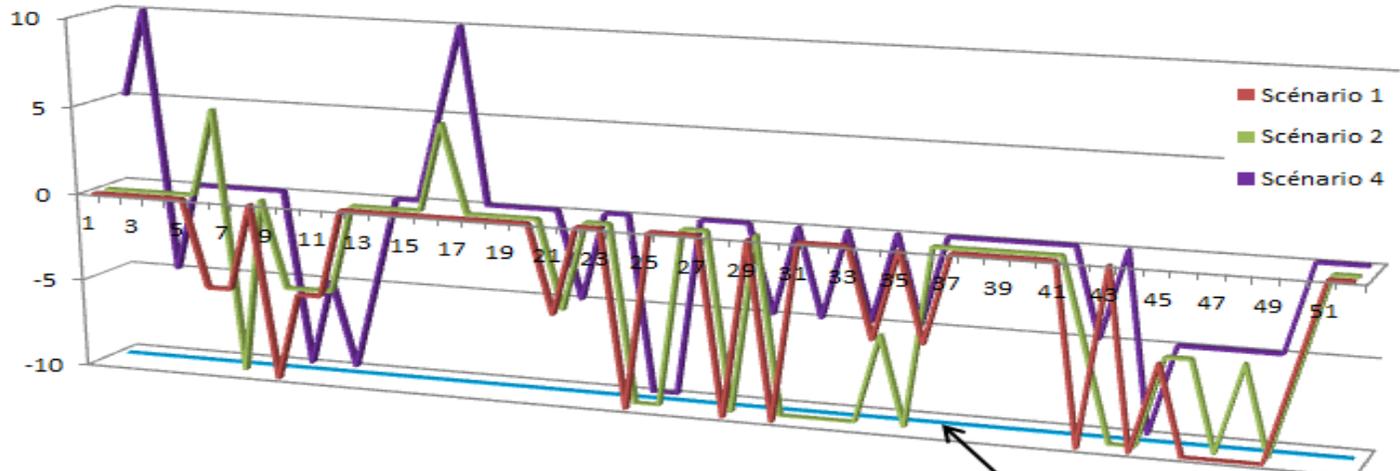
150 Indices au total



Échelle de notation du « milieu »

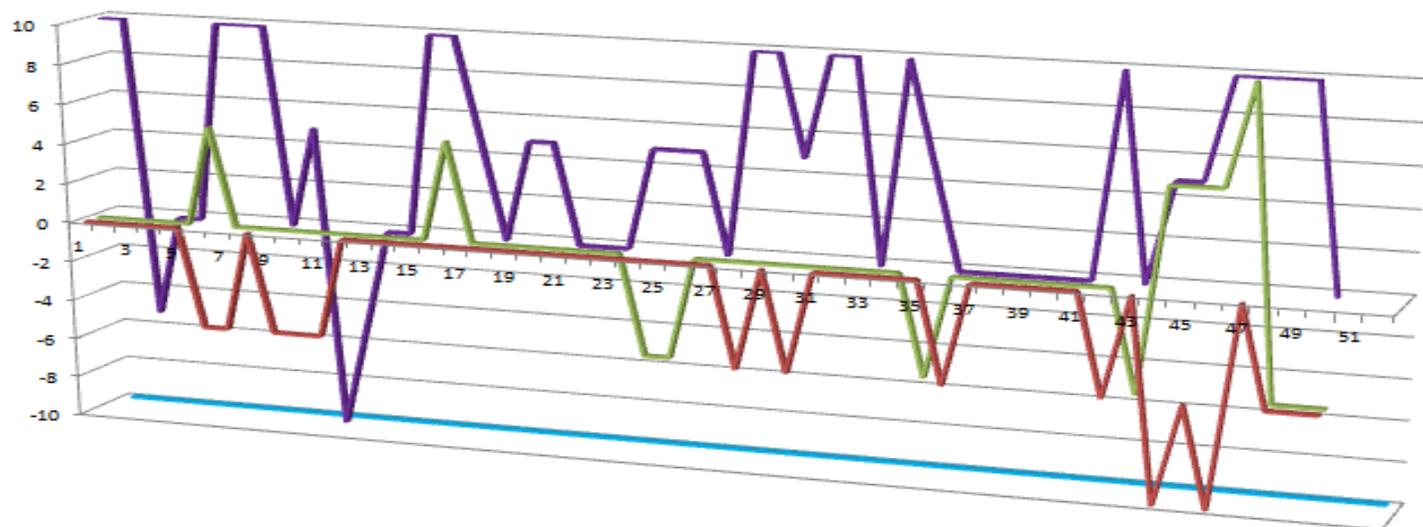


# Résultats : évaluation de 3 scénarios aménagement



Comparaison des scénarios temporalité "courte" secteur de la Faurie (Buech)

Seuil mesure d'amélioration

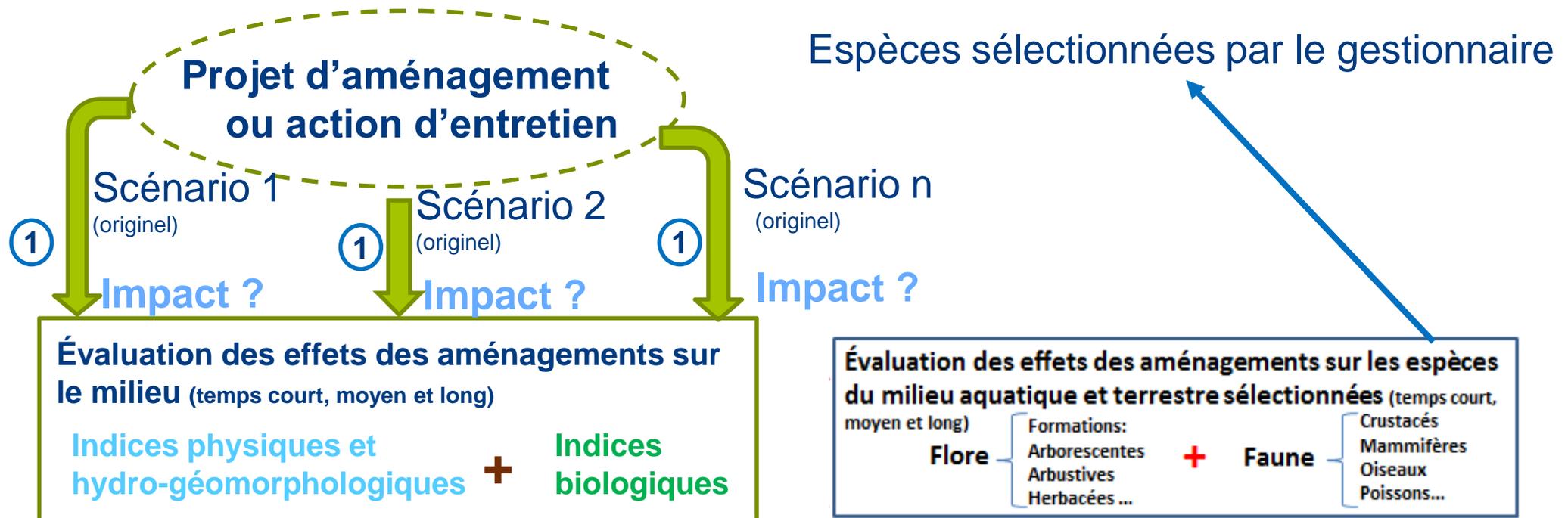


Comparaison des scénarios avec une temporalité "longue" secteur de la Faurie (Buech)

- Scénario 1
- Scénario 2
- Scénario 4
- Seuil mesure d'amélioration



# Etape 2 : Effet sur les espèces et habitats



# 14 Espèces et 2 habitats sélectionnés 24

## Espèces aquatiques ou semi aquatiques



Photo: L. Quelin

- Poissons → { Blageon (1131)  
Chabot (1163)
- Insectes → { Agrion de Mercure (1044)
- Crustacés → { Écrevisse à pieds blancs (1092)
- Mammifères → { Castor d'Eurasie (1337)



Chabot, Cottus gobio (L., 1758)

## Espèces du milieu terrestre «Gemapien» de la Faurie



Pavot cornu @Eric Lhote

- Mammifères dont Chiroptères → { Petit Rhinolophe (1044)  
Petit Murin (1307)
- Insectes → { Rosalie des Alpes (1087)  
Apollon  
Agrion de Mercure (1044)
- Oiseaux → { Martin-pêcheur d'Europe  
Tourterelle des bois  
Chevalier culblanc  
Petit Gravelot
- Habitat → { Rivières alpines avec végétation ripicole ligneuse (3240)  
Forêts alluviales à Alnus glutinosa et Fraxinus excelsior (91E0)



Photo: J-M Bompar



Photo: S. Bence

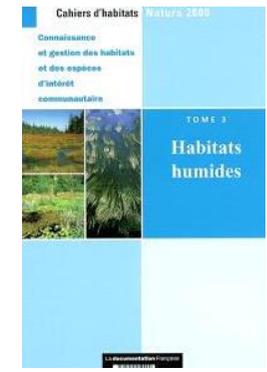
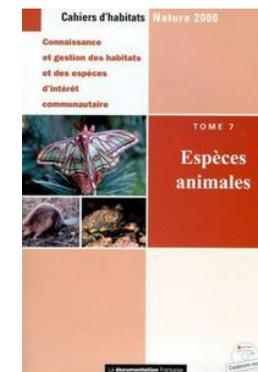
# Etape 2 : Effet sur les espèces et habitats

Espèces sélectionnées par le gestionnaire



**Évaluation des effets des aménagements sur les espèces du milieu aquatique et terrestre sélectionnées** (temps court, moyen et long)

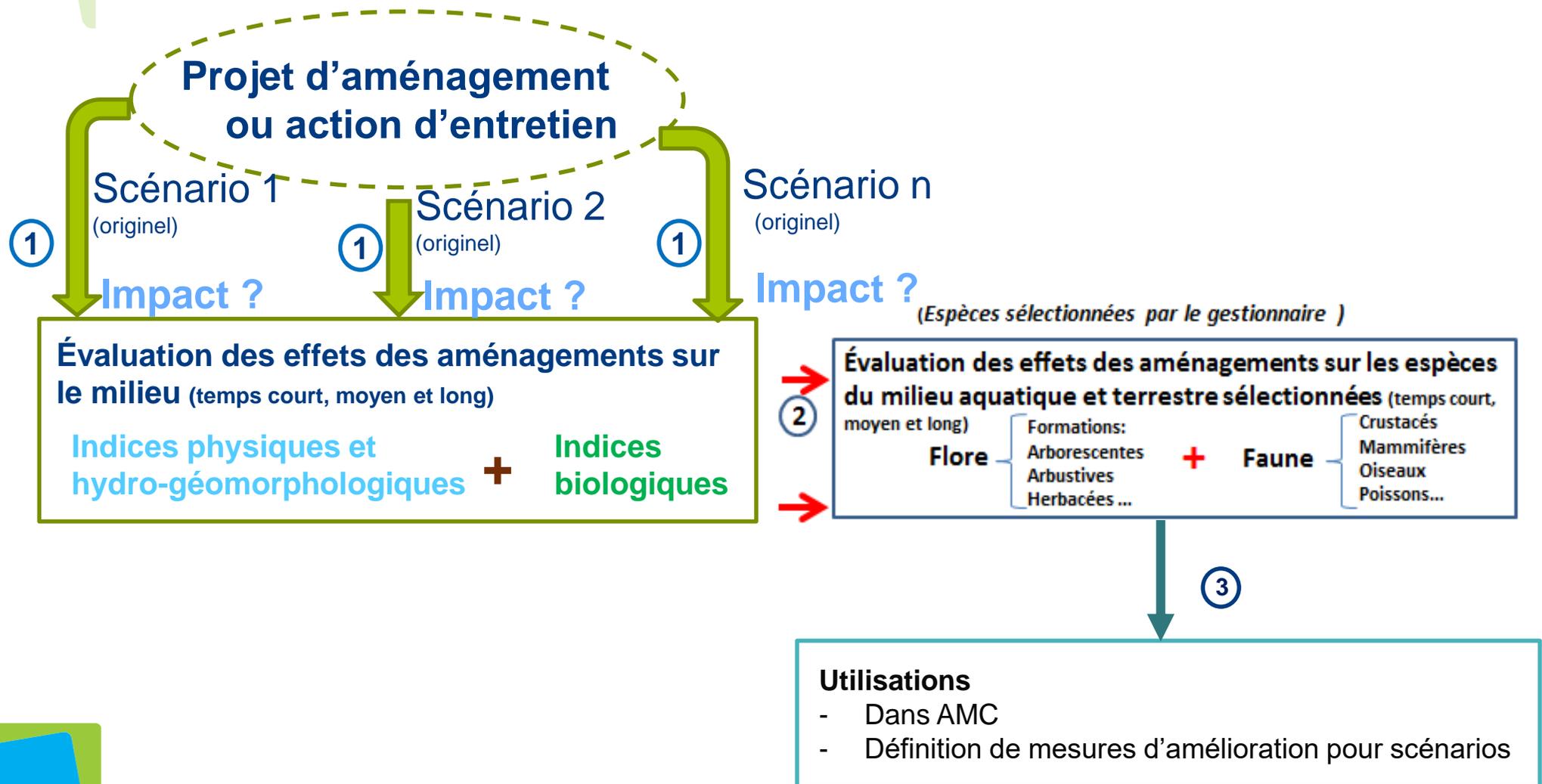
**Flore** { Formations:  
Arborescentes  
Arbustives  
Herbacées ... } **+** **Faune** { Crustacés  
Mammifères  
Oiseaux  
Poissons... }



Statut juridique de l'espèce  
Renseignements  
Menaces potentielles  
Recommandations  
Propositions de gestion...



# Etape 3 : Utilisations des résultats





# Résultats : secteur La Faurie

Résultats	Temps	Scénario 1		Scénario 2		Scénario 4	
		Court	Long	Court	Long	Court	Long
<b>Milieu</b>							
Nb d'effets ≠ 0		22	20	23	11	23	32
Note Effet Milieu (EM)		-1	-0.3	-1.7	-0.1	-1.6	3
<b>Espèces sélectionnées</b>							
Nb seuil mesure d'amélioration		8	3	14*	1*	13*	1*
Notes Effets sur les Espèces Aquatiques (EA)		-2	3	-4.4	2	-2.5	4.5
Notes Effets Espèces Terrestres et Habitats (ETH)		-6.6	-5.3	-5.25	0.5	-6.5	3.1
Notes Effets des Aménagements sur les Espèces, aquatiques et terrestres et les Habitats (EAEH)		-4.3	-1.15	-4.8	1.25	-4.5	3.8
Notes Environmental Quality Index (EQI)			0.442		0.562		0.69

😊 Impact Positif Faible

☹ Impact Négatif Faible

AMC (Grenoble)

Travail à faire avec les élus



\* effet du scénario inconnu (score de -10) : une étude est nécessaire

# Bilan et perspectives

Développement approche intégrée prenant en compte différents critères et notamment environnementaux

Modules « Indicateurs environnementaux » et « Caractérisation géomorphologique » auto-portants – suivi dans le temps

Démarche intégrative : participation de spécialistes de différents domaines

Approches facilement appropriables (« boîte blanche ») et robustes (indicateurs formalisés)

Durée de mise en œuvre des méthodes : quelques heures /scénario/résultats

Utilisateurs différents : gestionnaires rivière/élus

Transfert de savoir-faire au SMIGIBA

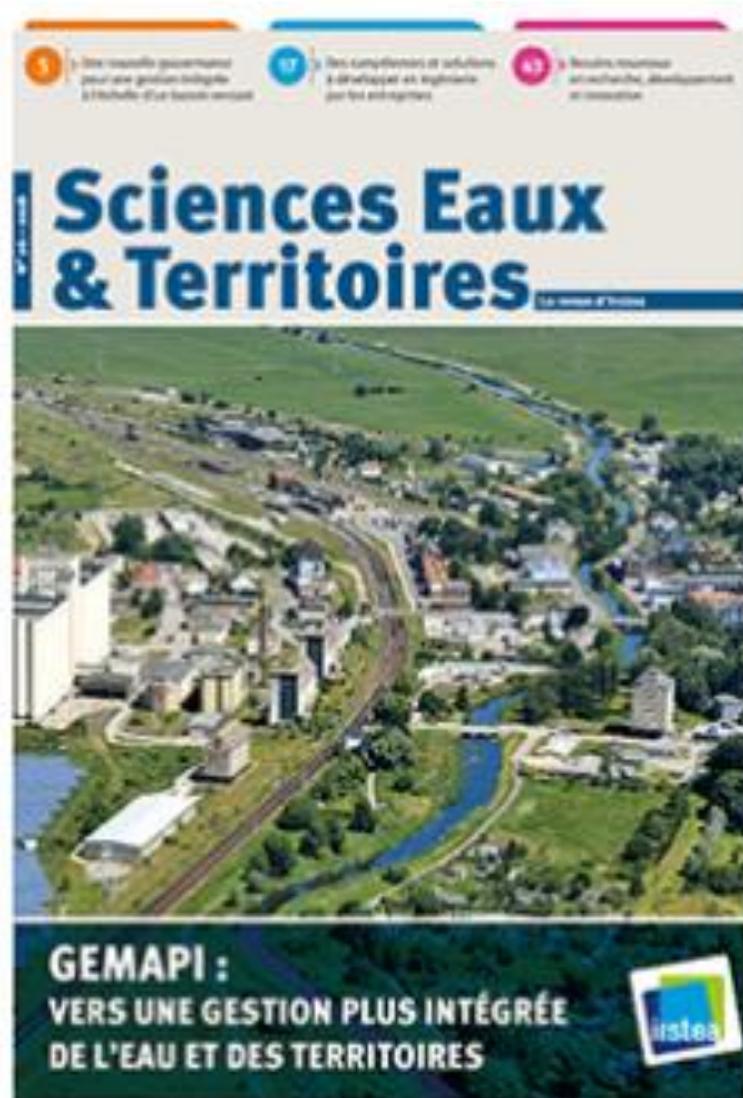
Développement d'outils – Réalisation d'applications (La Faurie – Aspremont)

Aide multicritère à la décision pourrait (devrait ?) progressivement compléter panoplie des outils des gestionnaires en complément des approches plus classiques issues sciences de l'ingénieur, analyses économiques



Approches généralisables à d'autres bassins

# Articles de synthèse



4 articles de synthèse parus dans revue SET

<http://www.set-revue.fr/gemapi-vers-une-gestion-plus-integree-de-leau-et-des-territoires>