



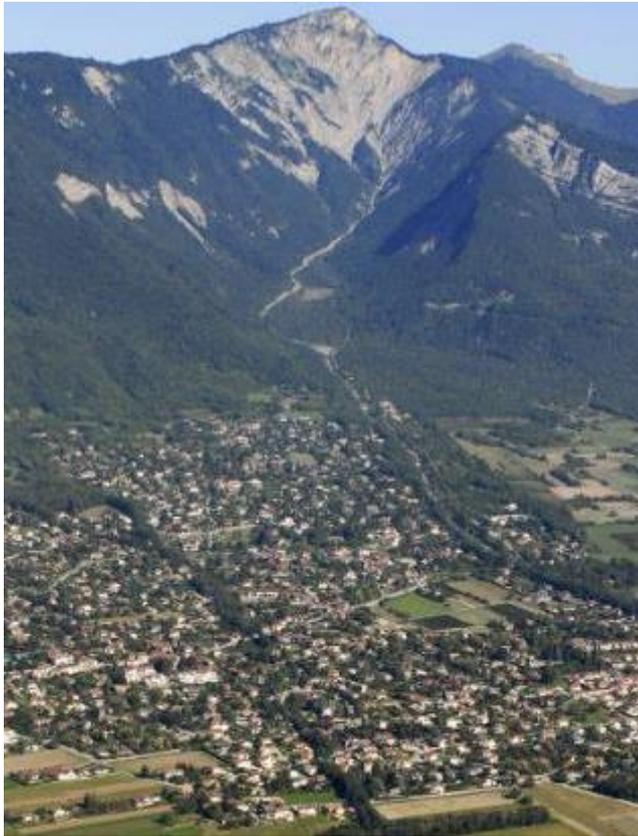
# GÉRER L'EAU EN MONTAGNE : APPORTS D'UNE APPROCHE INTÉGRÉE D'AIDE À LA DÉCISION, APPLIQUÉE À LA PROTECTION TORRENTIELLE

**Simon CARLADOUS**



18 octobre 2018, Annecy

## ▪ Bassin versant



*Torrent du Manival (38)  
© Sébastien Gominet (IRMA), 2010*

## ▪ Usages multiples de l'eau :

- hydroélectricité
- irrigation
- biodiversité
- eau potable
- neige artificielle
- etc.

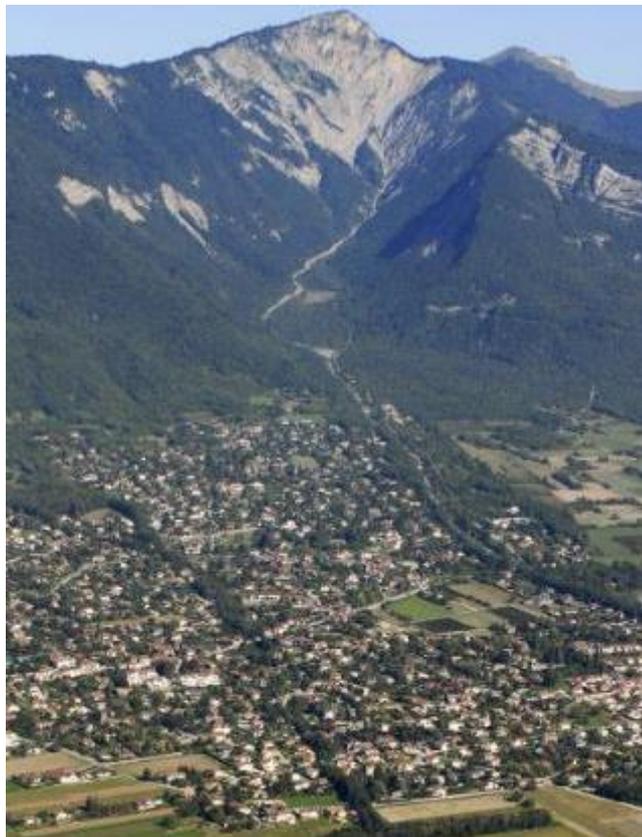


*Kurobe river, Japon  
© ONF/DRN, 2018*



**risque de pénurie**

- Bassin versant



*Torrent du Manival (38)*  
© Sébastien Gomet (IRMA), 2010

- Des phénomènes au risque torrentiel :

- laves torrentielles



*Torrent du Saint-Julien (73)*  
© Alexandre Modesto, 2011



© photo d'époque DR

- crues avec charriage

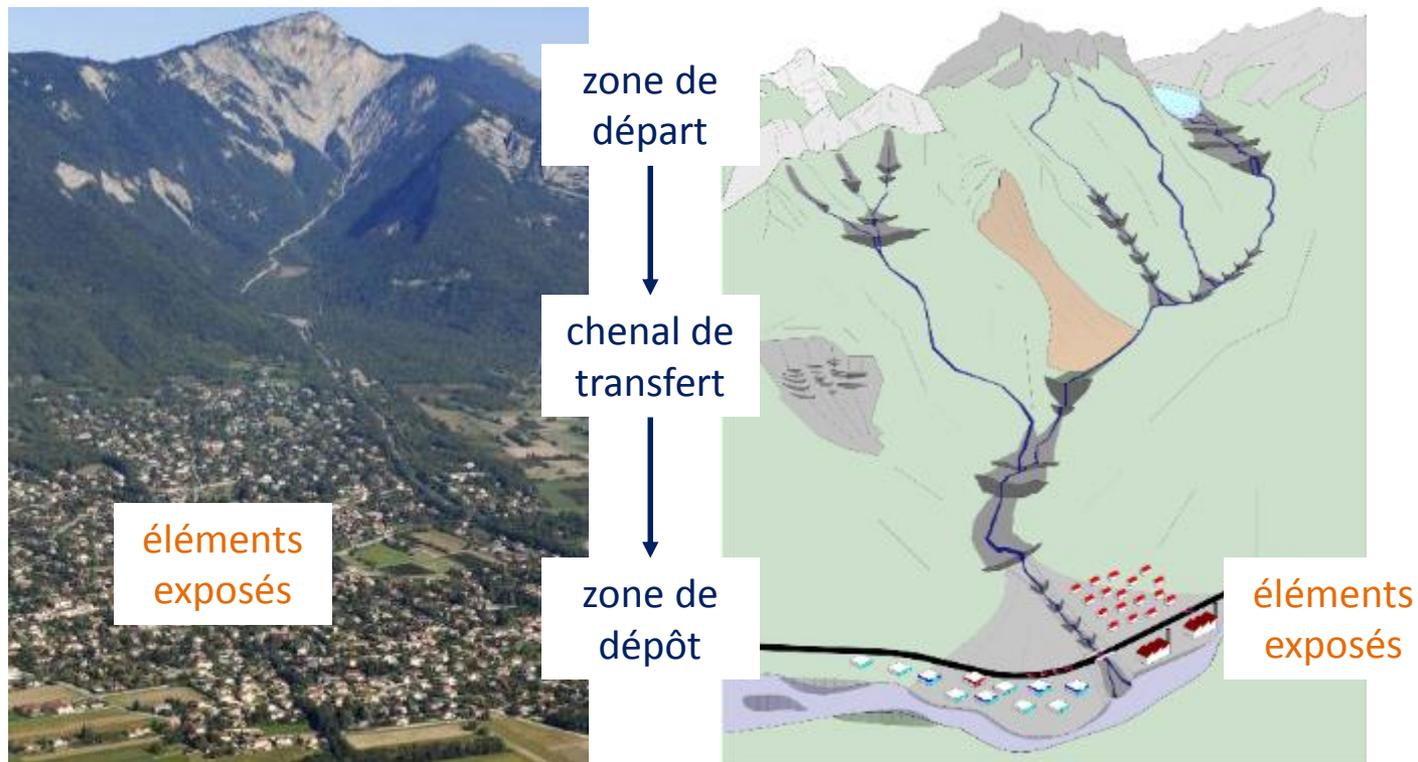


*Le Bastan (65)*  
© Sécurité Civile 65, 2013



*Torrent du Domeynon (38)*  
© ONF/RTM, 2005

- **Permettre** les différents **usages**
- **Réduire le risque torrentiel** : **aléa** x **vulnérabilité**

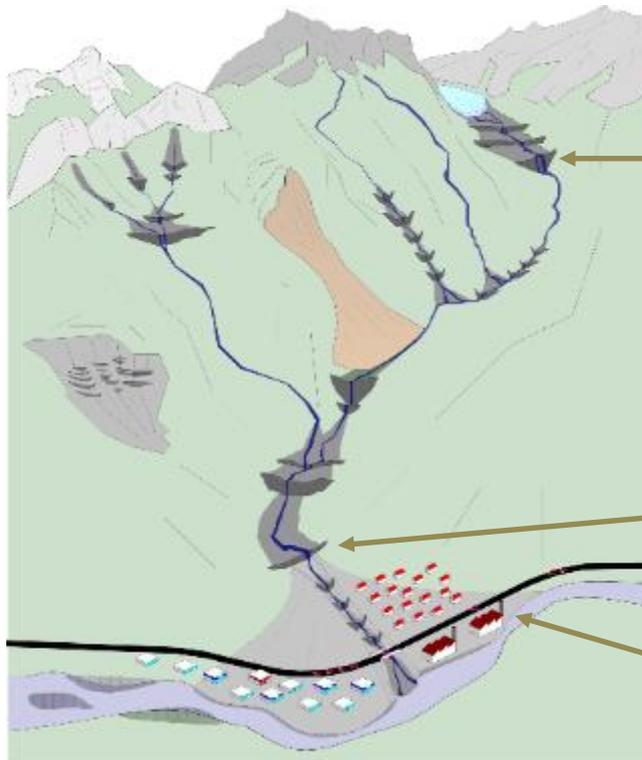


*Torrent du Manival (38)*

© Sébastien Gominet (IRMA), 2010

©Piton et al., 2016

- **Permettre** les différents **usages**
- **Réduire le risque torrentiel** → mesures de **prévention**



©Piton et al., 2016

- mesures structurelles de protection → agir sur aléa



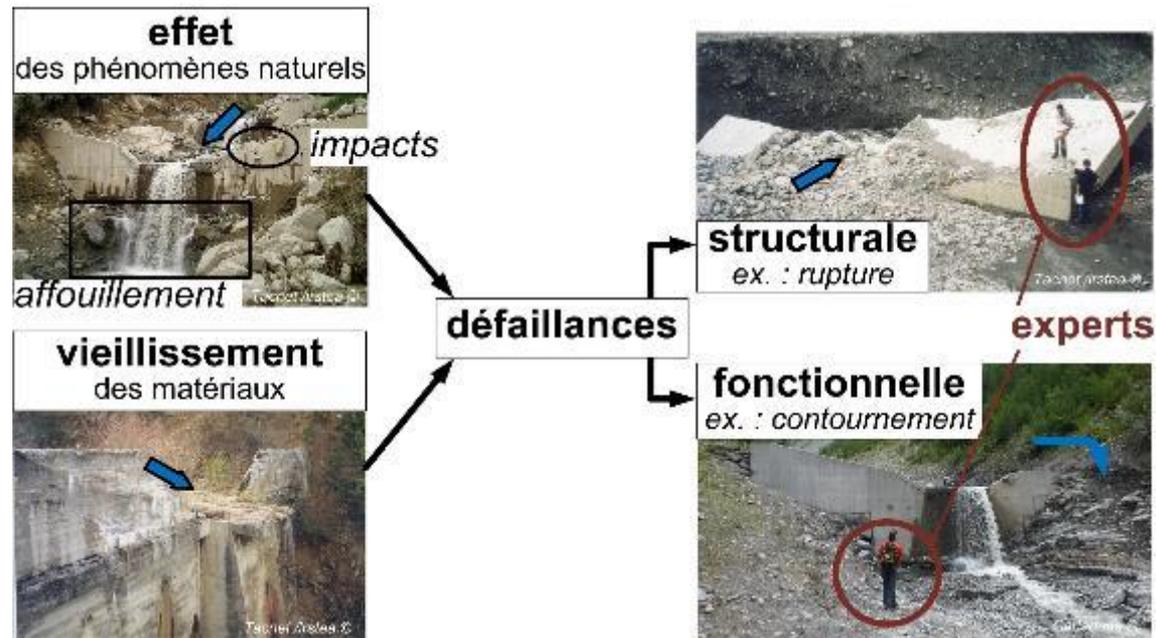
© photo d'époque DR



Torrent du Riou Sec (05)  
© ONF/DRN, 2018

- mesures non structurelles → agir sur vulnérabilité





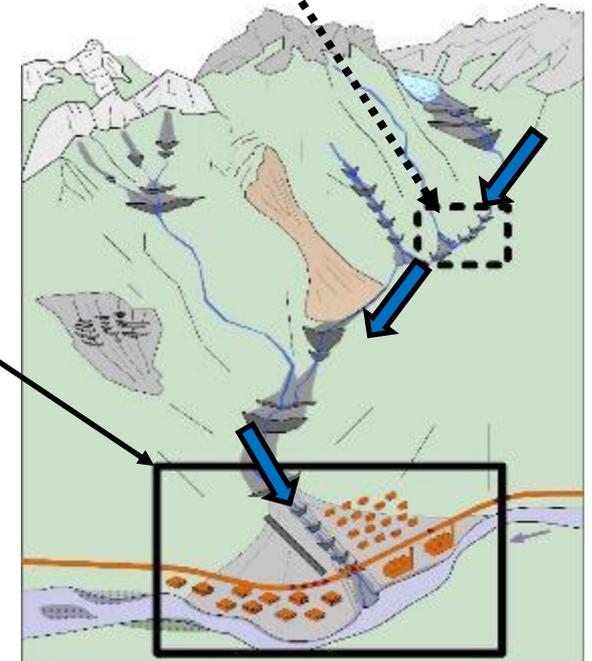
- **Actions** potentielles d'**investissement** mais aussi d'**entretien**
- **Problème** posé aux **experts** : les ouvrages sont-ils **efficaces** ?  
→ remplissent-ils leurs **objectifs** de stabilité **structurale** ?  
de réalisation des **fonctions** ?

- Au niveau de l'expert : .....
  - niveau d'efficacité des ouvrages à **résister** ?
  - à **réaliser** les **fonctions** données ?
  - à **avoir l'effet attendu** sur les **phénomènes** ?

phénomènes naturels



↓  
*aide à décider*



- Au niveau des décideurs publics :
  - efficacité des ouvrages à **réduire le risque** ?
  - action **la plus efficace** ?
  - action qui présente le **meilleur compromis** entre **réduction du risque et coût** ?

**1. Problématique d'aide à la décision**

**2. Nouvelle approche intégrée d'aide à la décision**

**3. Discussion : traçabilité, pluridisciplinarité, généricité**

## 1. Problématique d'aide à la décision

## 2. Nouvelle approche intégrée d'aide à la décision

## 3. Discussion : traçabilité, pluridisciplinarité, généricité

- Quelle(s) action(s) mettre en œuvre dans un même bassin versant ?  
→ **problème de décision**
- Quels objectifs/conséquences techniques, socio-économiques, environnementales ?  
→ **problème multicritères**

- Quelle(s) action(s) mettre en œuvre dans un même bassin versant ?  
→ **problème de décision**
- Quels objectifs/conséquences techniques, socio-économiques, environnementales ?  
→ **problème multicritères**

- À quelle échelle se fait la décision ?

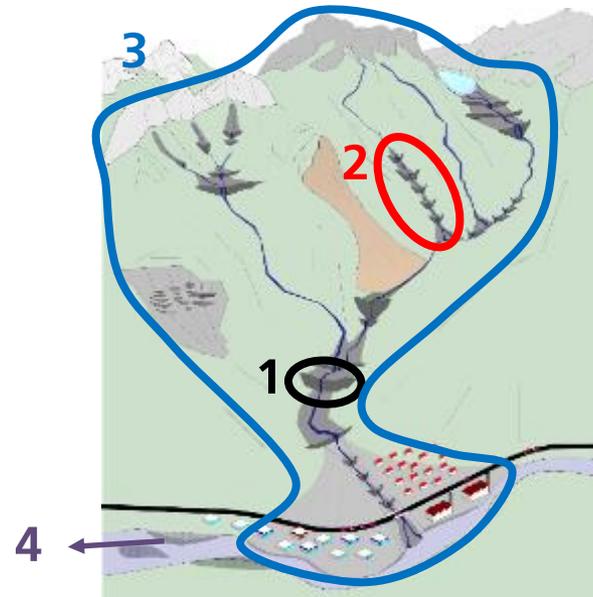
1. ouvrage (*micro*)

2. dispositif (*méso*)

3. bassin versant local (*macro*)

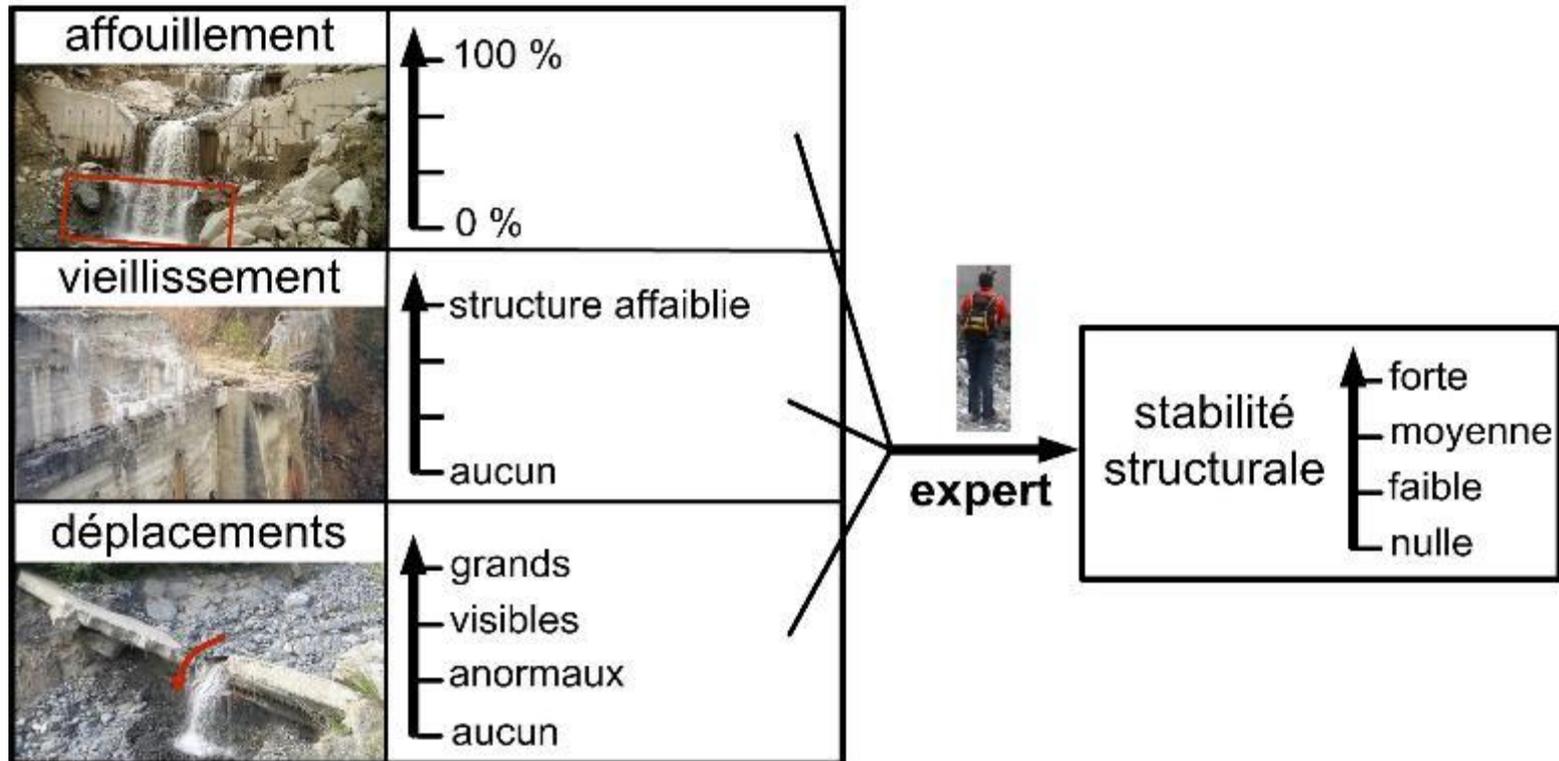
4. grand bassin versant (*macro*)

→ **problème multi-échelles**



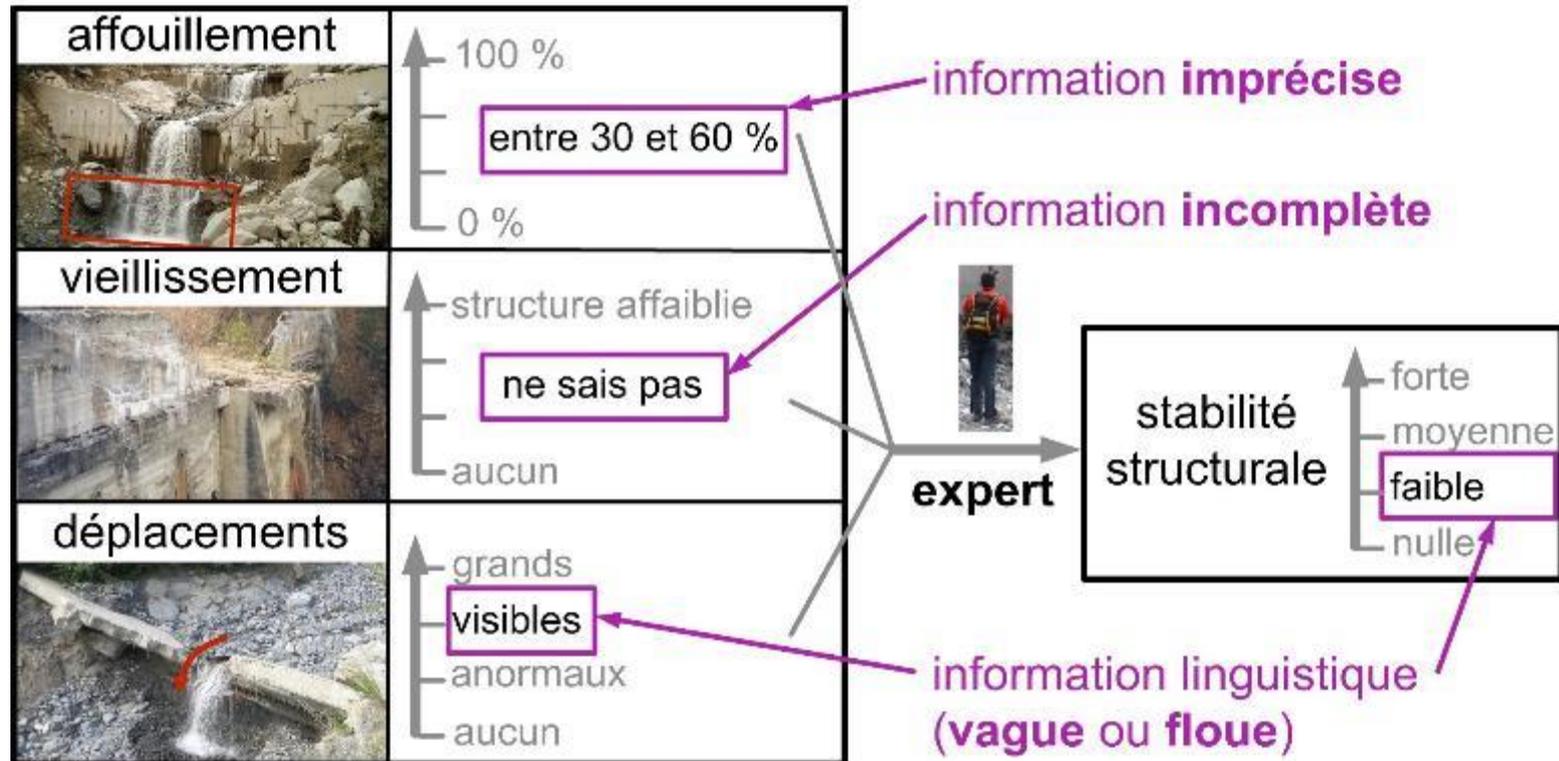
évaluation de plusieurs indicateurs

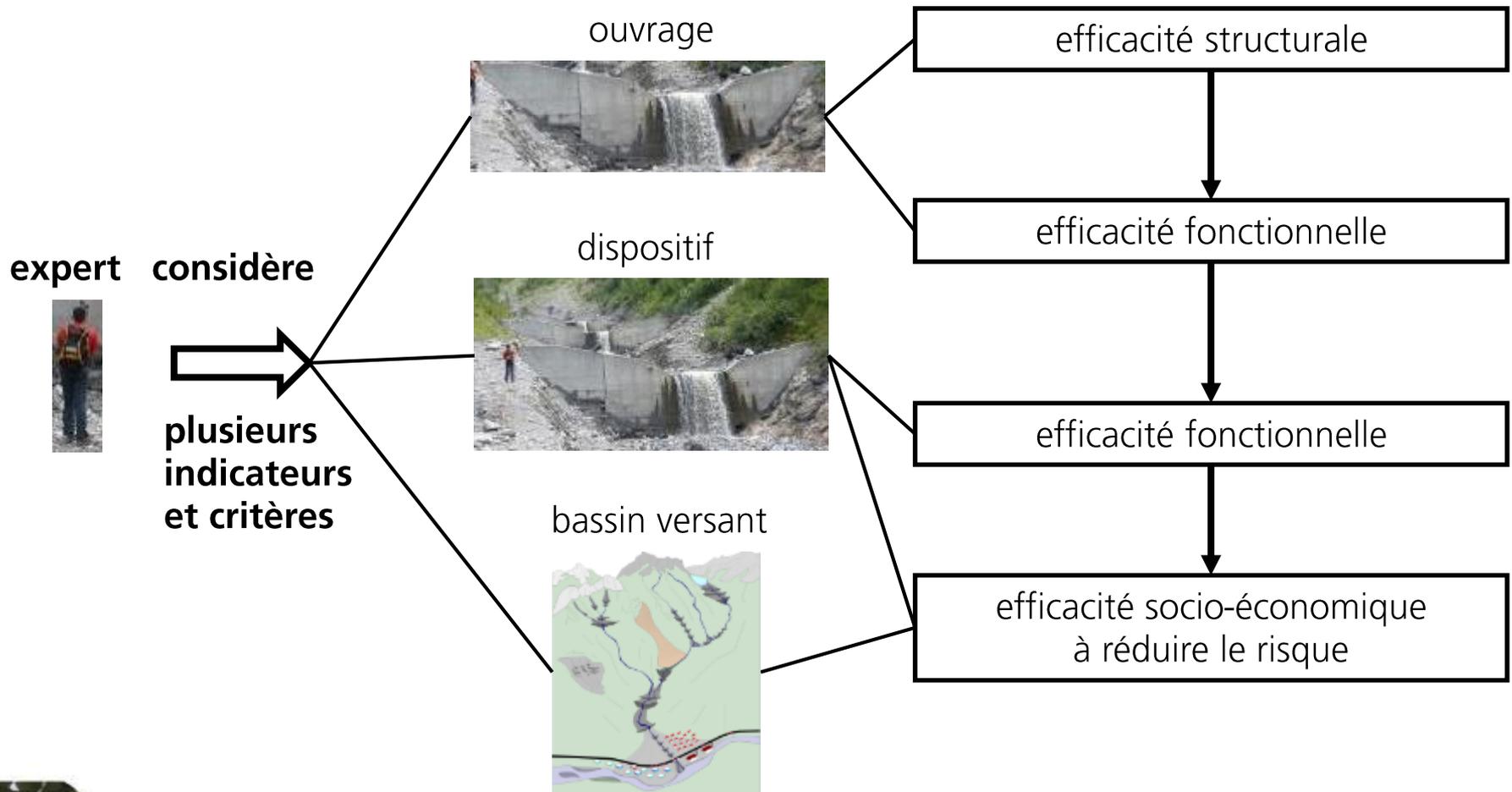
→ agrégation → évaluation



évaluation **imparfaite**  
de plusieurs indicateurs

→ agrégation → évaluation

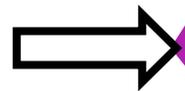




plusieurs sources  
(fiabilité, conflit)  
(Tacnet, 2009)



expert considère



plusieurs indicateurs et critères



évaluations imparfaites  
(incertitude, imprécision, ignorance, vague)  
(Smets, 1997)

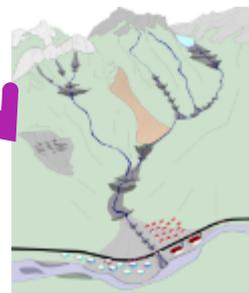
ouvrage



dispositif



bassin versant

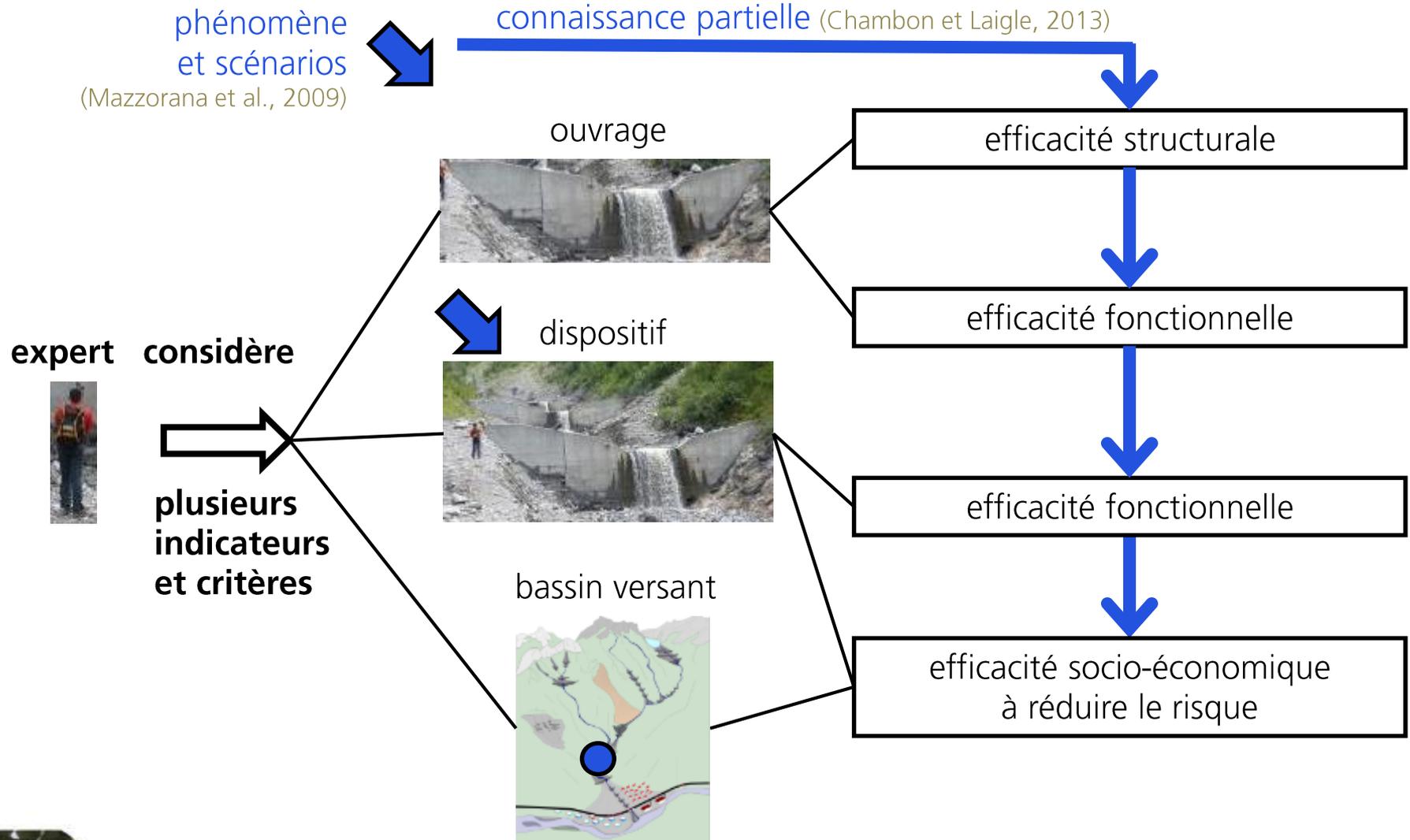


efficacité structurale

efficacité fonctionnelle

efficacité fonctionnelle

efficacité socio-économique  
à réduire le risque



- Pour **chaque échelle** de système, (ouvrage, dispositif, bassin versant)
- **problème** de **décision multicritère** (tenir compte de plusieurs critères pour évaluer, choisir parmi plusieurs solutions)
- en contexte d'**incertitude épistémique** (phénomènes torrentiels)
- et d'**informations imparfaites** (incertitude, imprécision, ignorance, vague)
- fournies par **plusieurs sources**. (plusieurs experts, plusieurs méthodes)
- Ces problèmes individuels sont **à intégrer**. (échelle du bassin versant)

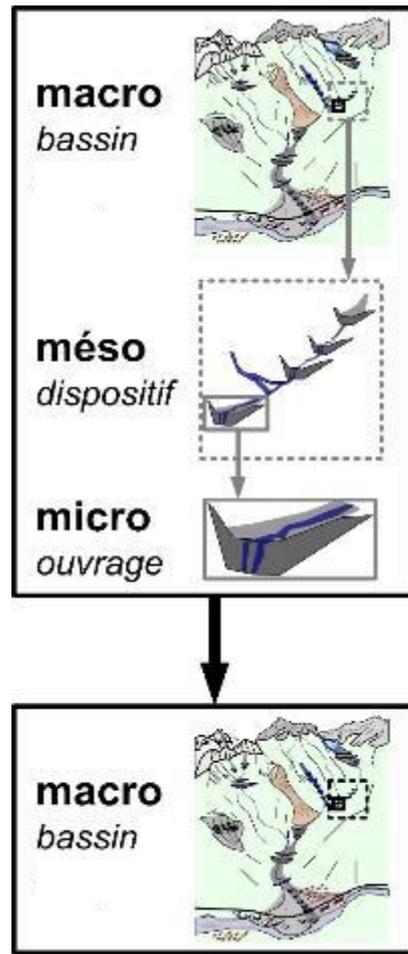
1. Problématique d'aide à la décision

**2. Nouvelle approche intégrée d'aide à la décision**

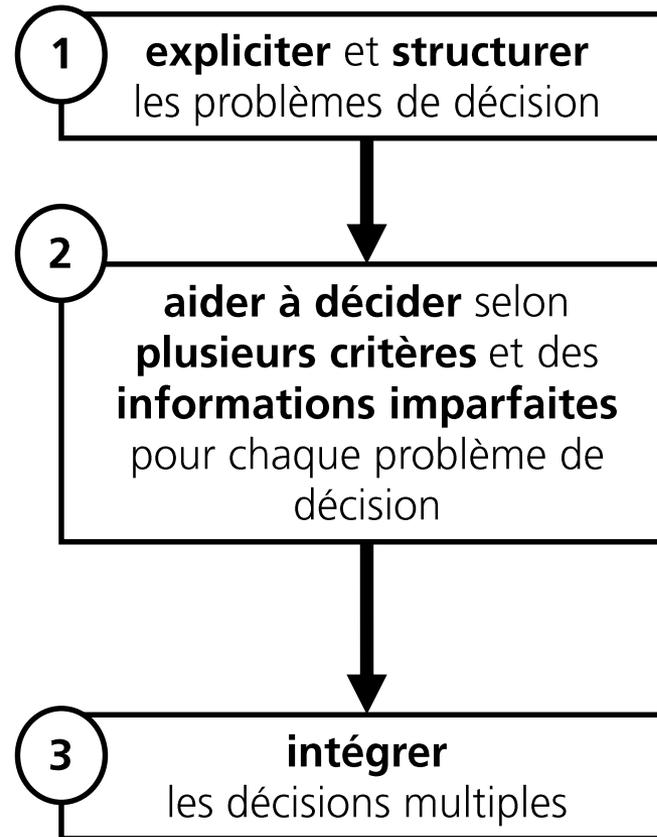
3. Discussion : traçabilité, pluridisciplinarité, généricité



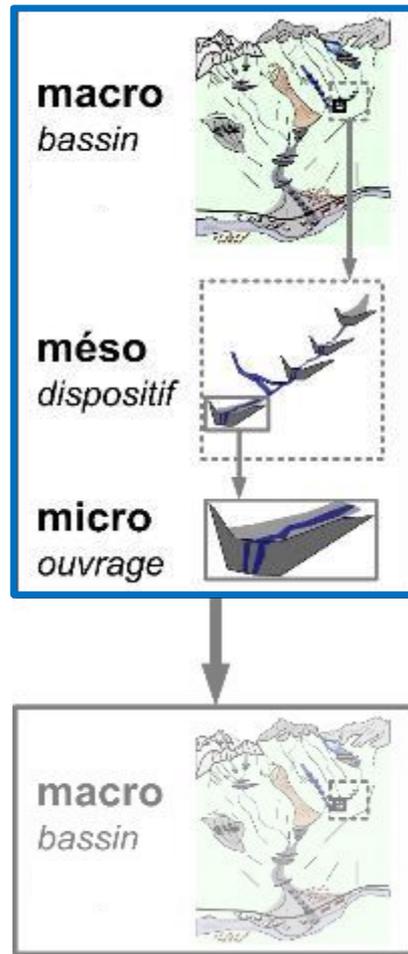
## Echelles



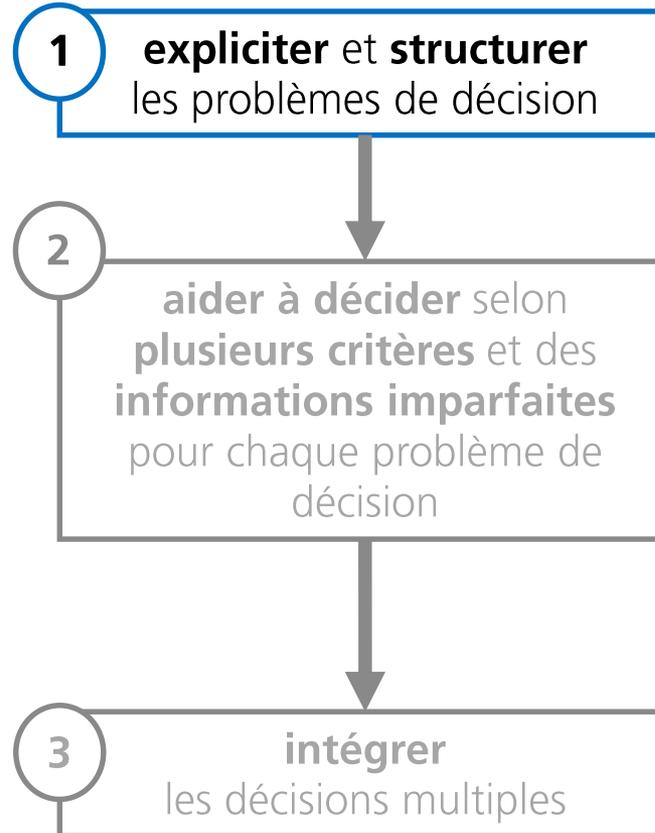
## Objectifs



## Echelles



## Objectifs



- **Méthode retenue :**

modélisation systémique et méthodes issues de la sûreté de fonctionnement

- **Etat de l'art :**

Méthodes issues du domaine industriel  
appliquées à la protection contre les inondations (Peyras et al., 2010)  
mais pas à la protection torrentielle ni à un contexte multi-échelle

- **Etapas principales :**

- |  |   |
|--|---|
| 1. Définition du système                   | → décomposition selon les différentes échelles  |
| 2. Analyse structurelle puis fonctionnelle | → définition des fonctions objectifs à réaliser |
| 3. Analyse des modes de défaillances       | → définition de critères de performance         |

- **Résultats** (Carladous, 2017) :

- pour chaque échelle, définition des objectifs et critères de décision
- lien entre les différentes échelles

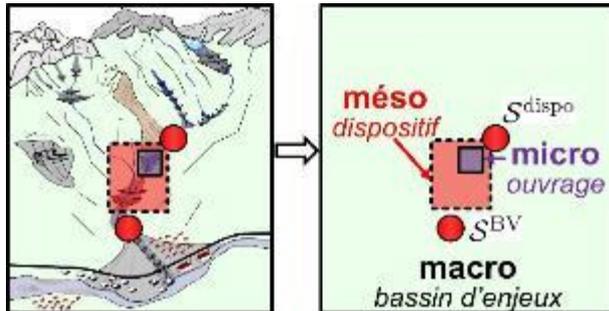
1

problème  
réel



2

identification  
multi-échelle  
des systèmes

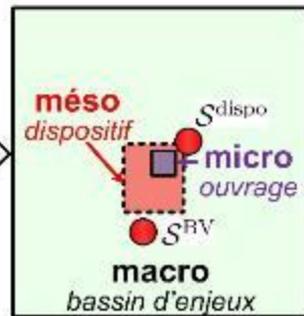
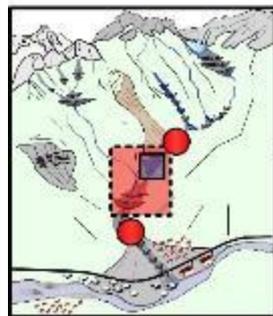
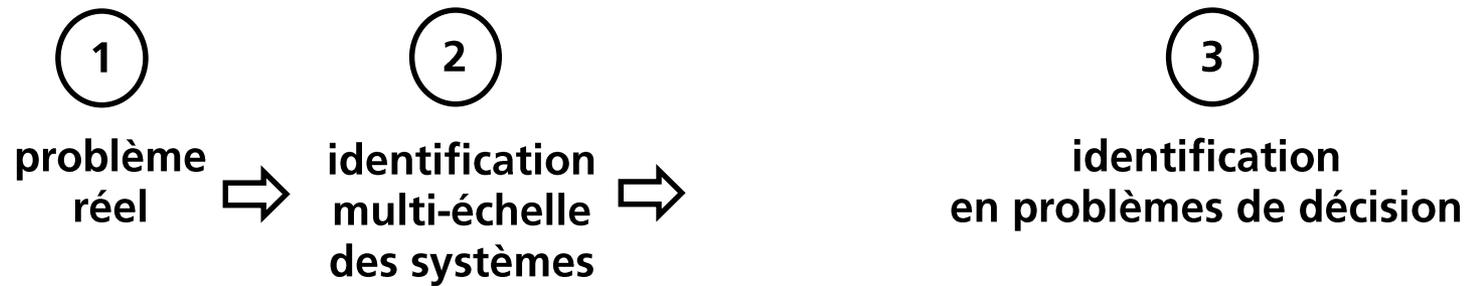


● points d'analyse des scénarios

$$S \triangleq \{S_1, \dots, S_k, \dots, S_K\}$$

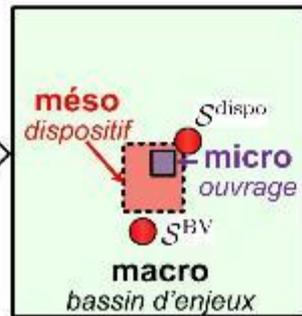
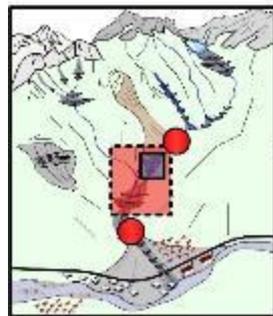
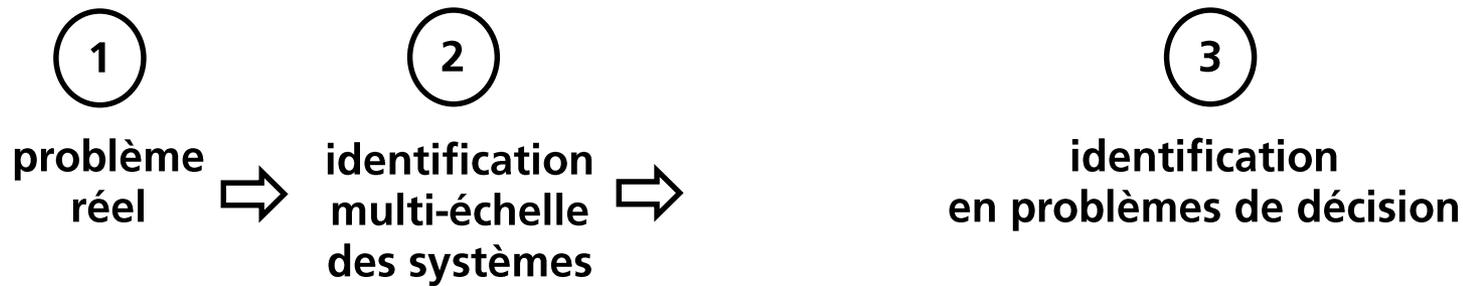
$S^{\text{dispo}}$  : en amont d'un dispositif

$S^{\text{BV}}$  : en amont des enjeux



● points d'analyse des scénarios  
 $S \triangleq \{S_1, \dots, S_k, \dots, S_K\}$   
 $S^{\text{dispo}}$  : en amont d'un dispositif  
 $S^{\text{BV}}$  : en amont des enjeux

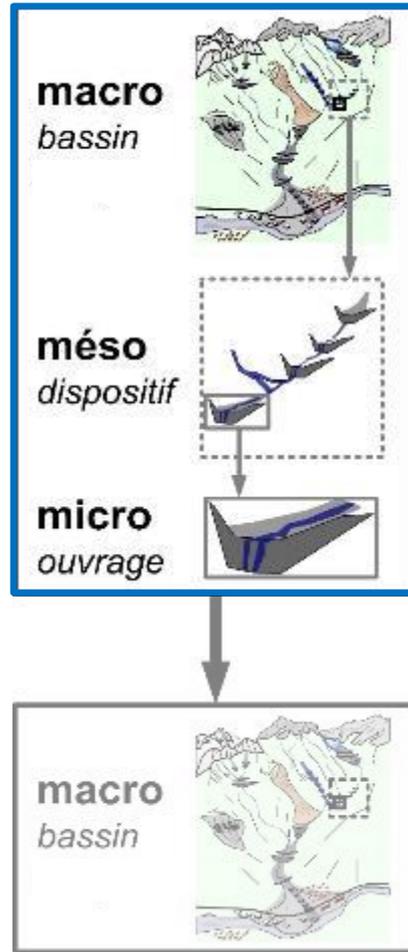
échelle	alternatives
(a) $S^{\text{dispo}}$ micro	- ouvrages d'un dispositif - actions sur un ouvrage
(b) $S^{\text{dispo}}$ mésodispositif	- dispositifs d'un bassin - actions sur un dispositif
(c) $S^{\text{BV}}$ macro	- bassins d'enjeu - actions dans un bassin



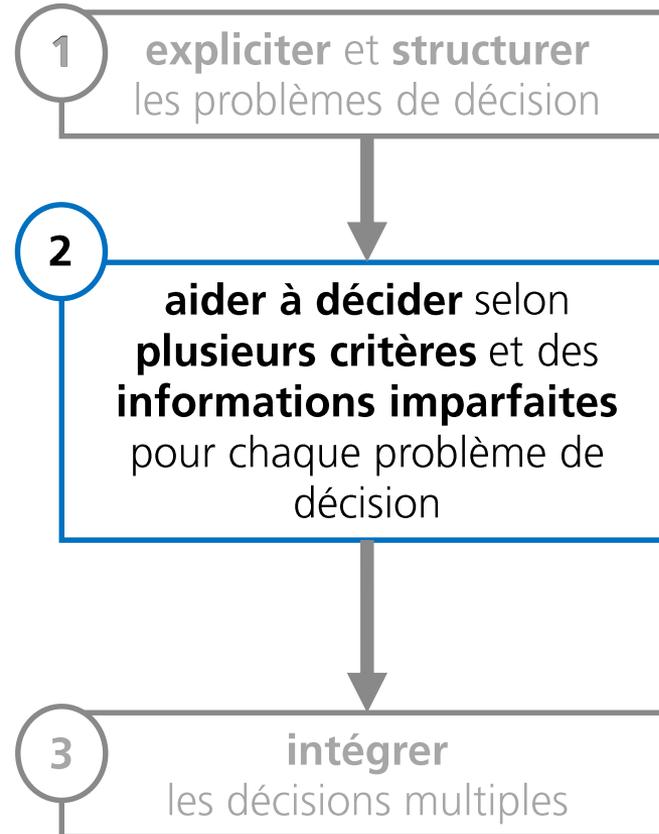
● points d'analyse des scénarios  
 $S \triangleq \{S_1, \dots, S_k, \dots, S_K\}$   
 $S^{\text{dispo}}$  : en amont d'un dispositif  
 $S^{\text{BV}}$  : en amont des enjeux

échelle	alternatives	problématique
(a) $S^{\text{dispo}}$ micro	- ouvrages d'un dispositif - actions sur un ouvrage	- tri selon des labels - classement - choix
(b) $S^{\text{dispo}}$ mésos	- dispositifs d'un bassin - actions sur un dispositif	- tri selon des labels - classement - choix
(c) $S^{\text{BV}}$ macros	- bassins d'enjeu - actions dans un bassin	- tri selon des labels - classement - choix

## Echelles



## Objectifs



- **Trois types de problématiques** (Roy, 1985) :

- choix      - tri      - classement

- **Alternatives** à discriminer (Schärlig, 1985) :

$$\mathcal{A} = \{A_1, \dots, A_i, \dots, A_M\}$$

- **Critères de décision** (Schärlig, 1985) et **préférences du décideur** (Saaty, 1980) :

$$\mathcal{G} \triangleq \{g_1, \dots, g_j, \dots, g_N\}, \quad g_j : \mathcal{A} \rightarrow X_j$$

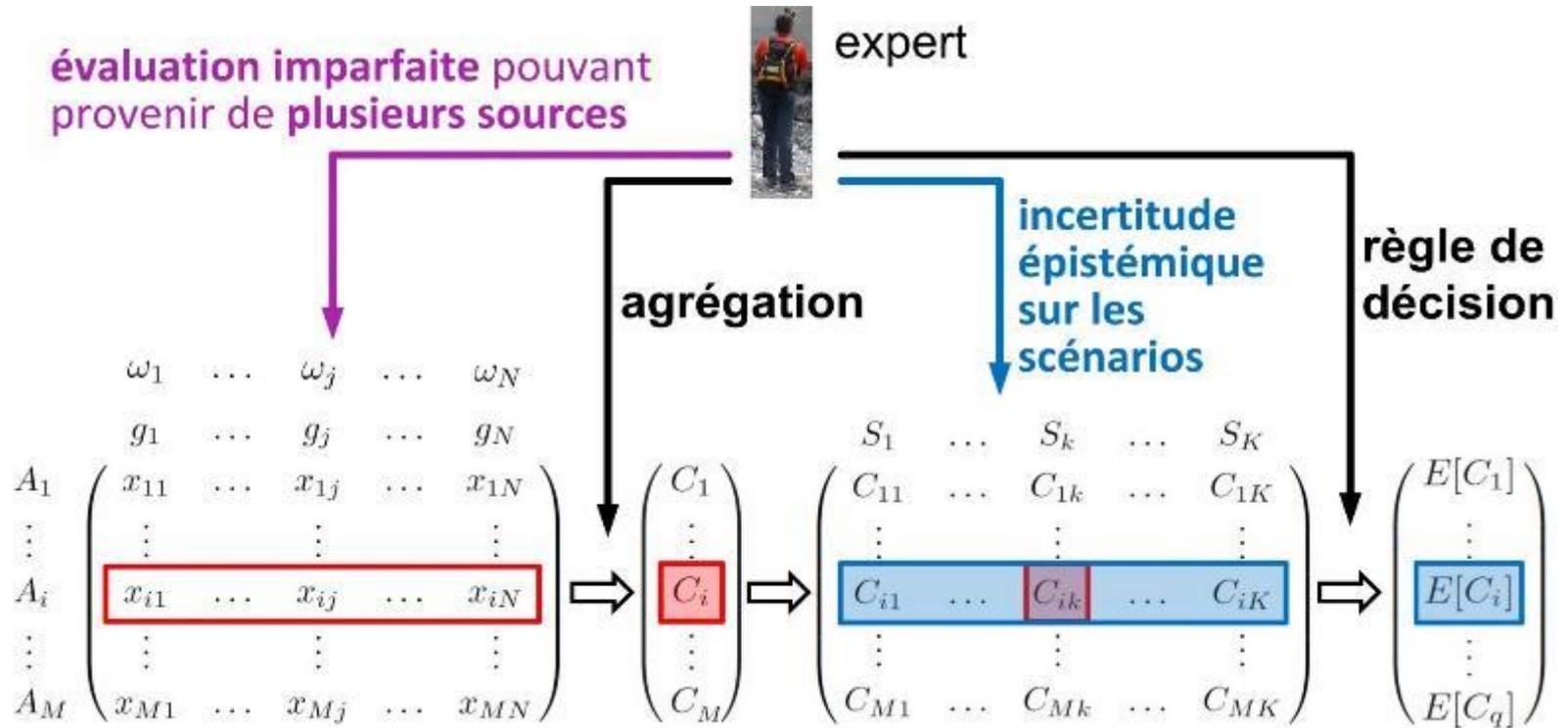
→  $x_{ij}$  : évaluation de  $A_i$  selon le critère  $g_j$

→  $\omega_j$  : coefficient d'**importance** du critère  $g_j$ , avec  $\sum_{j=1}^N \omega_j = 1$

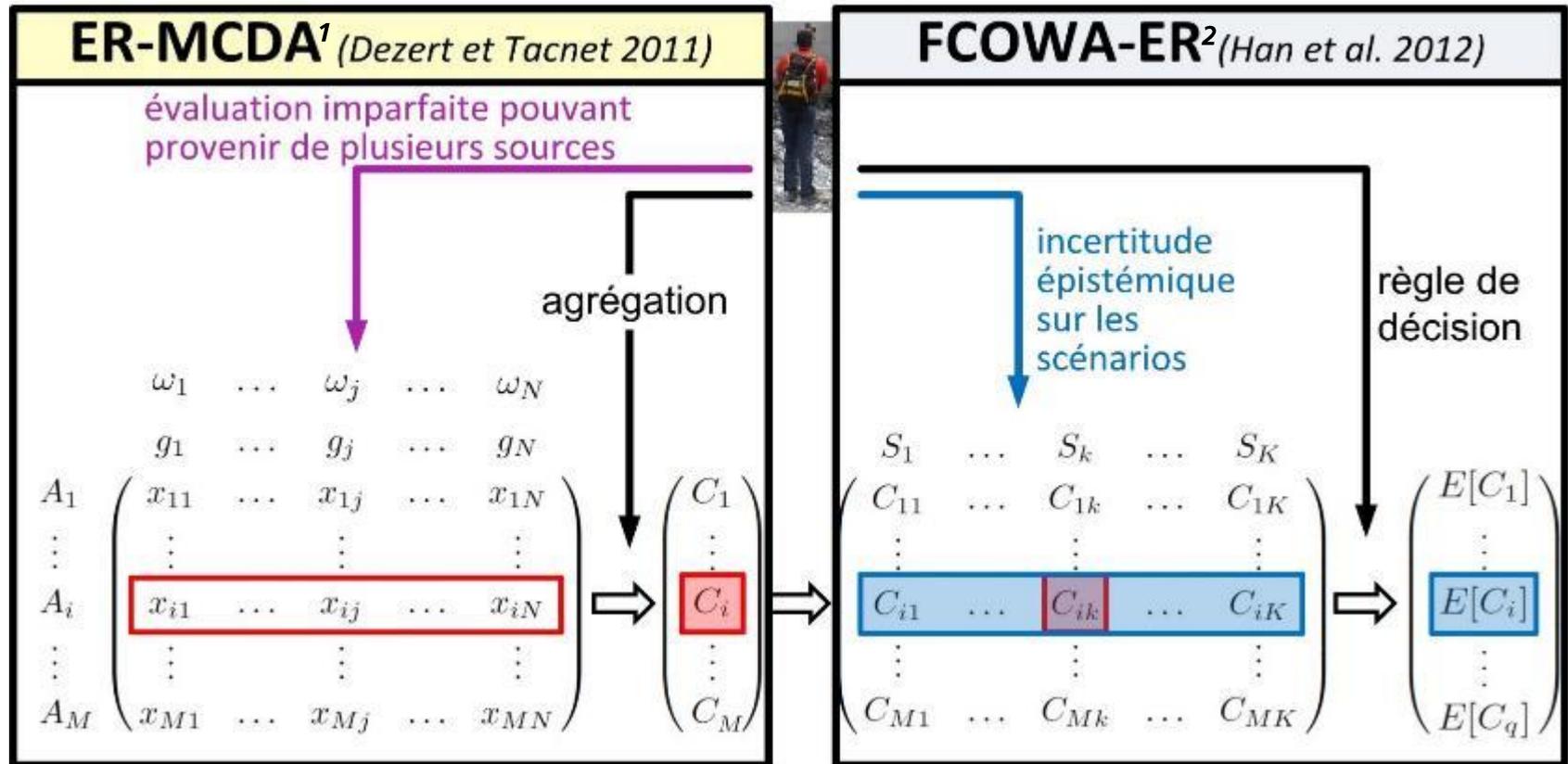
- **Etats de la nature** (Yager, 2008) appelés **scénarios** :

$$\mathcal{S} = \{S_1, \dots, S_k, \dots, S_K\}$$

→  $C_{ik}$  : évaluation de la conséquence de  $A_i$  étant donné le scénario  $S_k$

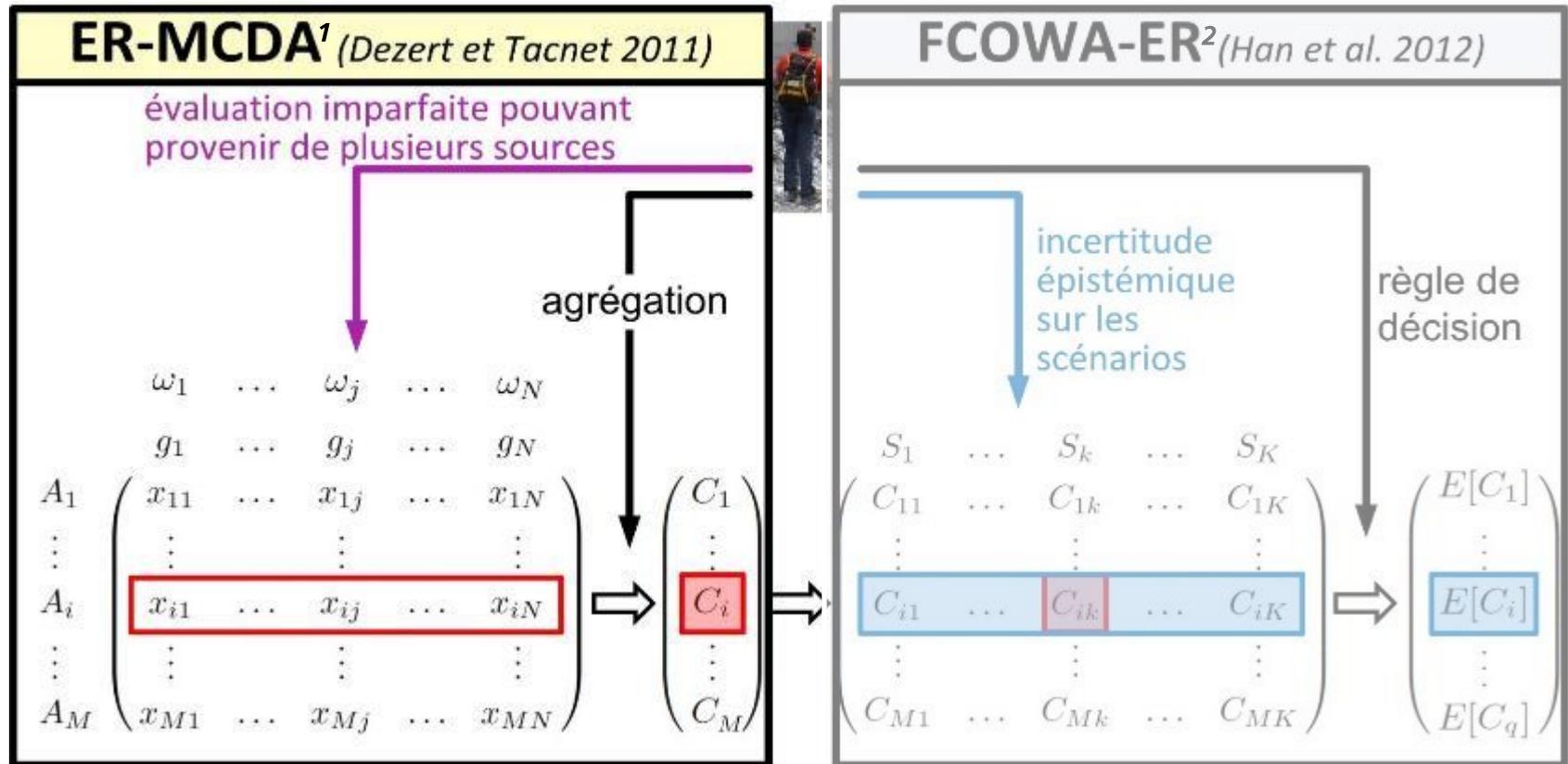


⇒ d'un problème multi-échelle ambigu  
à sa **formalisation générique multicritère, dans l'incertain** (Carladous, 2017)



<sup>1</sup>Evidential Reasoning for Multi-Criteria Decision Analysis

<sup>2</sup>Fuzzy Cautious Ordered Weighted Averaging with Evidential Reasoning



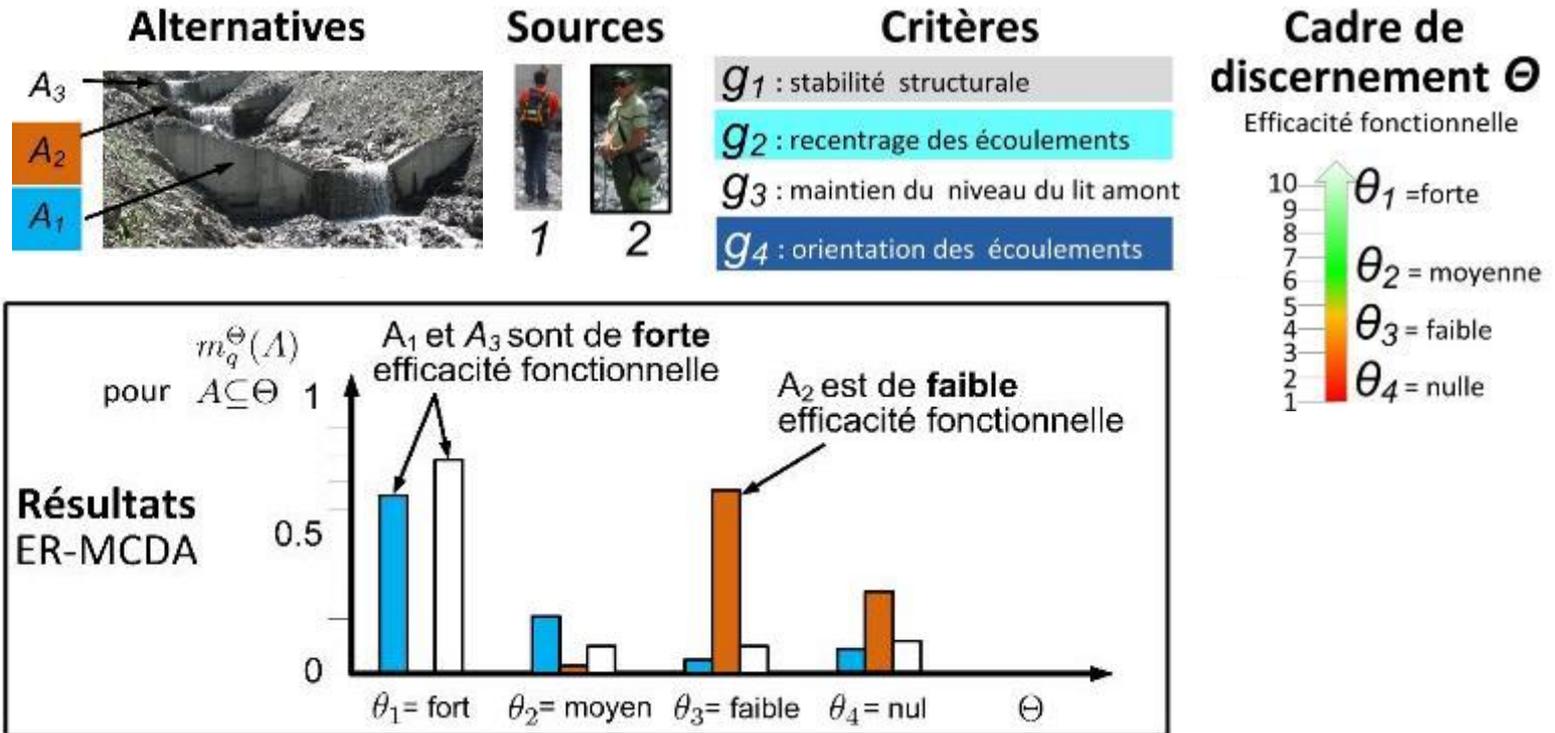
<sup>1</sup>Evidential Reasoning for Multi-Criteria Decision Analysis

**Problème** : évaluer **efficacité fonctionnelle** d'ouvrages selon des classes (nulle / faible / moyen / fort) → **Tri**

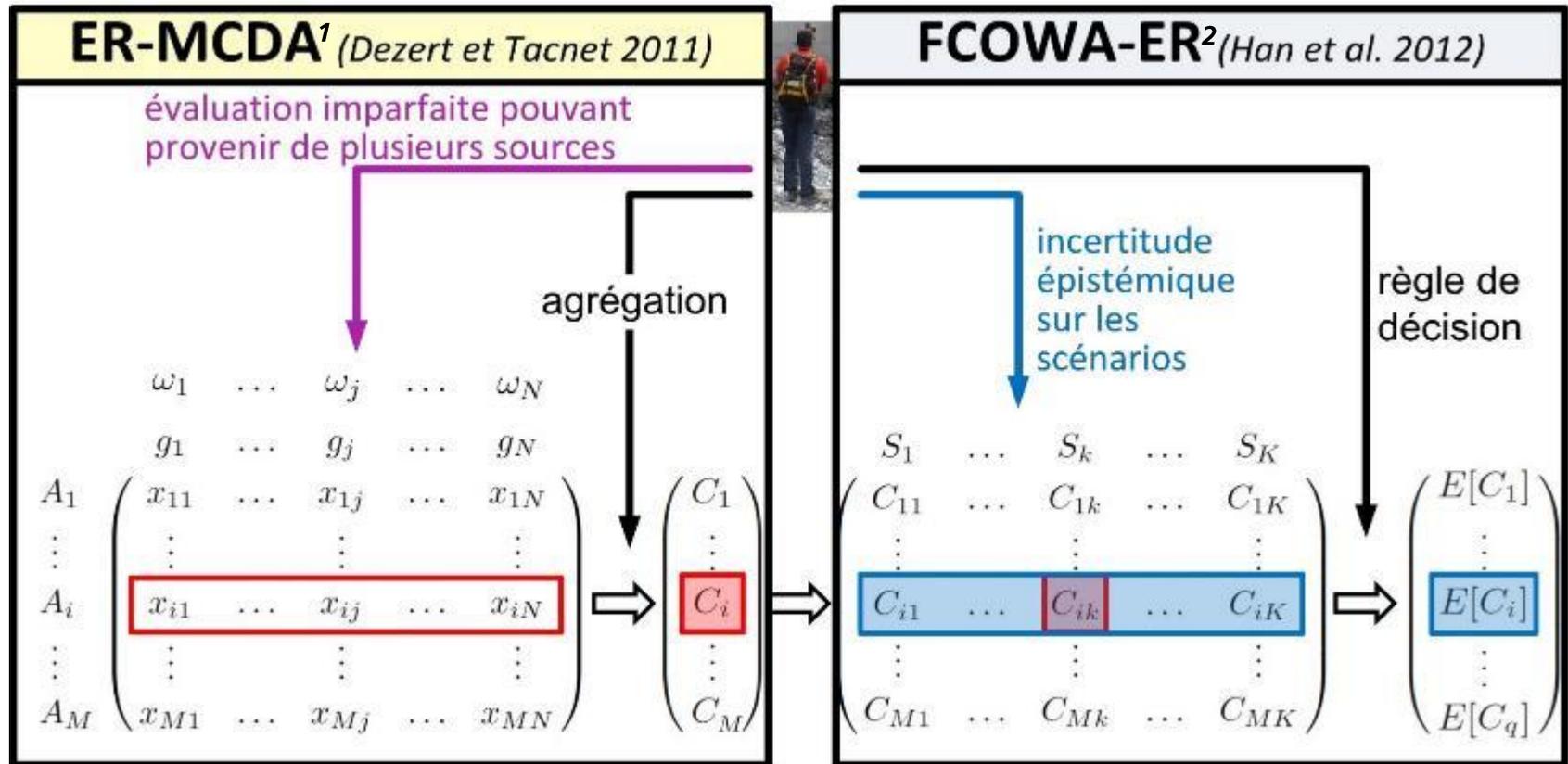


<sup>1</sup>Evidential Reasoning for Multi-Criteria Decision Analysis

**Problème** : évaluer **efficacité fonctionnelle** d'ouvrages selon des classes (nulle / faible / moyen / fort) → **Tri**



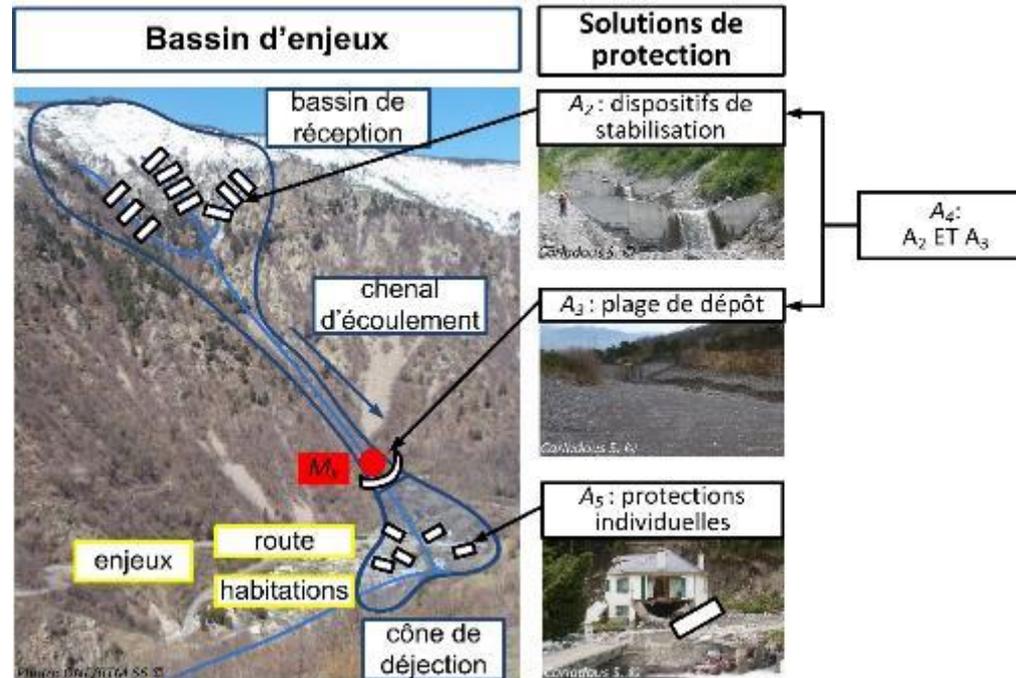
<sup>1</sup>Evidential Reasoning for Multi-Criteria Decision Analysis



<sup>1</sup>Evidential Reasoning for Multi-Criteria Decision Analysis

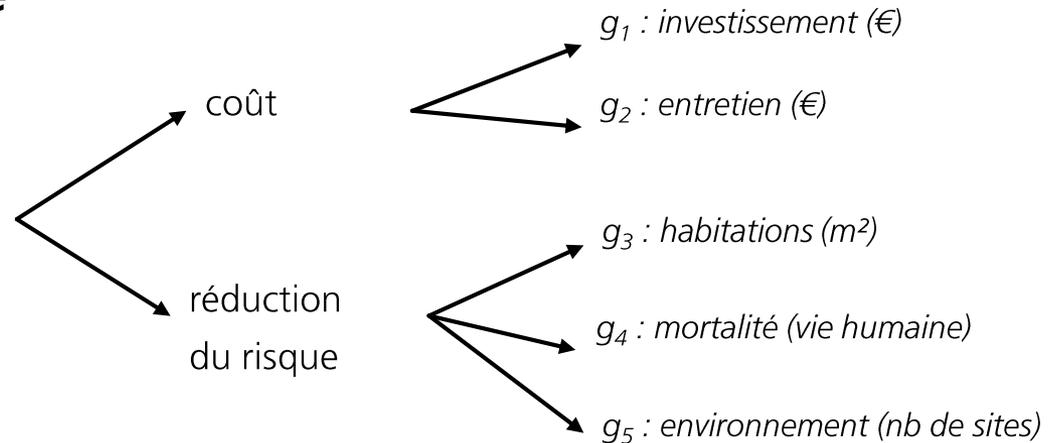
<sup>2</sup>Fuzzy Cautious Ordered Weighted Averaging with Evidential Reasoning

- **problème** : classer les **solutions** de **protection** pour **choisir la meilleure**



## ▪ modélisation du problème

- **plusieurs critères** de décision avec **différentes échelles** d'évaluation

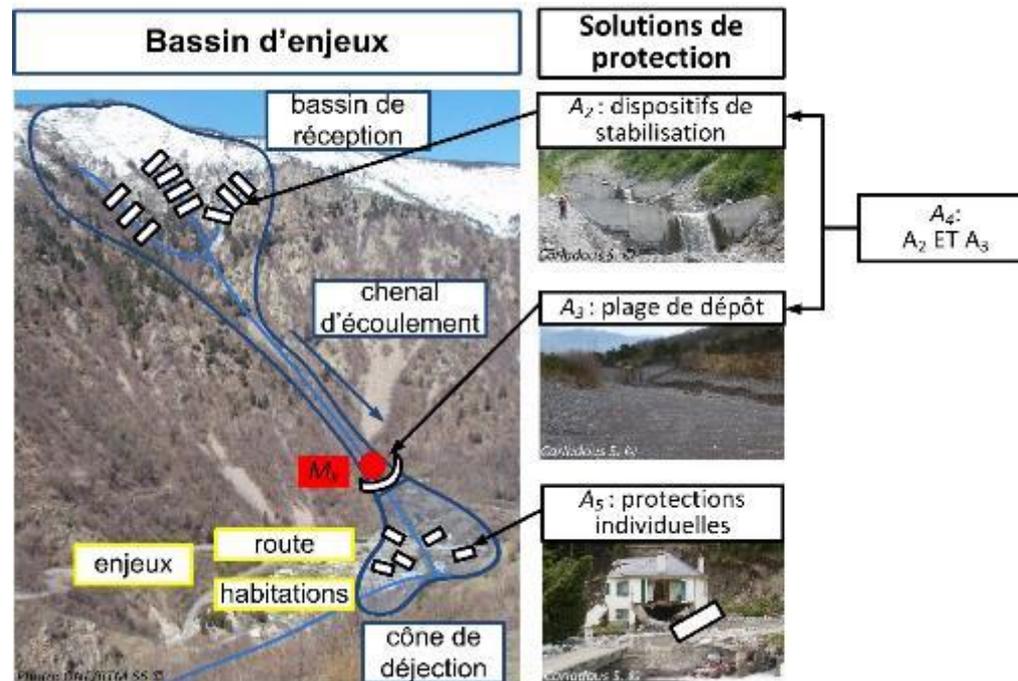


- **préférences entre critères** :  $w_1=0.08$ ,  $w_2=0.04$ ,  $w_3=0.10$ ,  $w_4=0.46$ ,  $w_5=0.32$

- **connaissance limitée sur les scénarios** →

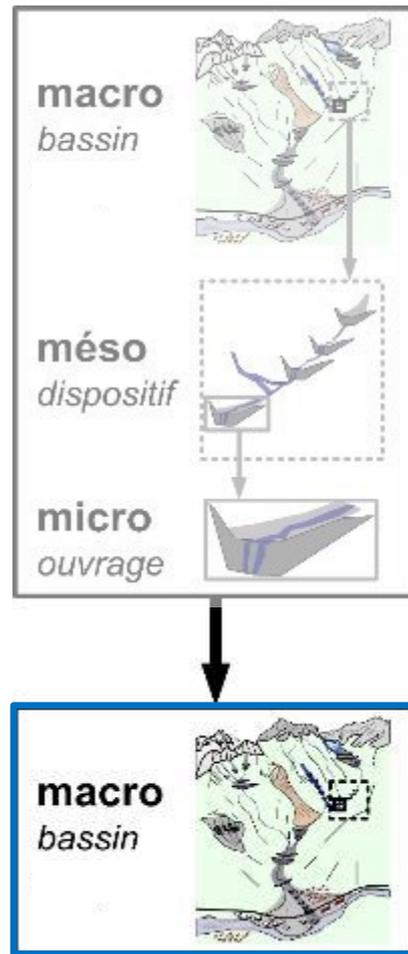
élément focal	$m^S(\cdot)$
$X_1 = S_1 \cup S_2 \cup S_5$	0.3
$X_2 = S_1 \cup S_3 \cup S_6$	0.2
$X_3 = S_1 \cup S_4$	0.1
$X_4 = S_1 \cup S_7$	0.05
$X_4 = S$	0.25

- **problème** : classer les **solutions** de **protection** pour **choisir la meilleure**

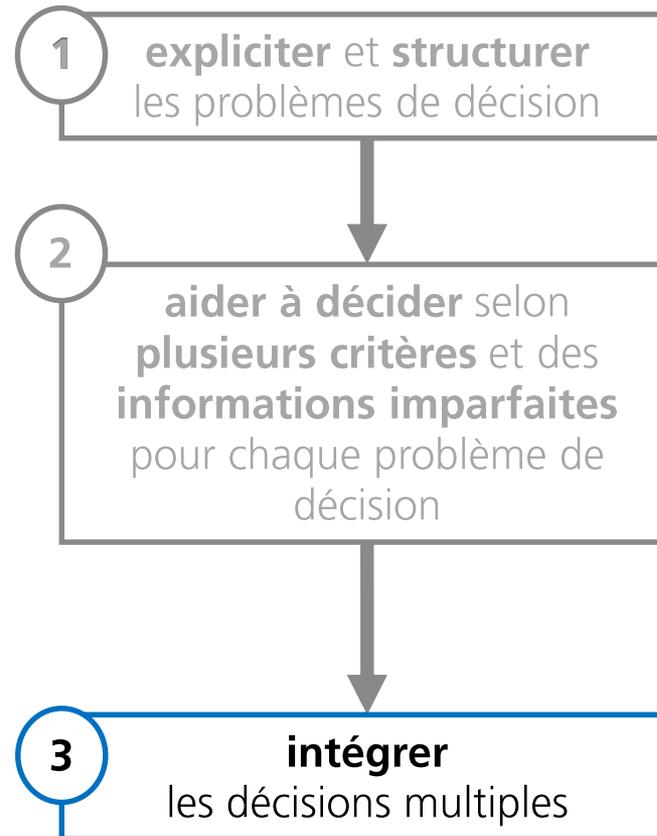


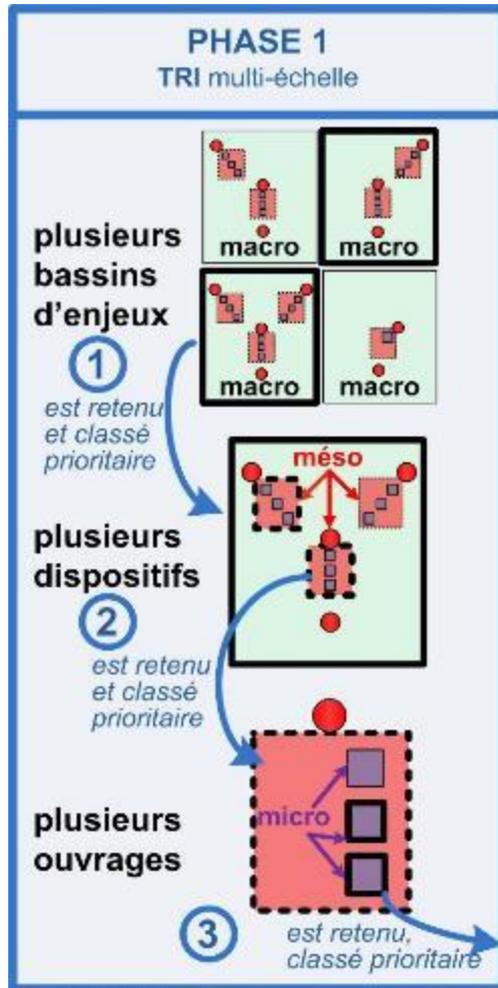
- **recommandation finale** :  $A_5 \succ A_4 \succ A_3 \succ A_2 \succ A_1$

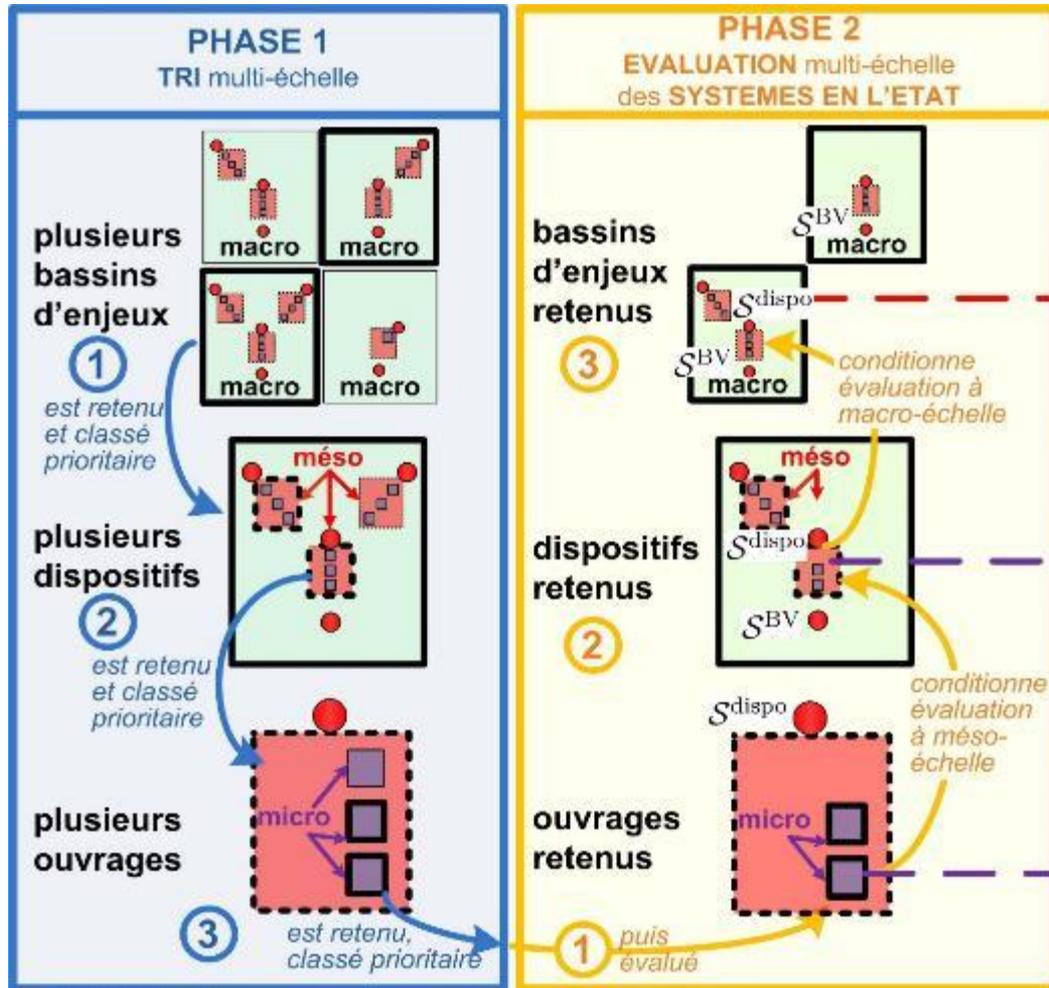
## Echelles

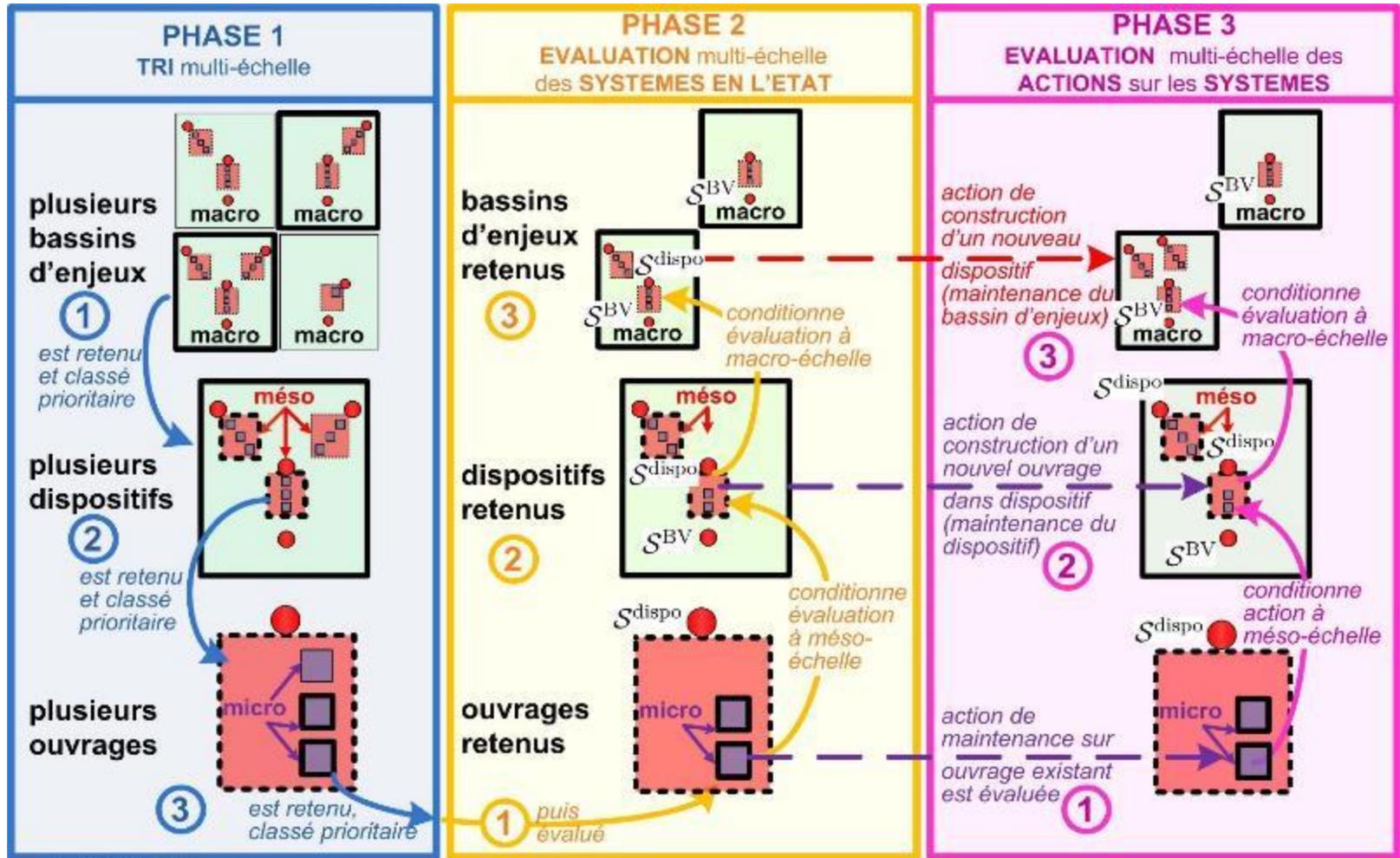


## Objectifs









1. Problématique d'aide à la décision

2. Nouvelle approche intégrée d'aide à la décision

**3. Discussion : traçabilité, pluridisciplinarité, généricité**

- « **L'eau des montagnes un bien commun, mais à quel prix ?** »
  - **problème de décision** multi-échelles, multicritères, basé sur des informations imparfaites pouvant provenir de sources inégalement fiables, en contexte d'incertitude épistémique
  - **exemple opérationnel** simplifié : gérer les ouvrages de protection torrentielle
  
- **Approche générique**
  - décomposition puis intégration selon plusieurs échelles
  - association de plusieurs méthodes d'aide à la décision
  
- **Intérêts**
  - aident à **structurer** et à **résoudre**
  - permettent de **capitaliser** l'expertise, d'**explicitier** et **tracer** les décisions, les raisonnements
  - **démarche co-construite** : l'analyse du problème est le premier pas, souvent non trivial, vers sa résolution

## ▪ **Changement de paradigme en pratique**

- **analyse technique** (expertise) est **essentielle** pour aider à décider
- **mais** l'accompagnement du décideur nécessite également de l'**aider à formuler** et **formaliser son problème**
- des **concepts** à appréhender, des **méthodes** à s'approprier

## ▪ **Aide à la décision : un maillon méthodologique**

- **accompagne** mais ne décide pas à la place
- poursuite du développement des **connaissances** sur les **processus physiques** :  
*transfert en termes d'informations et de qualité associée dans le processus de décision*
- accompagner le processus grâce aux **sciences humaines et sociales** :  
*description du contexte de décision, identification des critères, préférences, décision*



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

**Simon CARLADOUS**



18 octobre 2018, Annecy

## 1. Description du contexte de décision (Simon, 1947)

*Méthode « 5WH » : Qui ? Quoi ? Pourquoi ? Quand ? Où ? Comment ?* (Lasswell, 1960)

## 2. Formulation du problème de décision

## 3. Modélisation du problème de décision et choix d'une méthode adaptée

*a) selon plusieurs critères*

*b) Selon la connaissance sur les scénarios susceptibles de se produire*

## 4. Recommandation finale



## 1. Description du contexte de décision (Simon, 1947)

*Méthode « 5WH » : Qui ? Quoi ? Pourquoi ? Quand ? Où ? Comment ?* (Lasswell, 1960)

## 2. Formulation du problème de décision

## 3. Modélisation du problème de décision et choix d'une méthode adaptée

*a) selon plusieurs critères*

*b) Selon la connaissance sur les scénarios susceptibles de se produire*

## 4. Recommandation finale



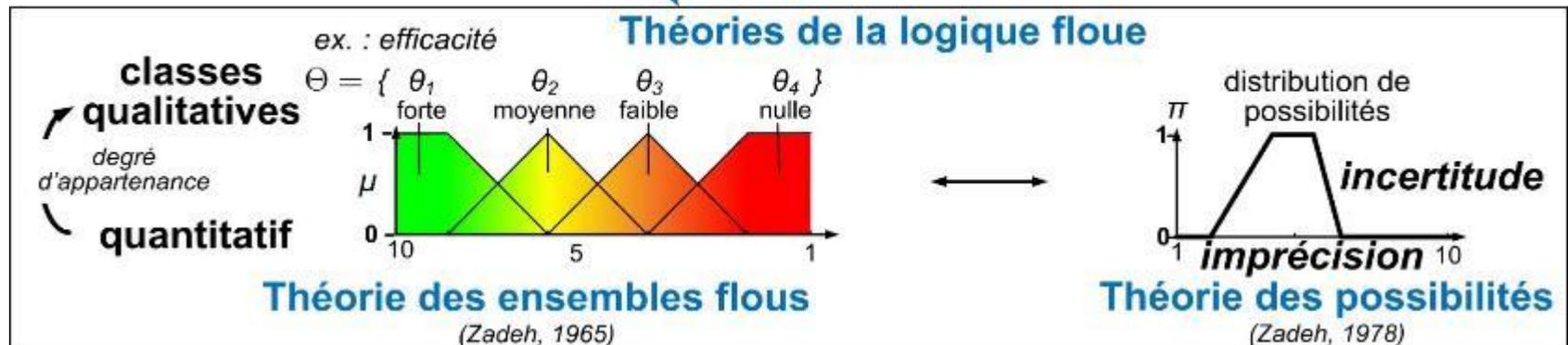
- **Théorie des probabilités :**
  - représentation limitée à l'incertitude
  - probabilités subjectives pour décider en contexte d'incertitude épistémique (Savage, 1954) remis en cause par comportement réel des décideurs (paradoxe d'Allais, 1953)
  
- **Théorie des ensembles flous** (Zadeh, 1965) :
  - extension de la théorie des intervalles qui représente l'imprécision
  - représentation limitée au flou du langage
  - pas de décision en contexte d'incertitude épistémique
  
- **Théorie des possibilités** (Zadeh, 1978) :
  - représentation limitée à l'imprécision et l'incertitude
  - pas de décision en contexte d'incertitude épistémique
  
- **Fonctions de croyance** (Shafer, 1976)  
**et théorie du raisonnement évidentiel** (Smarandache et Dezert, 2004) :
  - extension des probabilités : fonctions de masse ( $m^\theta(.)$ )
  - représentation des différentes formes d'imperfection
  - liens théoriques avec autres formalismes (Dubois et Prade, 1987 ; Tacnet, 2009)

- Représentation de l'imperfection de l'information :

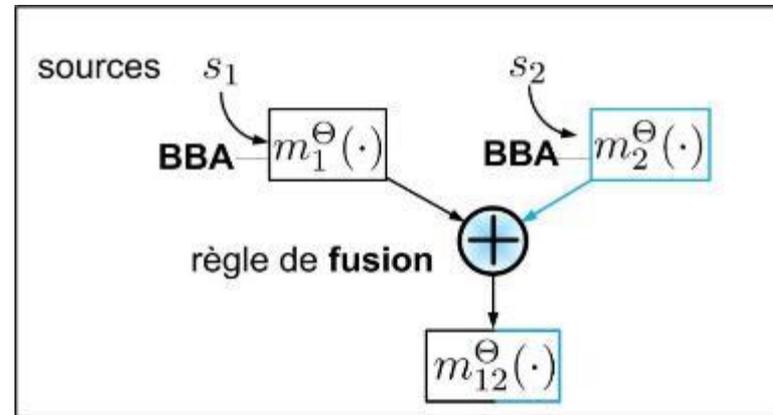
Fonctions de croyance (Shafer, 1976)	exemple pour deux éléments
Cadre de discernement : $\Theta$	$\Theta = \{\theta_1, \theta_2\}$
Éléments $\theta_c$ exhaustifs et mutuellement exclusifs	
Powerset : $2^\Theta$	$2^\Theta = \{\emptyset, \theta_1, \theta_2, \theta_1 \cup \theta_2\}$ ↑ ignorance
<b>Fonction de masse (BBA)</b> d'une source $s_q$	
$\begin{cases} m_q^\Theta(\cdot) = 2^\Theta \rightarrow [0, 1] \\ m_q^\Theta(\emptyset) = 0 \\ \sum_{A \subseteq \Theta} m_q^\Theta(A) = 1 \end{cases}$	$m_q^\Theta(\theta_1) + m_q^\Theta(\theta_2) + m_q^\Theta(\theta_1 \cup \theta_2) = 1$

Formes d'imperfection
imprécision
incertitude
inconsistance
incomplétude

liens théoriques



- Fusion de plusieurs sources d'information :



- Règles de décision selon attitude du décideur

Plausibilité

Probabilités

Crédibilité

$$Pl^\theta(A) \triangleq \sum_{Y \cap A \neq \emptyset | Y \in 2^\Theta} m^\theta(Y) \geq P^\theta(A) \geq Bel^\theta(A) \triangleq \sum_{Y \subseteq A | Y \in 2^\Theta} m^\theta(Y)$$