

AXE ALEA ACTION ARES_01 GT sur la qualification et quantification de l'aléa résultant

B. Colas (brgm) / M. Malascrabes (Cerema)

AG C2ROP2 (18/01/2023)

Aléa rocheux - Qualification de l'aléa résultant : quelles approches pour quels besoins ?

- ✓ Contexte & Constitution du GT
- ✓ Définitions
- ✓ Réflexions méthodologiques

Aléa rocheux - Qualification de l'aléa résultant : quelles approches pour quels besoins ?

- ✓ Contexte & Constitution du GT
- ✓ Définitions
- ✓ Réflexions méthodologiques

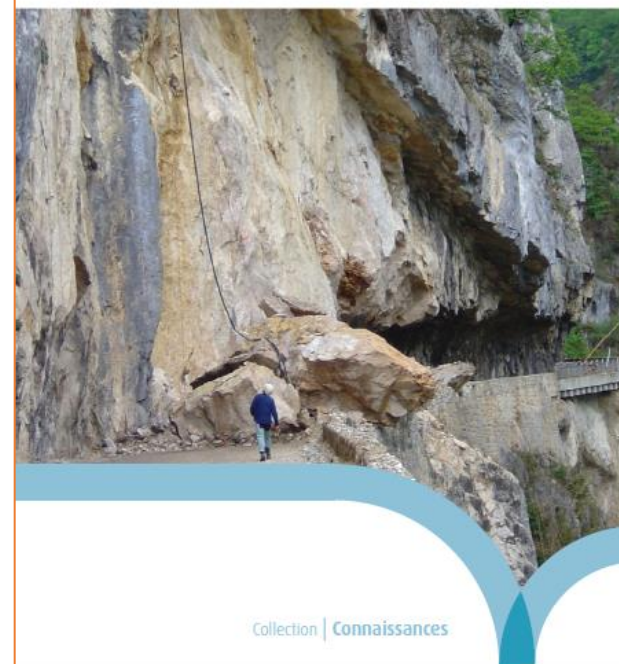
— CONTEXTE —

C2ROP Action 4.1 :

- ✓ Établir la synthèse des glossaires établis par les actions du projet national C2ROP (« livrable « Glossaire » »)
- ✓ Établir une synthèse des méthodes relatives aux études d'aléa utilisées jusqu'à présent et issues de C2ROP (livrable "Etat de l'art")

C2ROP2 Action ARES_01 :

- ✓ Guide technique / recommandation (?) sur les méthodes de caractérisation de l'aléa



— CONTEXTE —

- ✓ Demande forte des MOA et MOE, en lien avec les travaux réalisés dans l'axe Risque de C2ROP, et en particulier le groupe de travail sur le « CCTP études »
- ✓ L'objectif de l'action est d'aboutir à des recommandations sur le type d'étude d'aléa résultant à entreprendre en fonction de l'objectif recherché

Qualification de l'aléa résultant :
quelles approches pour quels besoins ?

→ Questionnements multiples et cadrage des termes à réaliser

CONTEXTE

✓ Constitution d'un GT

>> EN COURS !

>> RELANCE MOA ? BE ?



EDF	Romain Jarlan	romain.jarlan@edf.fr
	François Vaysse	francois.vaysse@edf.fr
	Vincent Varlet	vincent.varlet@edf.fr
RIPRAP	Valentin Le Bidan	valentin.lebidan@riprap.fr
CAN	Laura Maurin	lmaurin@can.fr
SAGE	Fabien Chartier	f.chartier@sage-ingenierie.com
INRAe	Franck Bourrier	franck.bourrier@inrae.fr
Cerema	Marie Malascrabes	Marie.malascrabes@cerema.fr

Aléa rocheux - Qualification de l'aléa résultant : quelles approches pour quels besoins ?

- ✓ Contexte & Constitution du GT
- ✓ Définitions
- ✓ Réflexions méthodologiques

L'aléa est la manifestation d'un phénomène ou évènement naturel (ici éboulement) d'occurrence et d'intensité donnée. (Fell et al. 2008, C2ROP)

Projet National C2ROP. *Glossaire du risque rocheux*

Bron : Cerema, 2020. Collection : Références. ISBN : 978-2-37180-452-4

L'aléa correspond à la **probabilité spatiale** (susceptibilité) **et temporelle** ('période de retour') qu'un type de phénomène d'une certaine **intensité** se produise sur un territoire donné **pour une période** temporelle donnée (Cruden et Fell, 1997 ; Fell et al., 2005)

Si **l'intensité du phénomène** redouté n'est pas discriminée formellement, l'aléa traduit la probabilité d'occurrence d'un phénomène de ce type.

Cette probabilité peut être spatiale (on parle de « susceptibilité ») ou spatiale et temporelle (on parle alors bien d'aléa).



St Paul de Varces © IRMa, éboulement 13/1/2009

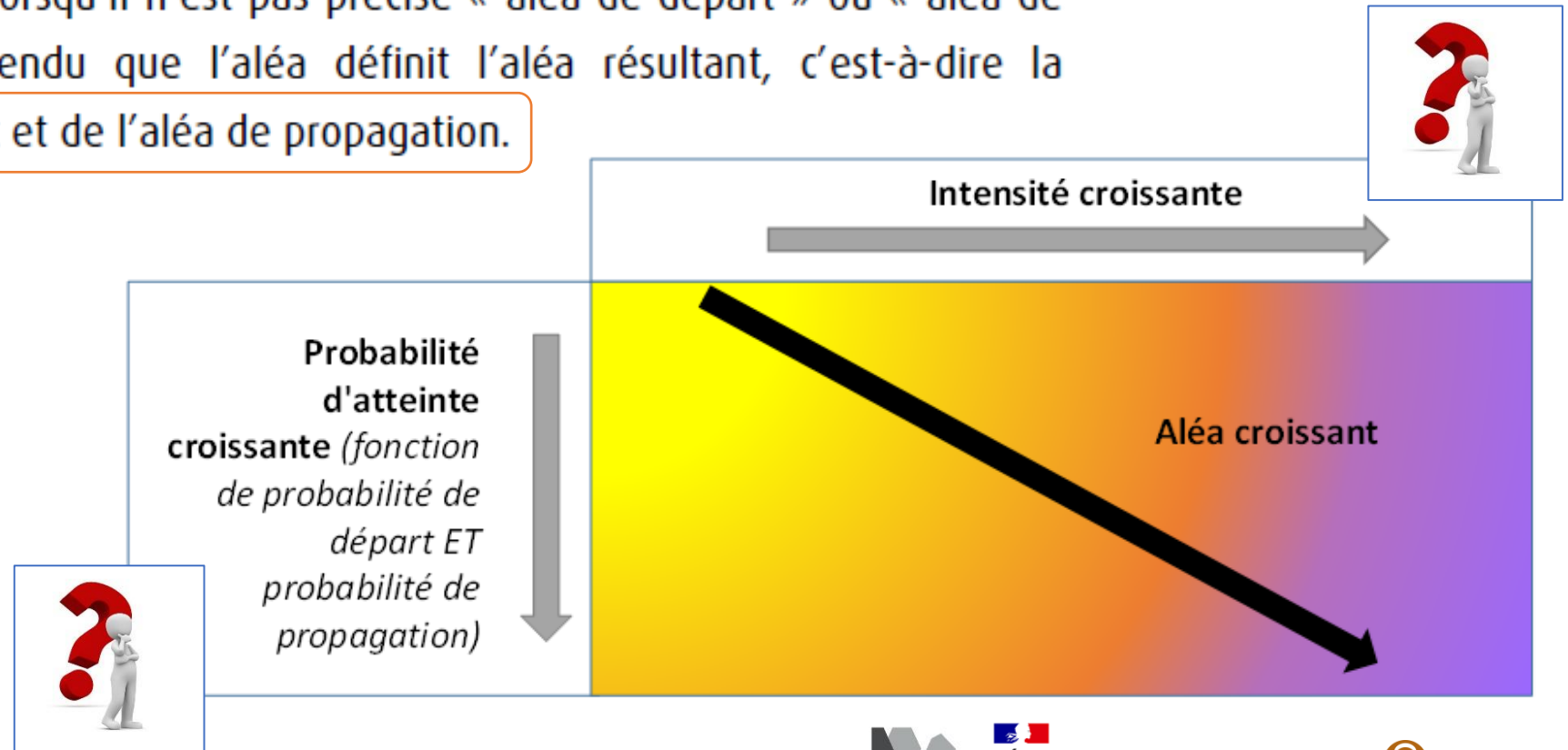
Aléa

Souvent utilisé à la place d'aléa résultant

Projet National C2ROP. *Glossaire du risque rocheux*

Bron : Cerema, 2020. Collection : Références. ISBN : 978-2-37180-452-4

En matière de risque rocheux, lorsqu'il n'est pas précisé « aléa de départ » ou « aléa de propagation » il est sous-entendu que l'aléa définit l'aléa résultant, c'est-à-dire la combinaison de l'aléa de départ et de l'aléa de propagation.



Conséquences d'un aléa sur un enjeu, exprimées de manière qualitative (faible, moyen, fort) ou quantitative (coût financier annuel par exemple). C'est la combinaison de la probabilité d'atteinte d'un emplacement (probabilité de l'aléa résultant), de l'exposition de l'enjeu (probabilité de présence de l'enjeu à cet emplacement) et de sa vulnérabilité (dommage potentiel). Il s'exprime en termes de niveaux de dommage.

*On peut distinguer le **risque individuel** (probabilité annuelle de décès d'une personne particulière exposée à un aléa) et le **risque collectif ou sociétal**, qui tient compte de l'ensemble des dommages aux personnes et aux biens susceptibles d'être provoqués par un aléa.*

Projet National C2ROP. *Glossaire du risque rocheux*

Bron : Cerema, 2020. Collection : Références. ISBN : 978-2-37180-452-4

Aléa rocheux - Qualification de l'aléa résultant : quelles approches pour quels besoins ?

- ✓ Contexte & Constitution du GT
- ✓ Définitions
- ✓ Réflexions méthodologiques

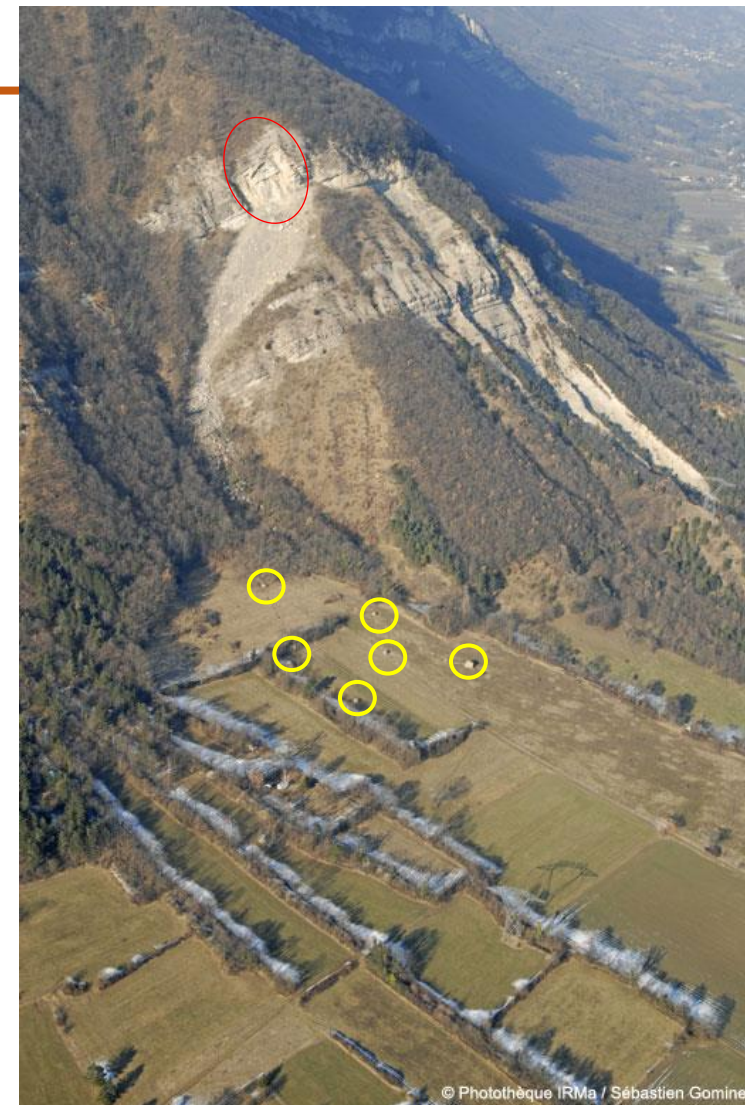
— OBJECTIF —

Extrait fiche C2ROP2

« L'objectif de l'action est d'aboutir à des recommandations sur le type d'étude d'aléa résultant à entreprendre en fonction de l'objectif recherché.

En préalable et en référence à l'état de l'art réalisé dans C2ROP, un rappel des méthodes sera formalisé à l'usage des MOA (aléa diffus localisé, approche quantitative / qualitative).

Ces recommandations s'attacheront en particulier à décrire de façon explicite la qualification de de l'aléa résultant à partir de **départs isolés ou diffus** après **rupture et propagation** et ce en un point **isolé (enjeu ponctuel)**, d'une zone continue ou à **l'échelle de toute un territoire.** »



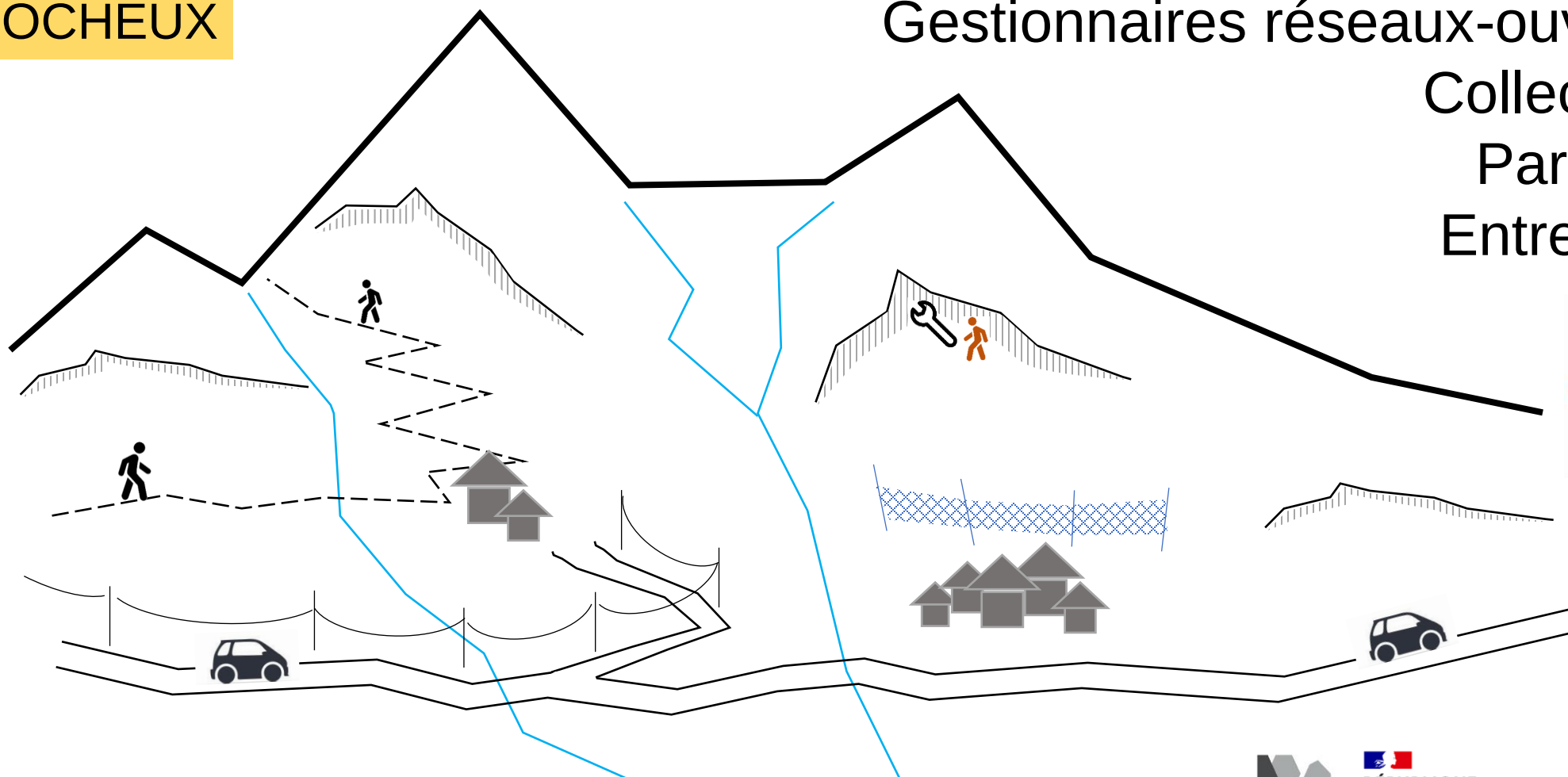
St Paul de Varces © IRMa, éboulement
13/1/2009

OBJECTIF

Des besoins variables selon les MOA

ALEA
ROCHEUX

Etat
Gestionnaires réseaux-ouvrages
Collectivités
Particulier
Entreprises



OBJECTIF

Des besoins variables selon les MOA

ALEA
ROCHEUX

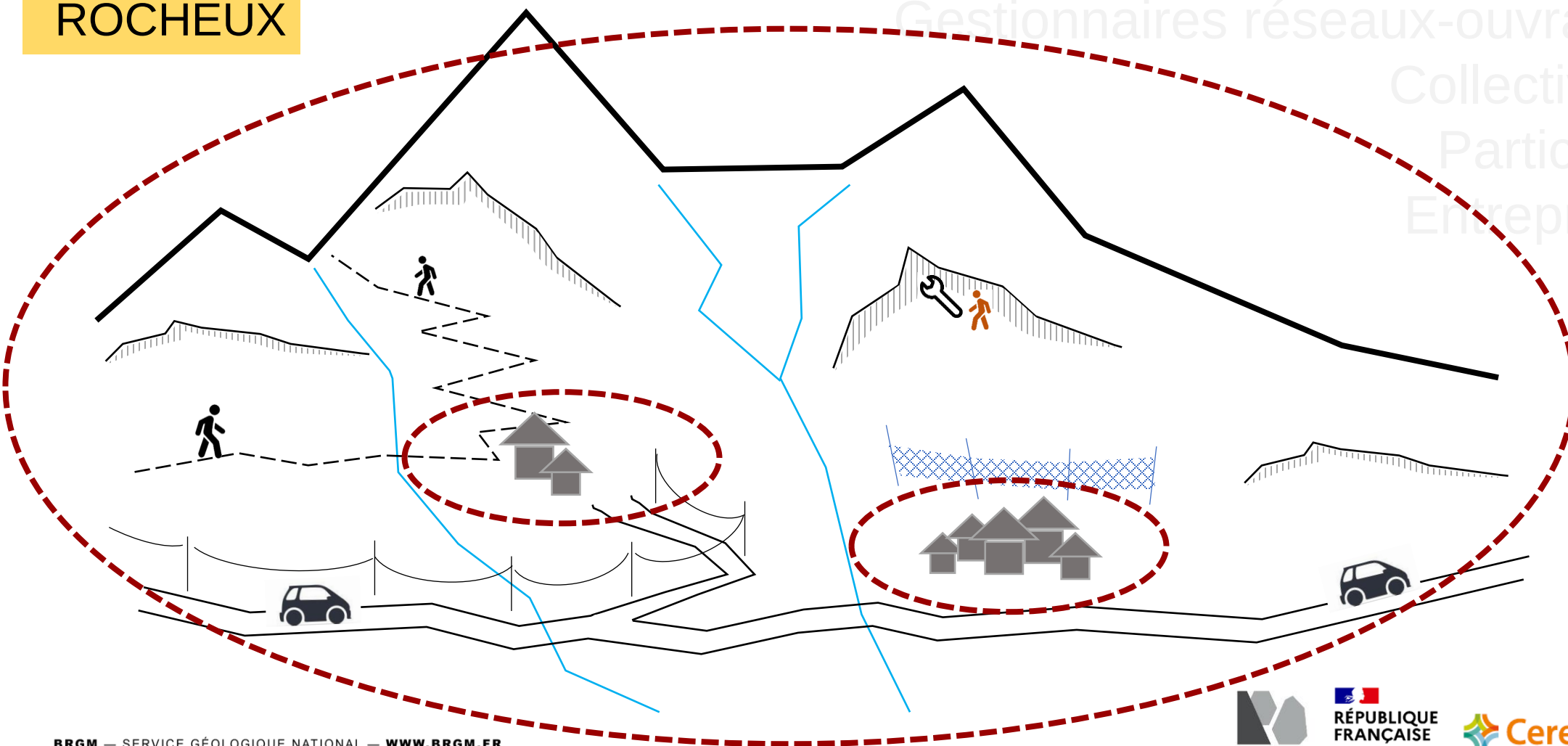
Etat

Gestionnaires réseaux-ouvrages

Collectivités

Particulier

Entreprises



OBJECTIF

Des besoins variables selon les MOA

ALEA
ROCHEUX

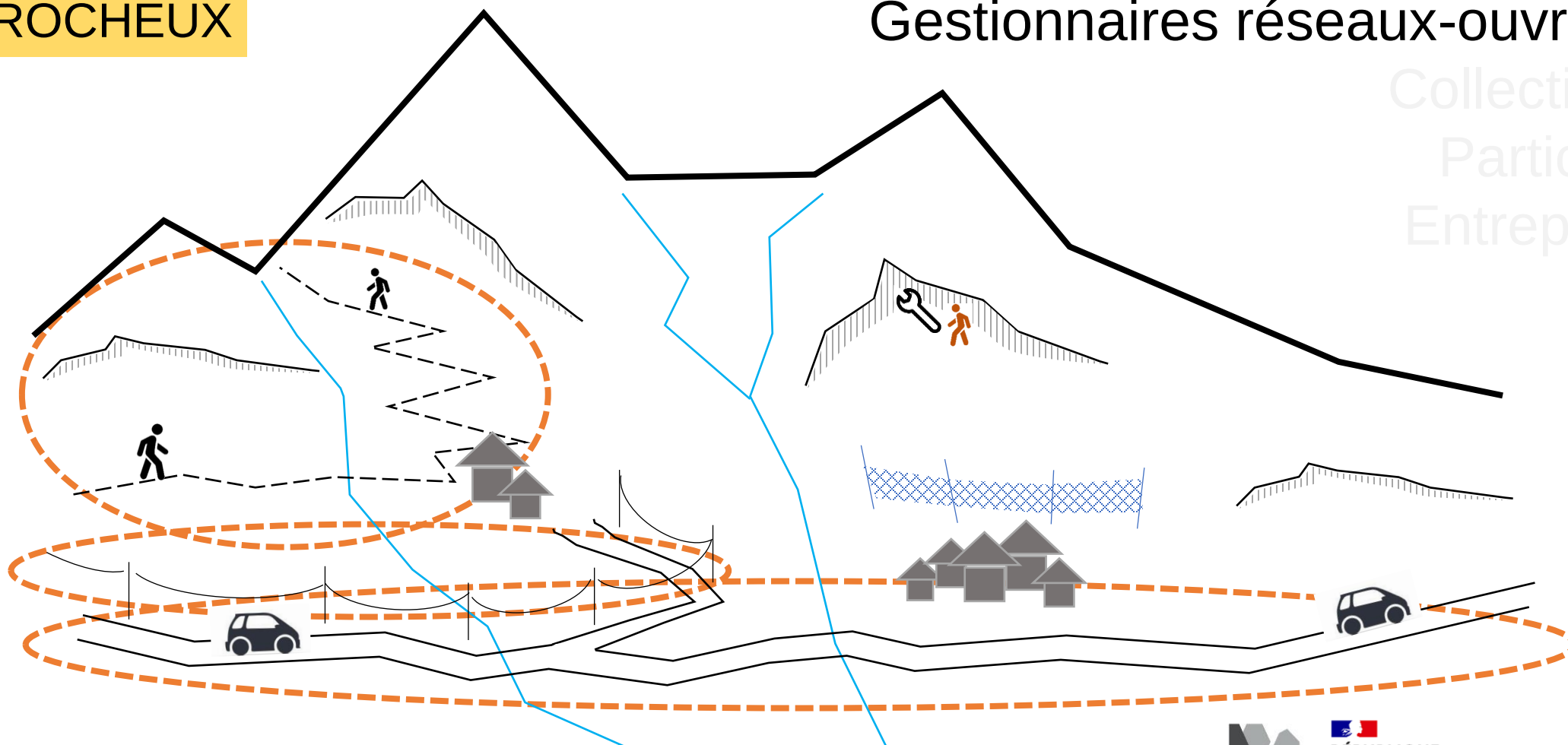
Gestionnaires réseaux-ouvrages

Etat

Collectivités

Particulier

Entreprises

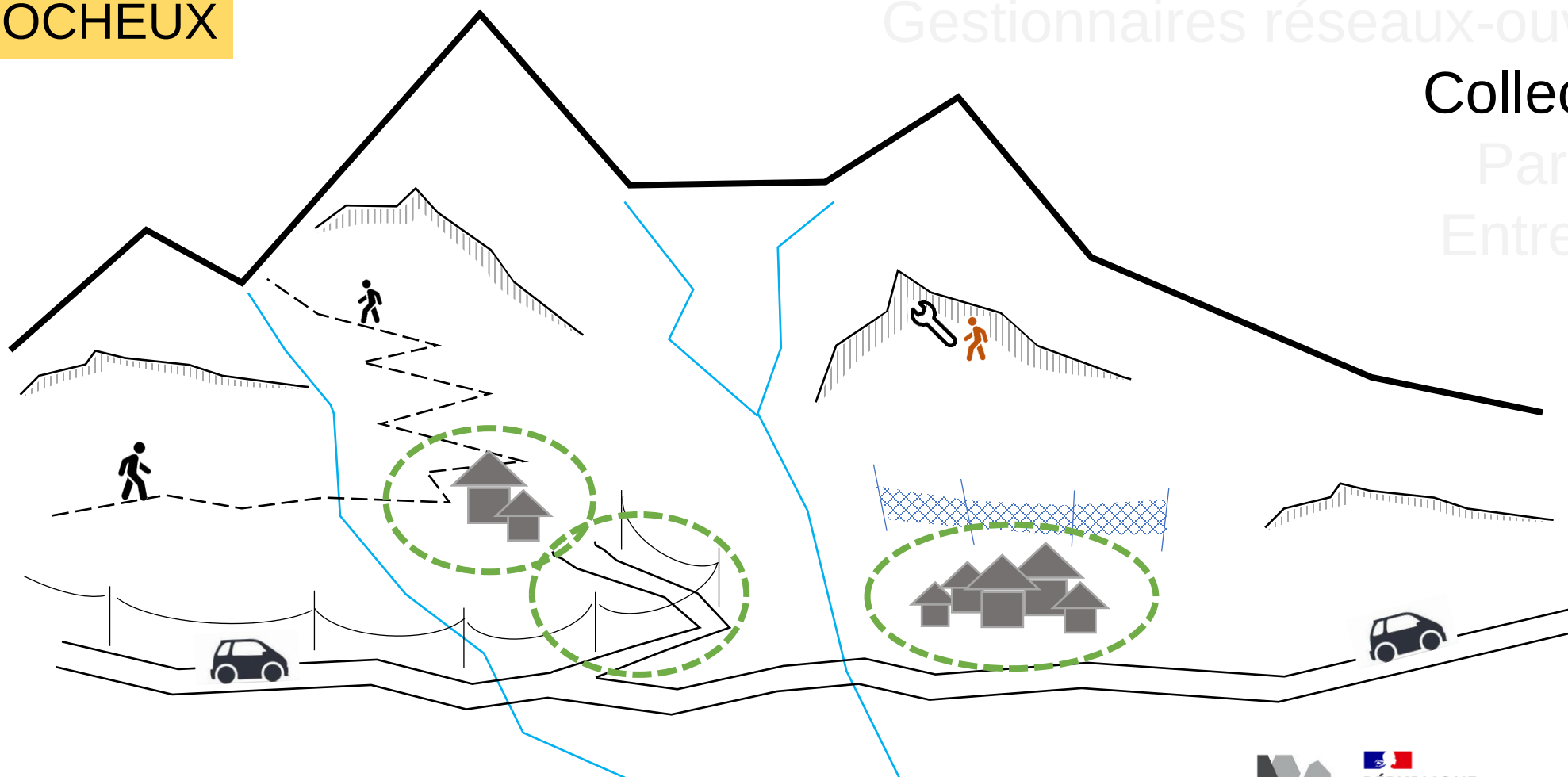


OBJECTIF

Des besoins variables selon les MOA

ALEA
ROCHEUX

Etat
Gestionnaires réseaux-ouvrages
Collectivités
Particulier
Entreprises

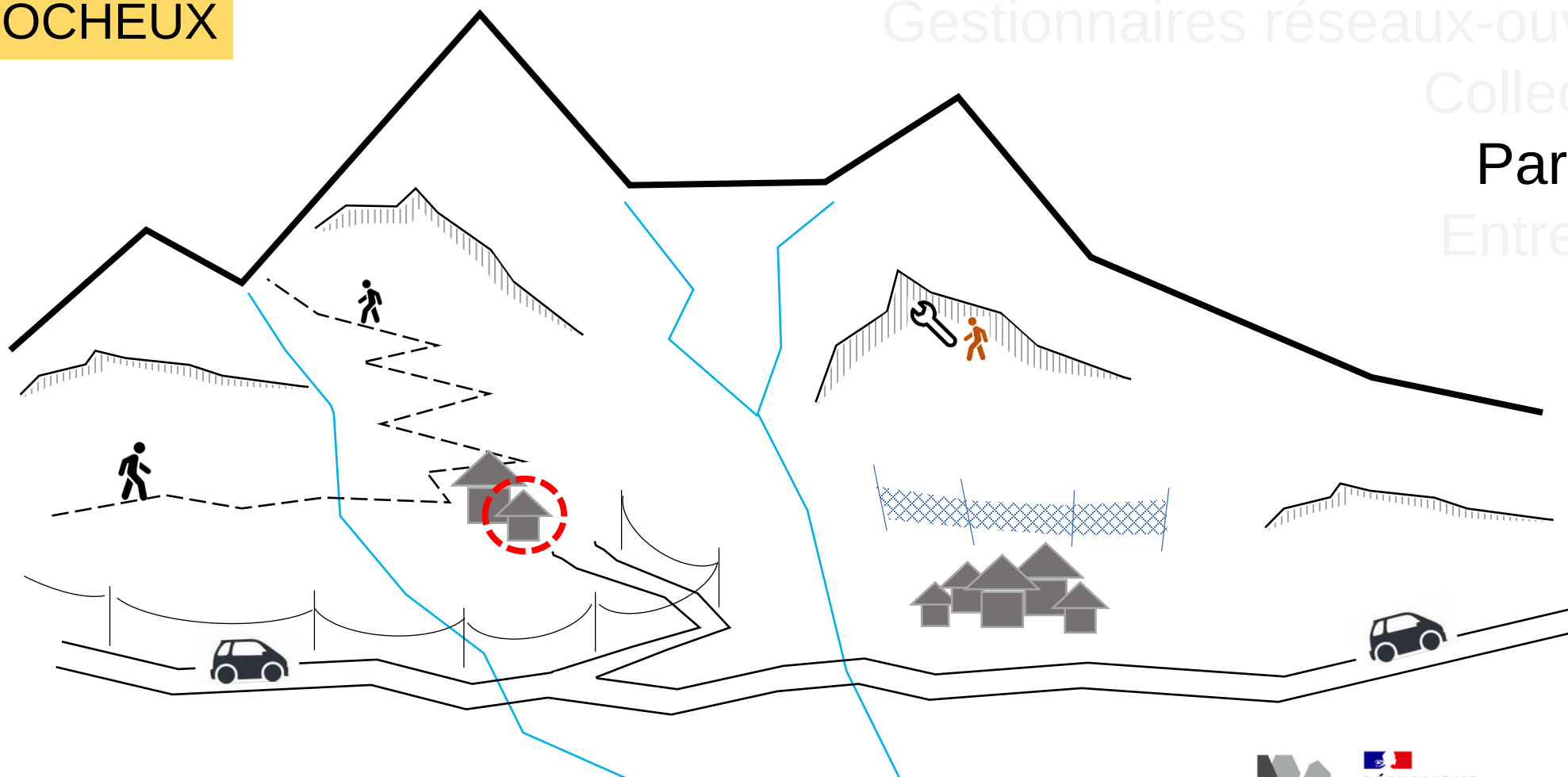


OBJECTIF

Des besoins variables selon les MOA

ALEA
ROCHEUX

Etat
Gestionnaires réseaux-ouvrages
Collectivités
Particulier
Entreprises

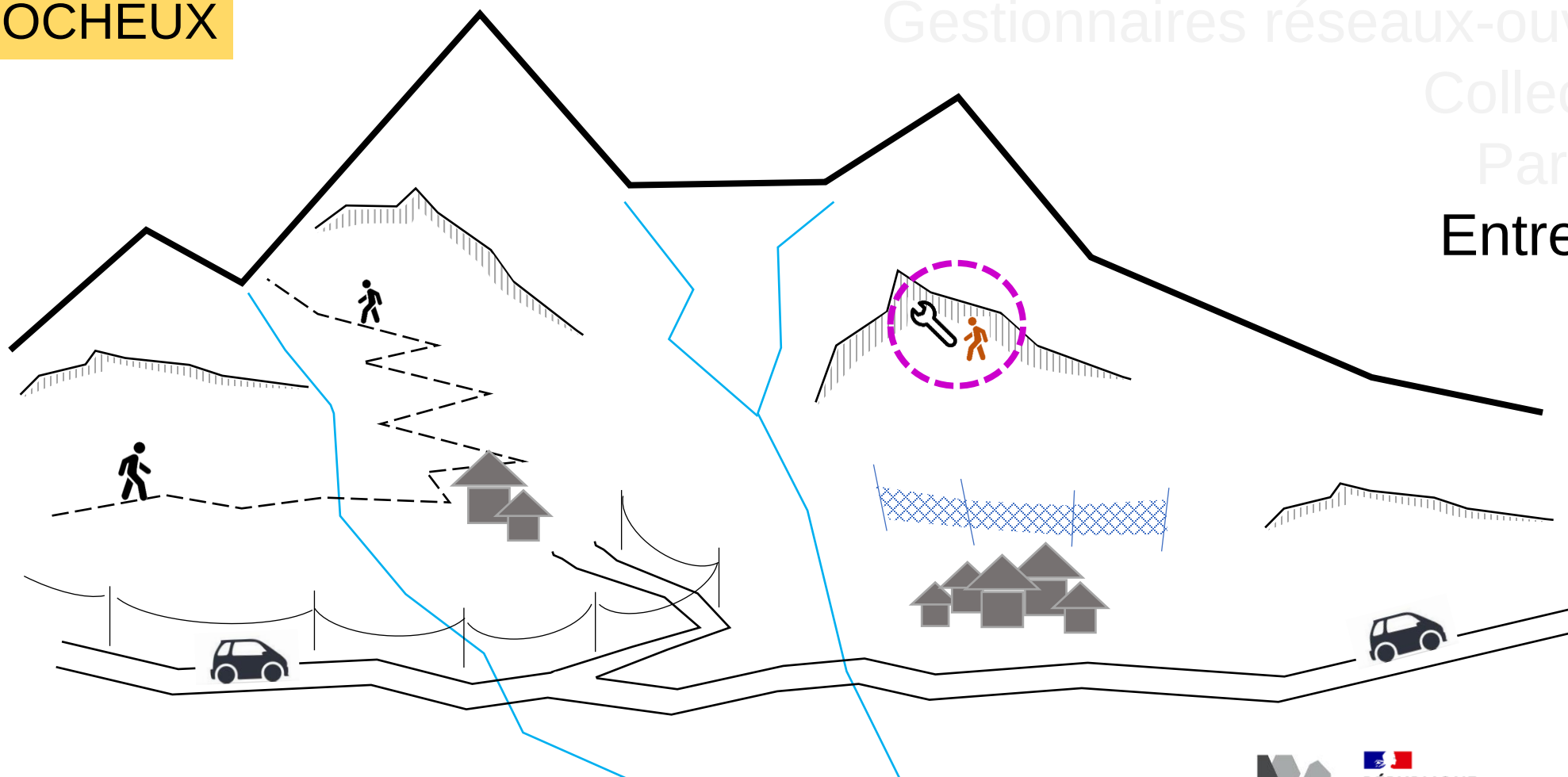


OBJECTIF

Des besoins variables selon les MOA

ALEA
ROCHEUX

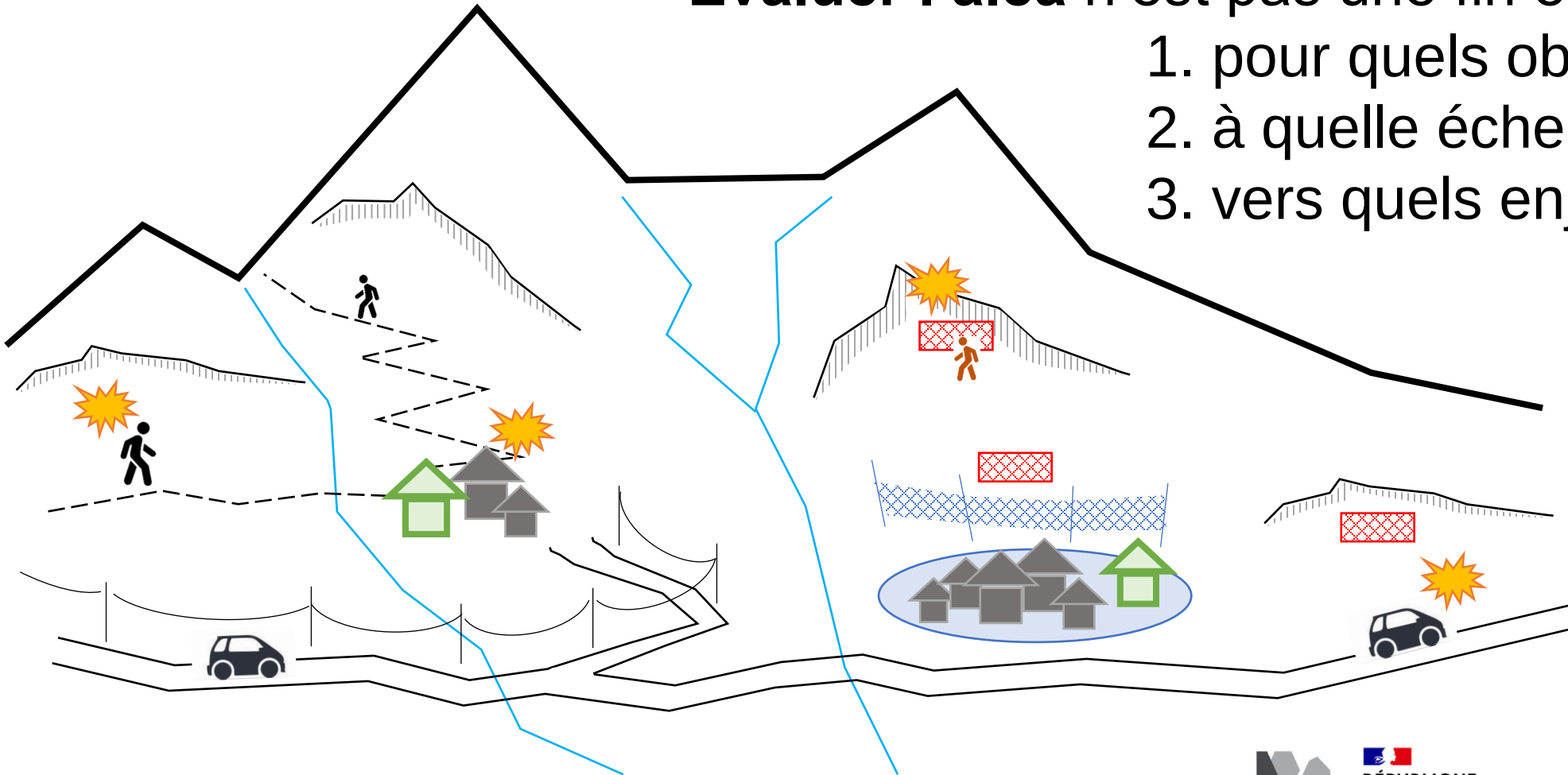
Etat
Gestionnaires réseaux-ouvrages
Collectivités
Particulier
Entreprises



ALEA = 1^{ère} brique d'une stratégie de gestion du risque

Evaluer l'aléa n'est pas une fin en soit :

1. pour quels objectifs ?
2. à quelle échelle
3. vers quels enjeux?



OBJECTIF

ALEA = 1^{ère} brique d'une stratégie de gestion du risque

Enjeux ?

Enjeux linéaires



Enjeux surfaciques



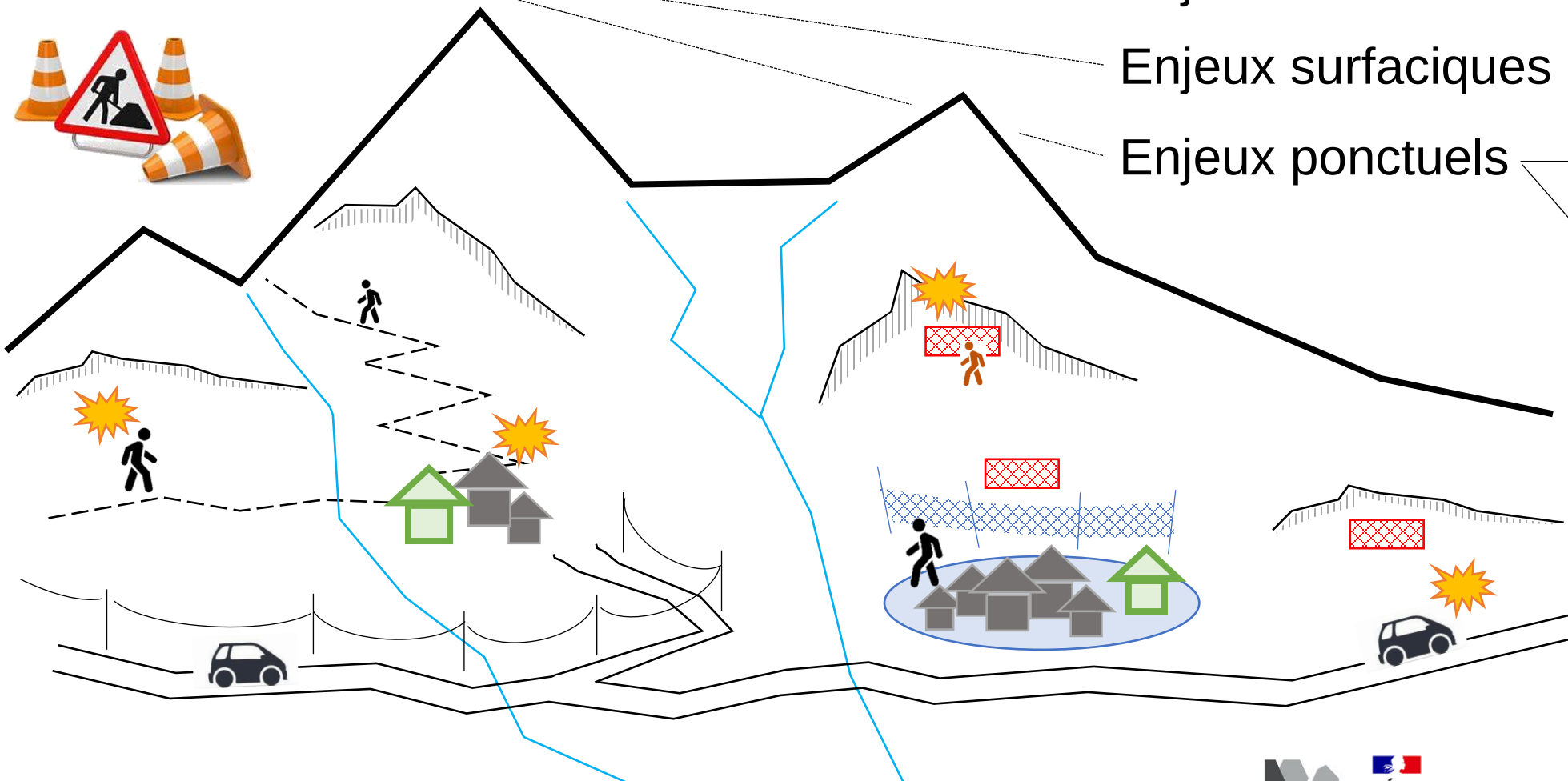
Enjeux ponctuels



fixes



mobiles



OBJECTIF

Des besoins variables selon les MOA ... à des échelles variables

Echelle description	Echelles associées	Exemples d'applications	Surface globale pour zonage
Petite	< 1:100,000	Inventaire des phénomènes et carte de susceptibilité pour information préventive (décideurs et grand public).	> 10,000 km ²
Moyenne	1:100,000 to 1:25,000	Inventaire des phénomènes et zonage de la susceptibilité pour le développement régional ou pour des projets d'ingénierie à très grande échelle. Cartographie préliminaire des risques pour les zones locales	1000–10,000 km ²
Large	1:25,000 to 1:5000	Inventaire des phénomènes, susceptibilité et zonage des risques pour les zones locales. Zonage des risques de niveau préliminaire à intermédiaire pour les zones locales et les stades avancés de la planification des grands ouvrages d'art, des routes et des voies ferrées.	10–1000 km ²
Détaillée	> 1:5000	Niveau intermédiaire et avancé : zonage de l'aléa et du risque pour les zones locales et spécifiques à un site et pour la phase de conception. locaux et spécifiques à un site et pour la phase de conception des grands ouvrages d'art, des routes et des chemins de fer.	Several hectares to 10km ²

OBJECTIF

Des besoins variables selon les MOA ... à des échelles variables

ALEA ROCHEUX		Petite < 1:100,000	Moyenne 1:100 000 à 1:25 000	Grande 1:25 000 à 1:5 000	Détaillée > 1:5000
Etat	Carte informative nationale		Carte régionale à caractère informatif. Hiérarchisation de bassins d'aléa puis de risque. Priorisations d'actions.	Carte pour l'aménagement à caractère prescriptif (PAC, PPRN)	Carte pour l'aménagement à caractère prescriptif (révision PPR). Etude de dimensionnement de protection?
Gestionnaires réseaux	Carte informative nationale (SNCF, EDF) / départementale (réseau routier CD) / etc...		Hiérarchisation des aléas à échelle d'un réseau. Stratégie d'itinéraires.	Etude d'itinéraire. Aléa pour définition de risque et définition d'une stratégie de gestion à échelle locale.	Etude de site. Définition des aléa pour définition / dimensionnement d'une solution de gestion (protection).
Collectivités	-	-		Carte pour l'aménagement en complément ou non des aléas Etat (PLU)	Précision locale de l'aléa à l'échelle de site en complément ou non des cartographies Etat. Dimensionnement d'ouvrages de protection.
Particulier	-	-		-	Précision d'aléa / de parades à échelle de site. Complément de dimensionnement d'ouvrages de protection.
Entreprises	-	-		-	Aléa 'transitoire' en phase de travaux. Définition des mesures préventives pour intervention en zone d'aléa avéré.



OBJECTIF

Des besoins variables selon les MOA ... à des échelles variables

ALEA ROCHEUX

	Petite < 1:100,000	Moyenne 1:100 000 à 1:25 000	Grande 1:25 000 à 1:5 000	Détaillée > 1:5000
Gestionnaires réseaux	Carte informative nationale (SNCF, EDF) / départementale (réseau routier CD) / etc...	Hiérarchisation des aléas à échelle d'itinéraire (réseau)	Etude locale. Aléa pour définition du risque et définition d'une stratégie de gestion	Etude de site. Définition des aléas pour définition / dimensionnement d'une solution de gestion (protection).

Exemple

Eboulement sur RD = **quel besoins ?**

- 1) Protection des **vies**
- 2) Maintien de **fonction** pour qui ? pourquoi ?
= secours, vie économique, énergie, etc...
- 3) Délai de sécurisation : immédiate pour restaurer la circulation (compromis (1) ? /
moyen terme (mode dégradé ?) / sécurisation long terme (période de référence
30 ans ?
- 4) Responsabilité juridique (maire, gestionnaire, état et usager)



OBJECTIF

ALEA = 1^{ère} brique d'une stratégie de gestion du risque

= fréquences d'atteinte aux enjeux

ALEA
Phénomènes redoutés contre se prémunir ?

= sollicitations

- Vitesses (t et ω)
- Energie
- Hauteur
- Epaisseur

EXPOSITION DES ENJEUX
Vulnérabilité

= Valeur
= Vulnérabilité

- Humaine
- Physique (matérielle)
- Fonctionnelle



Stratégie de gestion

ACTION

RMOA1 > Réseau MOA
RMOA2 > Acceptabilité du risque

Le degré de stabilisation recherché

= acceptabilité

- complète ou partielle
- immédiate ou à terme
- temporaire ou définitive

Les contraintes techniques / aspects travaux (urgence, délai, accès etc..)

L'investissement consenti

Méthodes d'évaluation

→ ALEA RESULTANT... une définition

$$ALEA_{ijk} = P(L)_j \times P(T|L)_{ijk}$$

Avec $P(L)_j$: proba. de rupture de magnitude j (classe de volume)
 $P(T|L)_{ijk}$: proba. de propagation en i sachant L

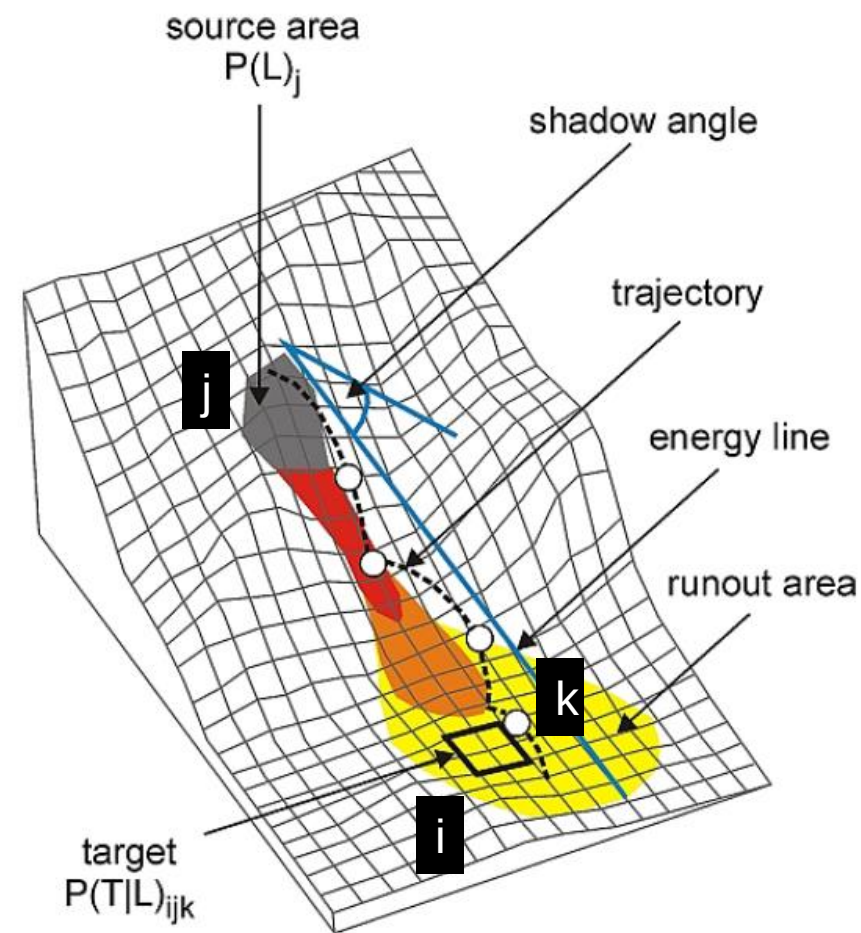
= probabilité qu'un bloc atteigne le point i avec une intensité donnée (énergie cinétique) de classe k . Probabilité et intensité sont liées à la magnitude initiale de l'événement redouté

L'aléa rocheux doit en théorie être évalué pour différentes classes de magnitude, explicitement ou implicitement associées à diverses fréquence de chute (ou période de retour).

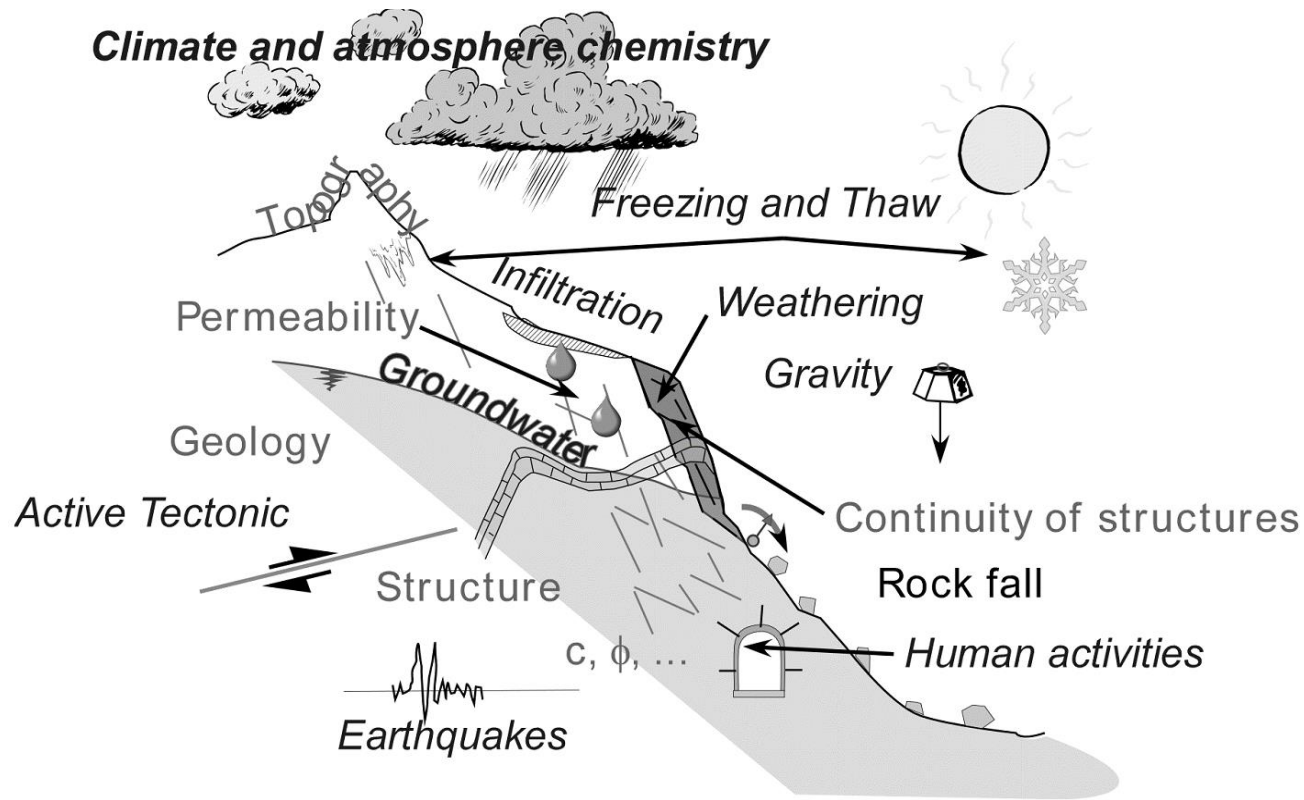
Volkwein et al. (2011)



Important → Les éléments exposés ne sont pas pris en compte dans la définition de l'aléa... mais le choix de la méthode d'évaluation de l'aléa doit être en mesure de traiter des spécificités des enjeux (vulnérabilités)



Méthodes d'évaluation → RUPTURE



IF (facteurs internes)

- Morphologie
- Géologie
- Fracturation
- Propriétés mécaniques
- Activité
- Hydrogéologie

EF (facteurs externes influant sur IF)

- Gravité
- Circulation d'eau : souterraine / pluie / neige
- Altération
- Sismicité
- Température (Exposition / gel-dégel)
- Activités anthropiques

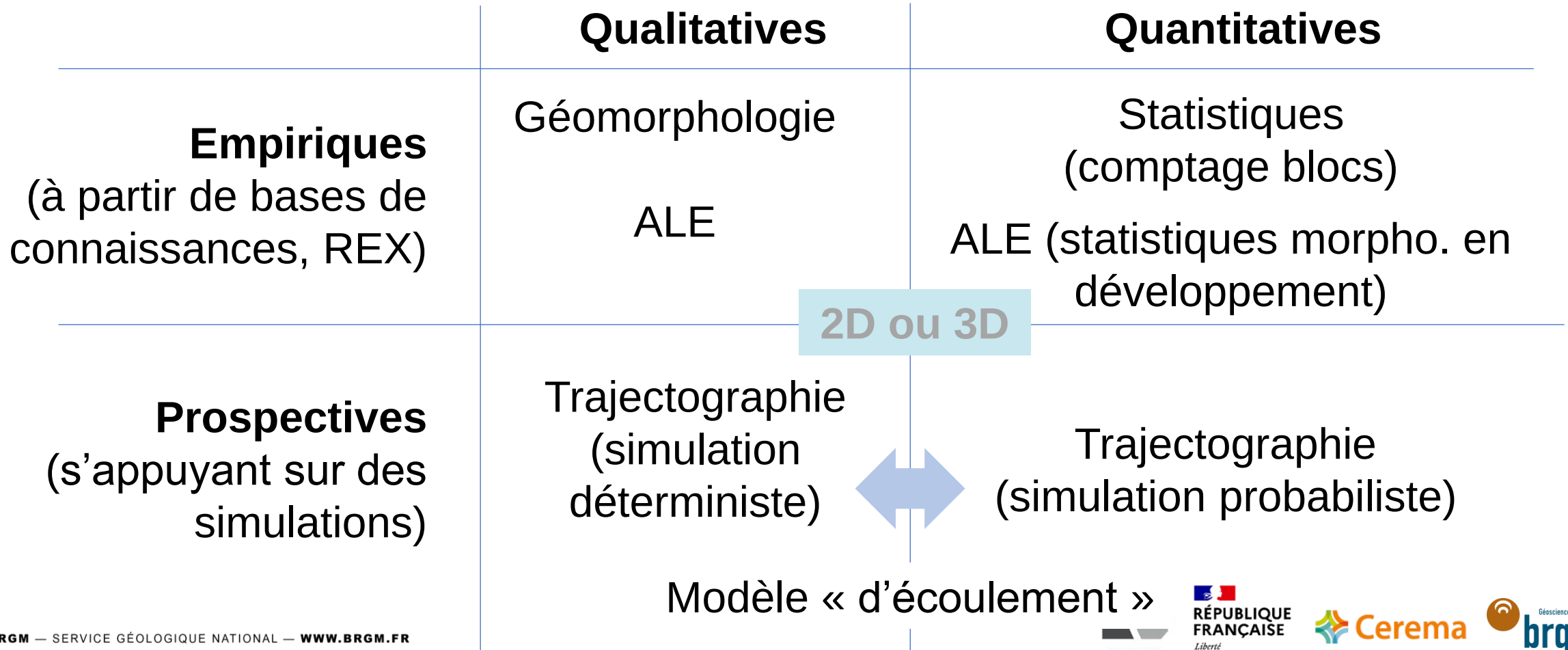
Volkwein et al. (2011)

Méthodes d'évaluation → RUPTURE

	Qualitatives	Quantitatives
Empiriques (à partir de bases de connaissances, REX)	Géomorphologie (probabilité / délai / LCPC) Scoring (Matterrock)	Statistiques (comptage cicatrices, inventaire historique, loi F/M) SAD
Prospectives (s'appuyant sur des simulations)	Modèle géo-mécanique	Modèle géo-mécanique (simulation probabiliste)

2D ou 3D

Méthodes d'évaluation → PROPAGATION



Méthodes d'évaluation → ALEA RESULTANT

	Qualitatives	Quantitatives
Empiriques (à partir de bases de connaissances, REX)	Géomorphologie	Statistiques (comptage blocs en versant / sur chaussée)
	Scoring (SMR, RHRS, AMCH)	
	2D ou 3D	

— Travaux du GT —



ALEA = probabilité spatiale et temporelle qu'un type de phénomène d'une certaine **intensité** (selon besoin) se produise sur un **territoire donné** (périmètre des enjeux) pour une **période** temporelle donnée (période de référence)

- ✓ Identification des MOA
- ✓ Selon MOA déclinaison :
 - Analyse de besoins
 - Protection des vies
 - Maintien de la fonction (secours, vie économique, énergie, etc...)
 - Responsabilité juridique (maire, gestionnaire, état... et usager)
 - ?
 - Période de référence
 - Périmètre d'étude et échelle
 - ?

- ✓ Description des méthodes d'évaluation
 - Littérature
 - Inventaires de pratiques ?
- ✓ Identification des résultats attendus vs le besoin exprimé (ex. H, E, % atteinte pour ouvrage passif ou fréquence d'atteinte de pierre et plus pour piétons)
- ✓ Recommandations type d'analyse (+/- limites) selon les besoins

Méthodes d'évaluation → ALEA RESULTANT

Quelques
« certitudes » ...

- 1) Approche
différente départ
isolé ou diffus
- 2) « croisement »
rupture –
propagation

		Probabilité annuelle de rupture				
		TE > 0,3	E 0,03	M $3 \cdot 10^{-3}$	F $3 \cdot 10^{-4}$	TF $3 \cdot 10^{-5}$
Proba de propagation	TE > 0,3	TE > 10^{-1}	E 10^{-2}	M 10^{-3}	M 10^{-4}	F 10^{-5}
	E 0,03	E 10^{-2}	M 10^{-3}	M 10^{-4}	F 10^{-5}	TF 10^{-6}
	M $3 \cdot 10^{-3}$	M 10^{-3}	M 10^{-4}	F 10^{-5}	TF 10^{-6}	/ 10^{-7}
	F $3 \cdot 10^{-4}$	M 10^{-4}	F 10^{-5}	TF 10^{-6}	/ 10^{-7}	/ 10^{-8}
	TF $3 \cdot 10^{-5}$	F 10^{-5}	TF 10^{-6}	/ 10^{-7}	/ 10^{-8}	/ 10^{-9}

Tableau 7.11 : Combinaison des probabilités de départ et de propagation et proposition de qualification de la probabilité d'atteinte

Méthodes d'évaluation → ALEA RESULTANT

Table 4

Examples of landslide susceptibility mapping descriptors

Susceptibility descriptors	Rock falls	Small landslides on natural slopes	Large landslides on natural slopes
<i>(a) Quantitative susceptibility descriptors</i>			
Relative	Geomechanical ratings (SMR, RMS)	Scores of contributing factors obtained from data treatment techniques	
Absolute	Factor of safety values from stability models	Factor of safety values from stability models	Factor of safety values from stability models
<i>(b) Qualitative susceptibility descriptors</i>			
Field geomorphological analyses	Presence of absence of potential instability factors (cracks, dipping joints) Density of scars on a rock slope	# of landslides per square kilometre % of area covered by landslide deposits	Presence or absence of landslides and their degree of preservation Presence or absence of activity indicators
Index map or parameter map	Overlapping of index maps with or without weighting	Overlapping of index maps with or without weighting	

Table 5

Recommended descriptors for hazard zoning

Hazard descriptor	Rock falls from natural cliffs or rock cut slope	Slides of cuts and fills on roads or railways	Small landslides on natural slopes	Individual landslides on natural slopes
	Number/annum/km of cliff or rock cut slope	Number/annum/km of cut or fill	Number/km ² /annum	Annual probability of active sliding
Very high	> 10	> 10	> 10	10 ⁻¹
High	1 to 10	1 to 10	1 to 10	10 ⁻²
Moderate	0.1 to 1	0.1 to 1	0.1 to 1	10 ⁻³ to 10 ⁻⁴
Low	0.01 to 0.1	0.01 to 0.1	0.01 to 0.1	10 ⁻⁵
Very low	<0.01	<0.01	<0.01	< 10 ⁻⁶

Quelques « certitudes »
Recommandations JTC-1

— ELEMENTS BIBLIOGRAPHIQUES —

- ✓ Fell et al. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. On behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes.
- ✓ Hantz et al. (2020). Caractérisation quantitative des aléas rocheux de départ diffus
- ✓ Thiery et al. (2021). Improvement of landslide hazard assessments for regulatory zoning in France: STATE-OF-THE-ART perspectives and considerations
- ✓ Volkwein et al. (2011). Rockfall characterisation and structural protection – a review
- ✓ *Projet National C2ROP. Caractérisation de l'aléa éboulement rocheux - Etat de l'art*
Bron : Cerema, 2020. Collection : Connaissances. ISBN : 978-2-37180-470-8
- ✓ *Projet National C2ROP. Glossaire du risque rocheux*
Bron : Cerema, 2020. Collection : Références. ISBN : 978-2-37180-452-4



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



C2ROP



Géosciences pour une Terre durable

brgm

MERCI DE VOTRE ATTENTION

Piana