



Développement d'une méthodologie multi-aléas post-miniers

Hippolyte DJIZANNE, Marwan AL HEIB, Aurélien GOUZY, Christian FRANCK

POMHAZ

Post-Mining Multi-Hazards evaluation for land-planning

Nathalie Velly – Ineris

Marwan Al Heib - Ineris

Call: **RFCS-2021**

Instrument: **(RR)**

Start date: **01/10/2022**

End date: **30/09/2025**

Budget: **1 758 674 €**

THGA-DMT

TU-Freiberg

SRK

Ineris

GIG

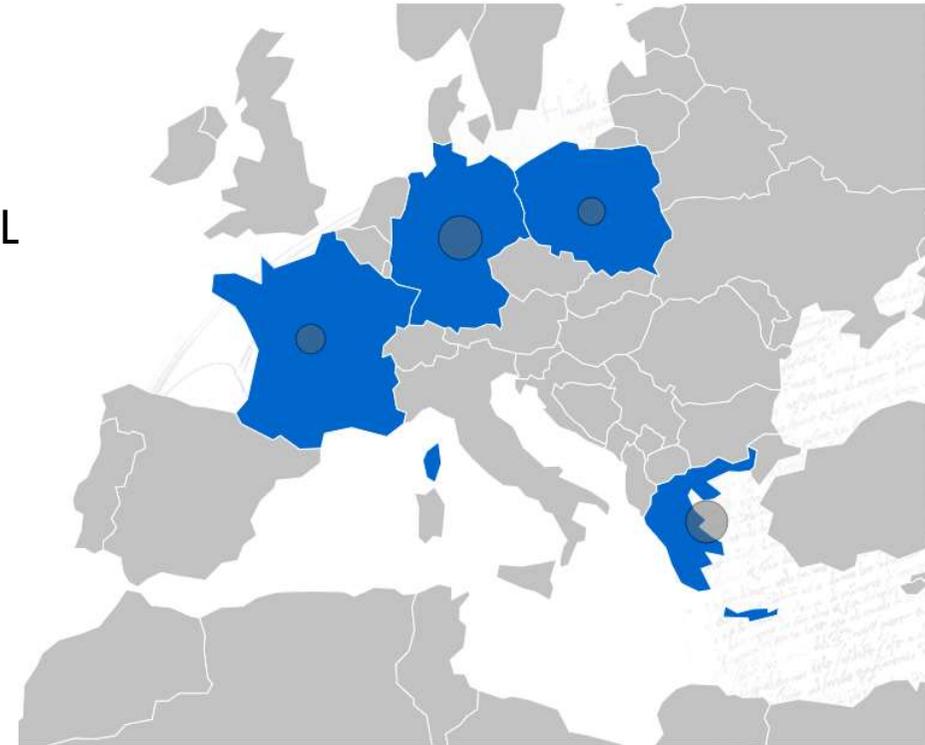
PPC

CERTH



Partenaires du projet (7 partenaires dans 4 pays)

- 1- **Ineris** : INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT ET DES RISQUES INERIS (FR)
- 2- **GIG** : GLOWNY INSTYTUT GORNICTWA (PL, <https://gig.eu/en>)
- 3- **SRK** : SPOLKA RESTRUKTURYZACJI KOPALN SA (PL www.srk.com.pl)
- 4- **THGA** : DMT-GESELLSCHAFT FUR LEHRE UND BILDUNG MBH (DE, www.thga.de)
- 5- **TU BAF** : TECHNISCHE UNIVERSITAET BERGAKADEMIE FREIBERG (DE, tu-freiberg.de)
- 6- **CERTH** : ETHNIKO KENTRO EREVNAS KAI TECHNOLOGIKIS ANAPTYXIS (EL, <https://www.certh.gr/root.en.asp>)
- 7- **PCC** : PUBLIC POWER CORPORATION S.A. (EL, www.dei.gr/en/i-dei/i-etairia/omilos-dei-ae/dei-ae)



Structure du projet européen POMHAZ



WP1: Post-mining hazards and multi hazards assessment methodology

- To carry out a critical analysis of existing tools and methodologies for post-mining hazards identification and analysis;
- To establish a knowledge base including a shared library of post-mining phenomena;
- To develop a framework / methodology to identify and characterize possible hazards and their interactions/interdependencies.

WP2: Post-mining risks assessment methodology and Decision Support System (DSS)

- To provide methodological and practical input for the post-mining risk assessment;
- To support planning and decision-making processes by providing relevant and scientifically sound information to a broad range of stakeholders;
- To define risks specifications as input for WP3 (GIS: Geographic Information System).

WP3: Post-mining risks Information System

- To develop the system architecture, data structure, analysis engines and a user front end of a GIS- solution tailored to post mining risk assessment;
- To implement the concept for selected case studies;
- To demonstrate the value added of such a system.

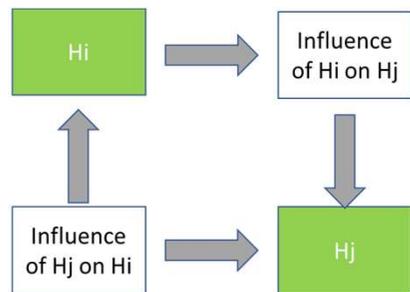
WP4: Application on real case studies

- To provide end users requirements in terms of GIS and DSS;
- To provide required data to test GIS and DSS.

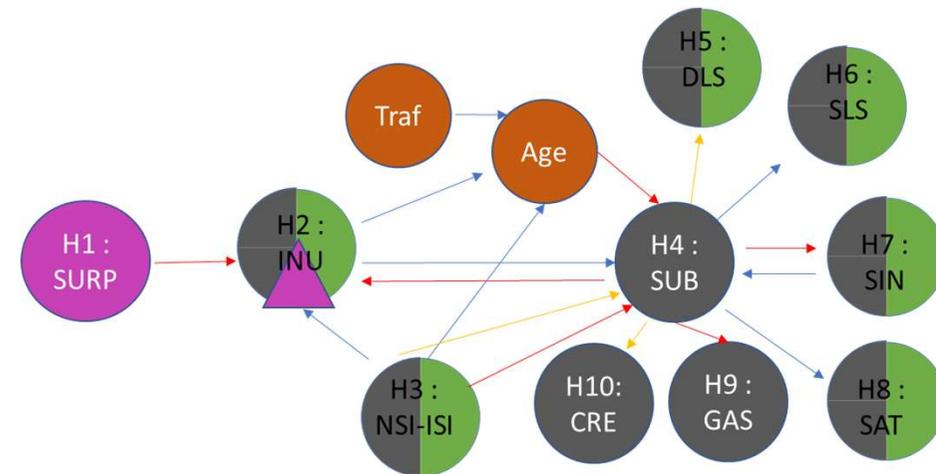
Définition et objectifs du projet européen

Multi-aléas: Déterminer la probabilité d'occurrence de différents aléas se produisant en même temps ou peu de temps après, parce qu'ils sont dépendants les uns des autres ou parce qu'ils sont causés par le même événement déclencheur ou le même aléa, ou menaçant simplement les mêmes éléments à risque sans coïncidence chronologique (European Commission 2010).

- Identification des aléas liés à l'après-mine
- Méthodologie d'évaluation des aléas miniers en Europe
- Méthodologie d'évaluation de l'interaction entre aléas

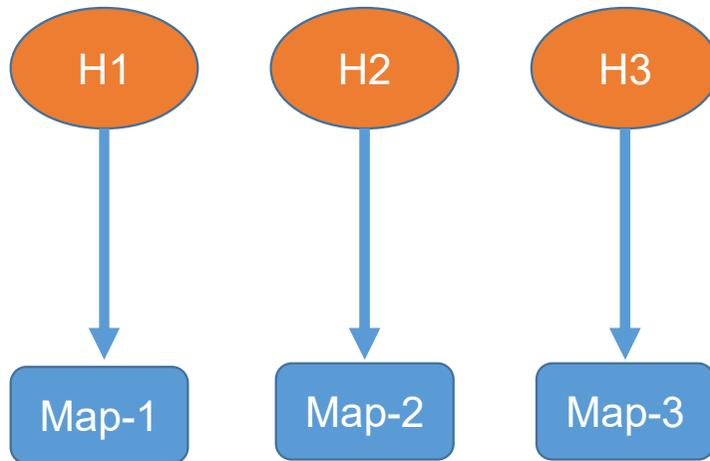


H_1	I_{12}			I_{1n}
	H_2		I_{24}	
		H_3		
			H_4	I_{45}
I_{n1}				H_n

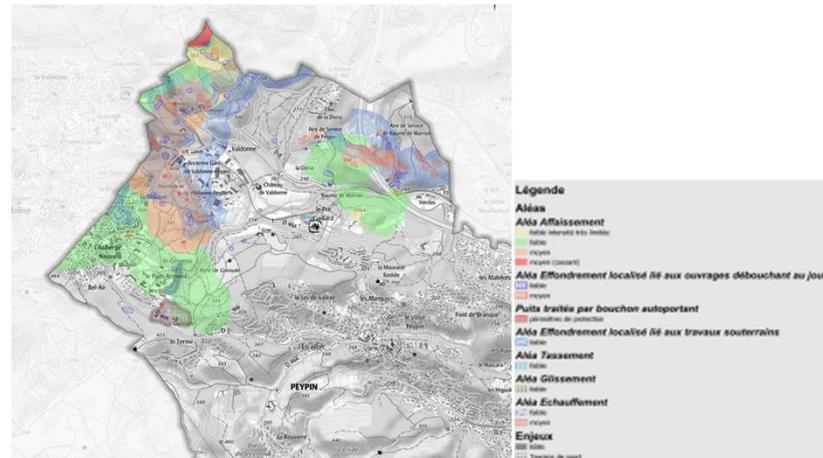
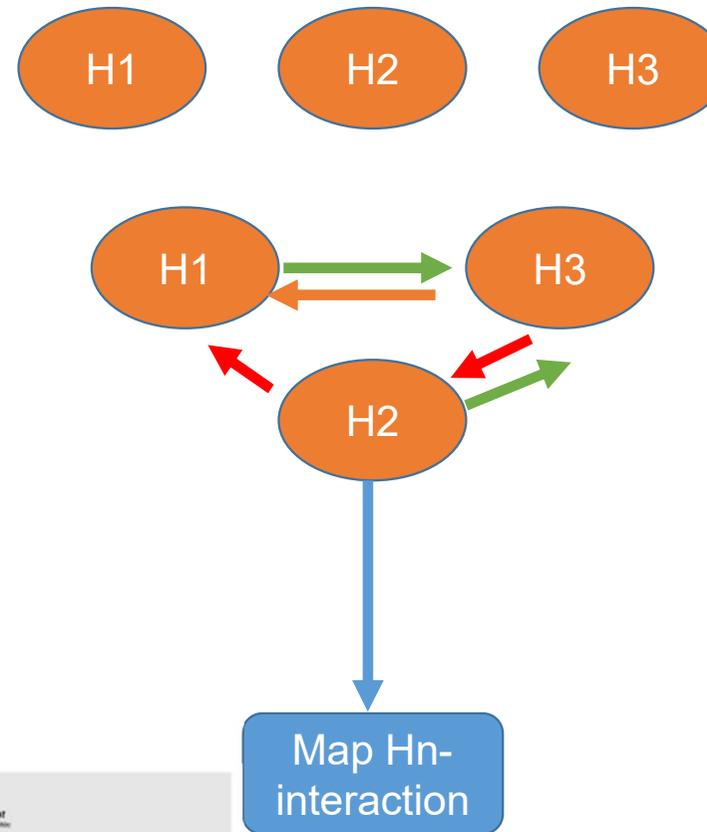


Approches mono et multialéas

Évaluation individuelle des aléas



Évaluation multialéas



Sites et Titres miniers en France métropolitaine

Analyse multi aléas autour des mines abandonnées en France

LÉGENDE

MINÉRAIS MÉTALLIQUES et INDUSTRIELS

- Bauxite
- Fer
- Sel (sodium, potasse)
- Autres polymétalliques

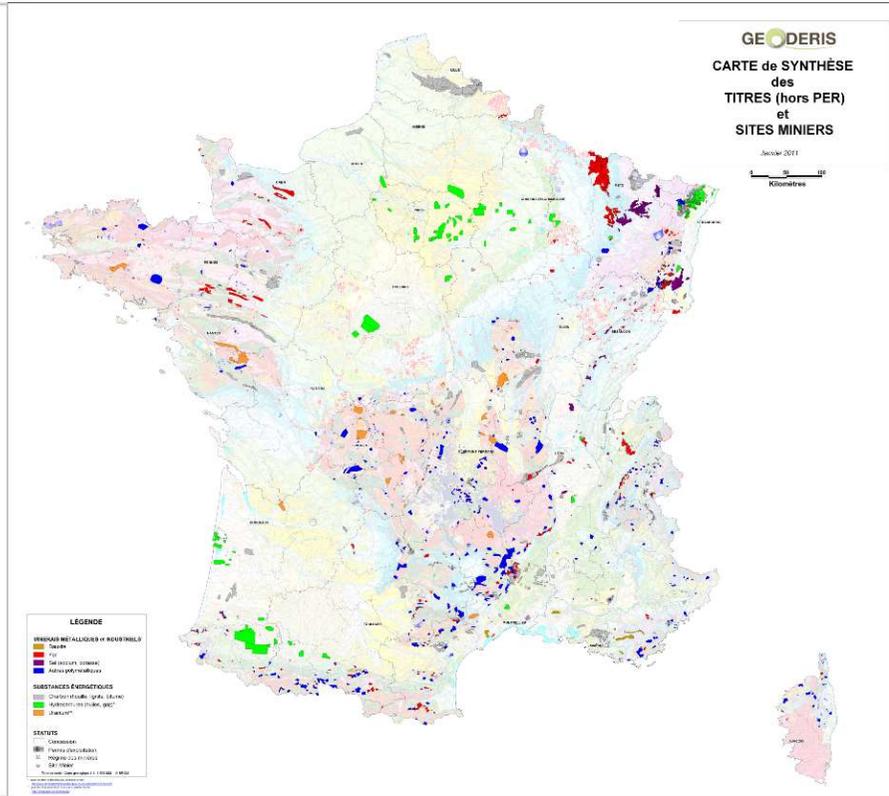
SUBSTANCES ÉNERGÉTIQUES

- Charbon (houille, lignite, bitume)
- Hydrocarbures (huiles, gaz)*
- Uranium**

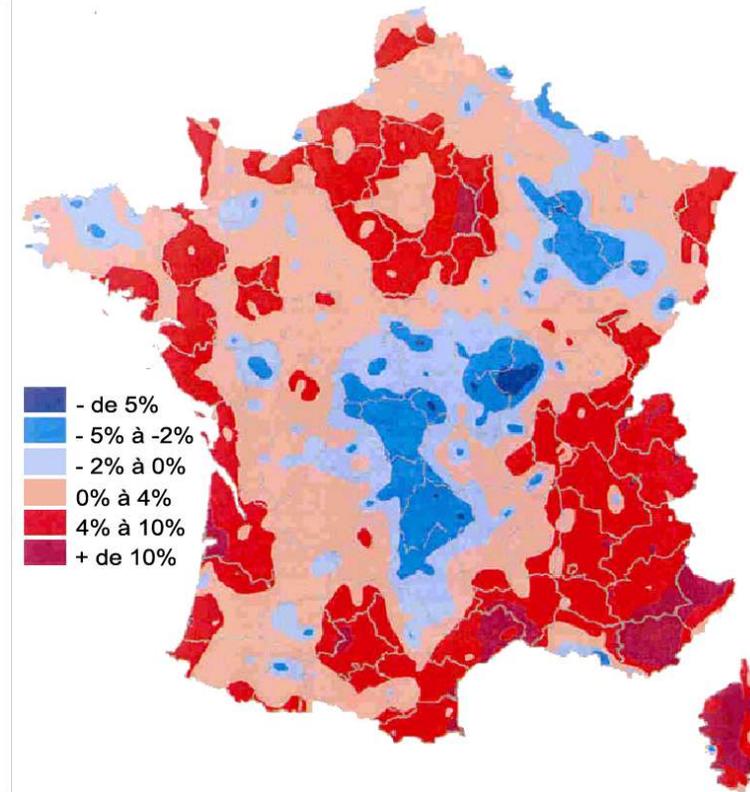
STATUTS

- Concession
- Permis d'exploitation
- Régime des minières
- Site Minier

Fond de carte : Carte géologique à 1/ 1 500 000 © BRGM



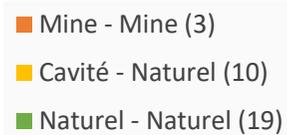
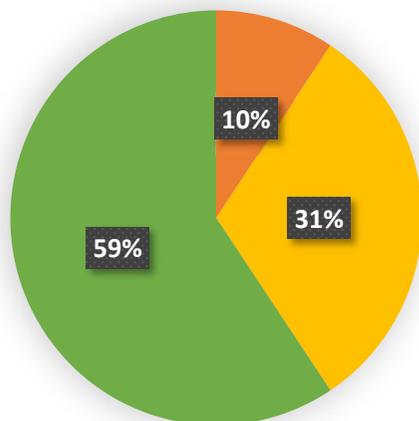
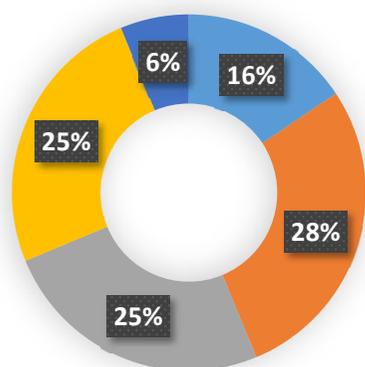
ZONES MINIÈRES



ZONES INONDABLES

Introduction

32 cas d'interactions potentielles remontées par les DREALs dans le cadre d'un questionnaire



Charbon 

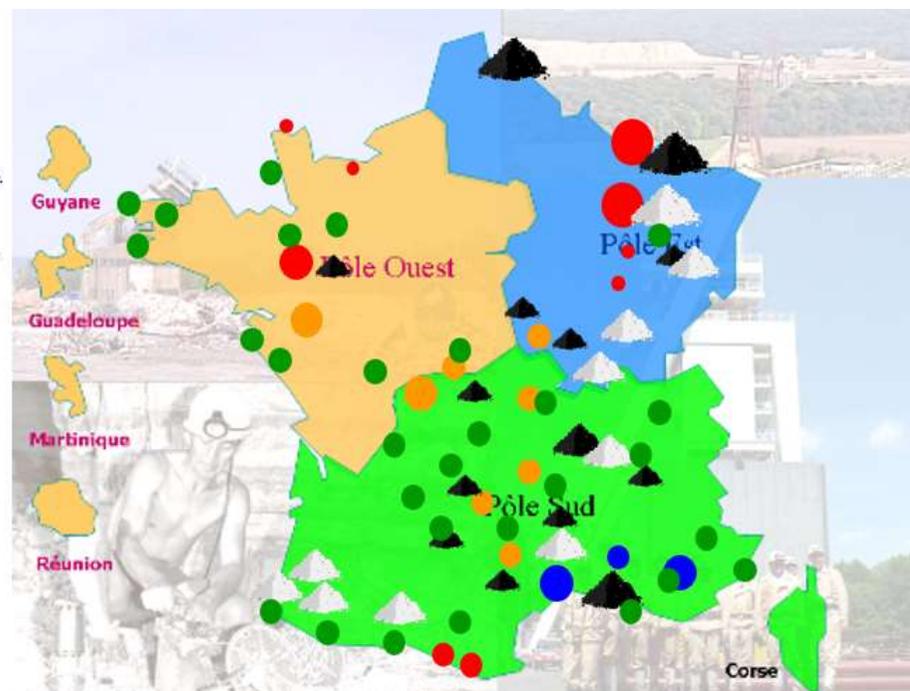
Sel 

Fer 

Aluminium 

Uranium 

Autres métaux 



Les services déconcentrés de l'État

- MTE/BSSS
- DREAL
- DDTM

Organismes d'appui

- Ineris
- BRGM
- GEODERIS
- CEREMA

Difficultés de gestion courante du multirisque

- La prise de décision face à une situation de multi aléas;
- Le besoin d'outils d'affichages des multi-aléas;
- La cohérence des prescriptions dans un PPR multirisque, notamment entre PPRN et PPRM et/ou PPRT;
- La complexité d'instrumenter les sites d'intérêt multi aléas;
- L'analyse au cas par cas c'est-à-dire absence d'approche intégrée;
- Quelques petites contradictions entre les réglementations notamment sur des dispositions constructives.

Pourquoi l'analyse multi-aléa

L'analyse multi aléa présente des avantages suivants dans la gestion des territoires concernés par les aléas miniers :

- une prise en compte plus globale des interactions entre les aléas miniers, naturels et technologiques ;
 - Simplification de la communication de l'information qui est due au public sur les risques auxquels il est soumis (art L125-2 du code de l'Environnement).
- une meilleure évaluation des intensités des aléas autour des mines abandonnées, notamment des scénarios associés à leurs interactions ;
 - Interaction d'un aléa sur un autre – notamment les effets cascades
- une meilleure prise en compte des vulnérabilités d'un territoire exposé à plusieurs aléas ;
 - Choix de la solution la mieux adaptée au contexte
- une vision globale et intégrée du risque qui entraîne une meilleure préservation des intérêts généraux identifiés autour des mines abandonnées ;
 - Réalisation d'un seul document cohérent permettant de définir un projet d'aménagement du territoire au regard de ces aléas et notamment ces risques
- une meilleure évaluation de la capacité de résilience et la durabilité des territoires.
 - Permettre de choisir la solution la mieux adaptée au contexte

Présentation de la méthodologie proposée

1. Identification des différents aléas

- l'aléa minier
- l'aléa naturel
- l'aléa technologique

2. Évaluation individuelle des différents aléas

- l'aléa minier : prédisposition et intensité
- l'aléa naturel : occurrence, intensité et fréquence
- l'aléa technologique : occurrence, intensité et cinétique

3. Identification de l'interaction

- les interactions possibles (le nombre et la nature des interactions)
- les interactions réelles (ou observées) sur un site

4. Évaluation de l'interaction

- Évaluation du potentiel de l'interaction

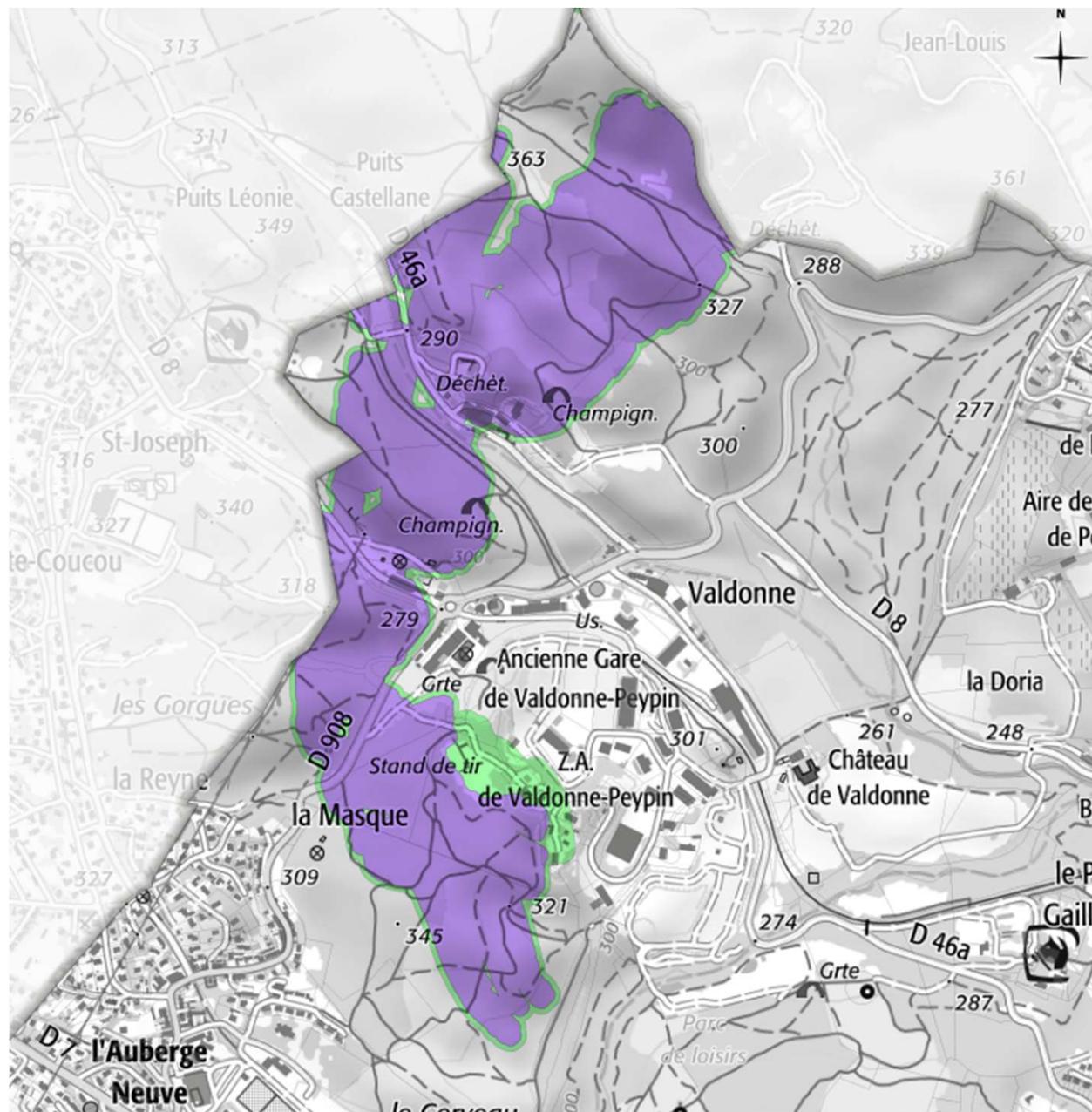
5. Application de la méthodologie à des cas concrets

- un bassin minier polymétallique (**Sainte-Marie-aux-Mines**)
- un bassin lignitifère (**Peypin, Cadolive**)
- un bassin potassique (**nord-ouest de Mulhouse**)

Aléas naturels globaux (2)	Aléas naturels principaux (10)	Aléas naturels (21)	Codes
Aléas liés aux facteurs terrestres (TER)	Mouvement de terrain (MVT)	Affaissement	AFF
		Effondrement localisé (fontis)	FON
		Dissolution (ex. gypse, craie ou sel)	DIS
		Retrait gonflement des argiles ou tassement différentiel	GON
	MDT - Mouvement de pente de matériaux meubles (MPM)	Glissement profond	GSP
		Glissement superficiel	GSS
		Ravinement, reptation (érosion)	RAV
		Érosion côtière	ERC
		Coulée	COU
	MDT - Mouvement de pente rocheuse (MPR)	Eboulement	EBO
		Chute de pierres ou de blocs	CHT
		Progression d'un front de dune côtière vers l'intérieur des terres ou risque littoral	MFC
	MDT - Aléa gravitaire (GRV)	Avalanche	AVA
Sismicité naturelle ou tremblement de terre (SIS)	Séisme	SIS	
Eruption volcanique (ERP)	Eruption volcanique	ERP	
Feu de forêt (FEU)	Feu de forêt	FEU	
Aléas liés aux facteurs climatiques (CLI)	Sécheresse (TAS)	Tassement, consolidation	TAS
	Perturbations hydrogéologiques ou Inondations (INO)	La montée lente des eaux en région de plaine ou de nappe affleurante	INO
		La formation rapide de crues torrentielles consécutives à des averses violentes	
		Le ruissellement urbain et agricole	
		La submersion marine	
	Aléas liés à l'atmosphère (ATM)	Forte précipitation	PRE
		Cyclone	CYC
		Ouragan	OUR
		Tempête	TEM
		Feu de forêt	FEU
Grain		GRN	
Foudre		FDR	
Grêle		GRL	
Neige		NEI	
Pluie verglaçante	PLV		
	Trombe	TRB	

Aléas globaux	Aléas technologiques (17)	Sites-types	Codes
Aléas à effet thermique (THR)	Explosions de gaz	<i>Site comportant des liquides ou gaz inflammables</i>	EXP
	Feu de nappe (liquide)	<i>Dépôt d'hydrocarbures liquides</i>	FEN
	Feu de torche (gaz ou liquide)	<i>Raffinerie, dépôt de gaz de pétrole liquéfié</i>	FET
	Feu de solides (produits solides combustibles)	<i>Entrepôt, sites industriels</i>	FES
	Le boil over (hydrocarbure lourds)	<i>Dépôt d'hydrocarbures lourds</i>	BLO
	Le BLEVE (gaz liquéfiés inflammable)	<i>Dépôt et installation stockant des gaz liquéfiés inflammables</i>	BLV
Aléas à effet toxique (TOX)	Rejet de produit liquide avec vaporisation du jet liquide et évaporation de flaque	<i>Raffinerie</i>	RPL
	Rejet de produit gazeux	<i>Site de production de chimie fine</i>	RPG
	Rejet d'un gaz liquéfié	<i>Installation de réfrigération contenant de l'ammoniac NH3</i>	RGL
	Incendie avec décomposition de produits toxiques	<i>Dépôt de produits agro-pharmaceutiques, ou dépôt d'engrais à base de nitrate par exemple</i>	IPT
	Rejets de substances radioactive ou Radiation nucléaire	<i>Centrale nucléaire</i>	RSR
Aléas liés aux ouvrages (OUV)	Rejets de massif d'eau	<i>Barrages, digues et conduites forcées</i>	RME
	Mouvements de terrains liés aux activités anthropiques autres que miniers	<i>Géothermie, forages, chantiers de grands ouvrages de GC</i>	MVT
Aléas à effet de surpression (SPR)	Libération d'énergie Pneumatique(Éclatement de bac)	<i>Dépôt d'hydrocarbures liquides</i>	EBC
	Combustion de gaz, de vapeurs (UVCE)	<i>Raffinerie, dépôt de gaz de pétrole liquéfié (GPL)</i>	VCE
	Combustion de gaz (BLEVE)	<i>Dépôt et installation stockant des gaz liquéfiés inflammables</i>	BLV
	Décomposition de substances/matières explosives (Explosion de nitrate d'ammonium, explosifs civils, matériaux énergétiques, inflammation d'un nuage de gaz de type flash-fire)	<i>Usine de fabrication d'engrais</i>	ENA

Aléas miniers globaux (4)	Aléas miniers principaux (8)	Aléas miniers (19)	Codes
Mouvement de terrain (MVT)	<i>Affaissements (AFF)</i>	Affaissement progressif	SUB
		Affaissement cassant	AFC
		Crevasse	CRE
	<i>Effondrements (EFF)</i>	Effondrement localisé	FON
		Effondrement généralisé	EFG
	<i>Mouvement de pente de matériaux meubles (MPM)</i>	Tassements liés aux travaux miniers ou aux terrils	TAS
		Glissement profond	GSP
		Glissement superficiel	GSS
		Ravinement, Reptation ou érosion	RAV
		Coulée	COU
	<i>Mouvement de pente rocheuse (MPR)</i>	Eboulement de terrain	EBO
		Chute de pierre ou de blocs	CHT
	<i>Sismicité induite (SIS)</i>	Sismicité induite en lien avec l'ancienne exploitation minière (Présence d'une faille, variation du niveau d'eau)	SIS
Echauffement - combustion	<i>(COM)</i>	Echauffement des veines ou des terrils	COM
Emanation de gaz de mine	<i>(GAZ)</i>	Gaz de mine	GAZ
Perturbations hydrogéologiques ou Inondations (INO)	<i>(INO)</i>	Modification du régime des émergences des eaux souterraines	IME
		Modification du régime d'un cours d'eau	IMC
		Inondation des points bas topographiques	IPB
		Inondation brutale - ennoyage	IBE
Radioactivité endogène du milieu (RAD)	<i>(RAD)</i>	Irradiation à l'uranium	URA
		Radon	RDN



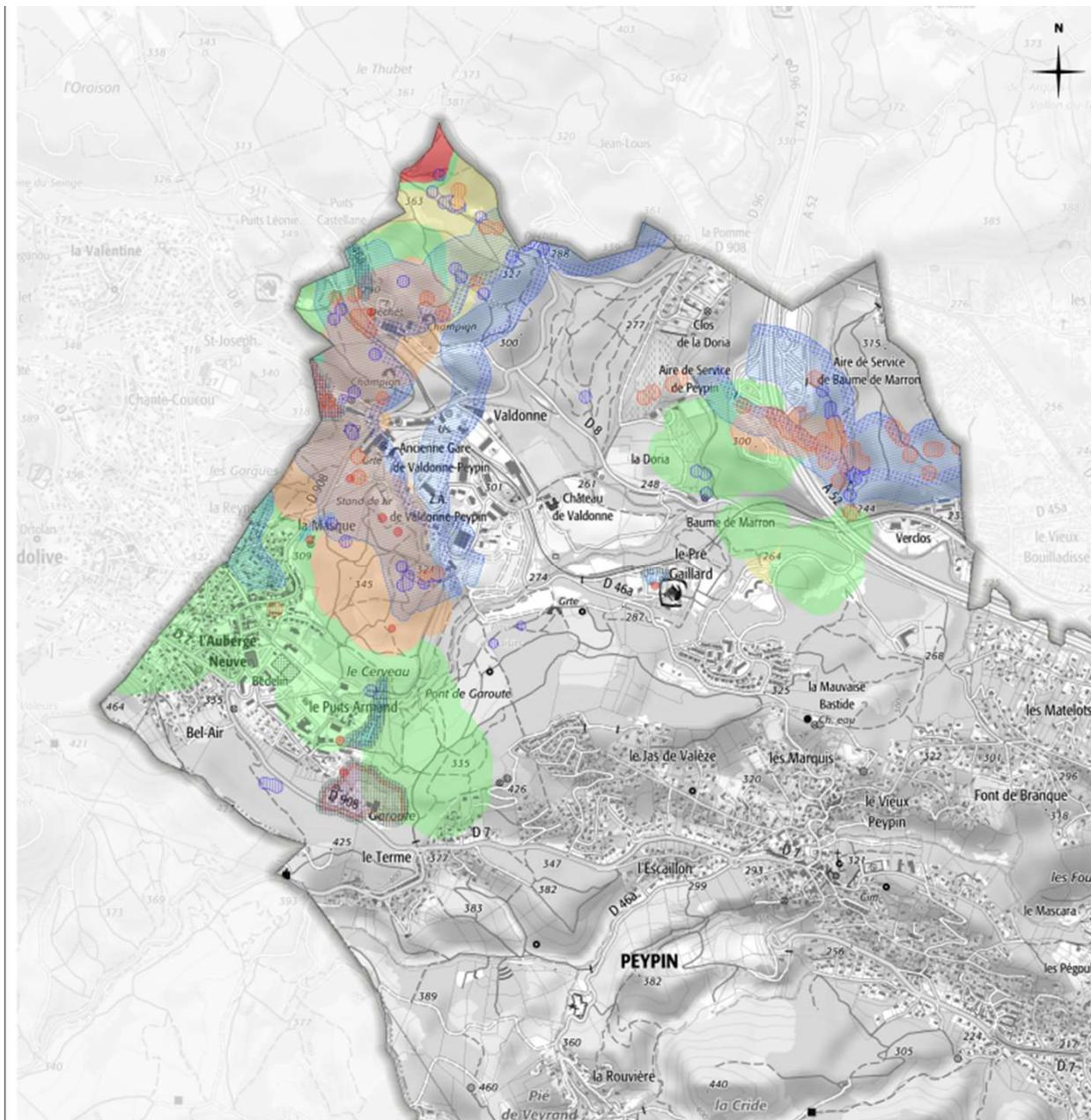
Légende

**Aléa Mouvements de terrain
lié aux carrières souterraines (pierre à ciment)**

- faible
- fort

Enjeux

- bâtis
- terrains de sport



Légende

Aléas

Aléa Affaissement

- faible intensité très limitée
- faible
- moyen
- moyen (cassant)

Aléa Effondrement localisé lié aux ouvrages débouchant au jour

- faible
- moyen

Puits traités par bouchon autoportant

- périmètres de protection

Aléa Effondrement localisé lié aux travaux souterrains

- faible

Aléa Tassement

- faible

Aléa Glissement

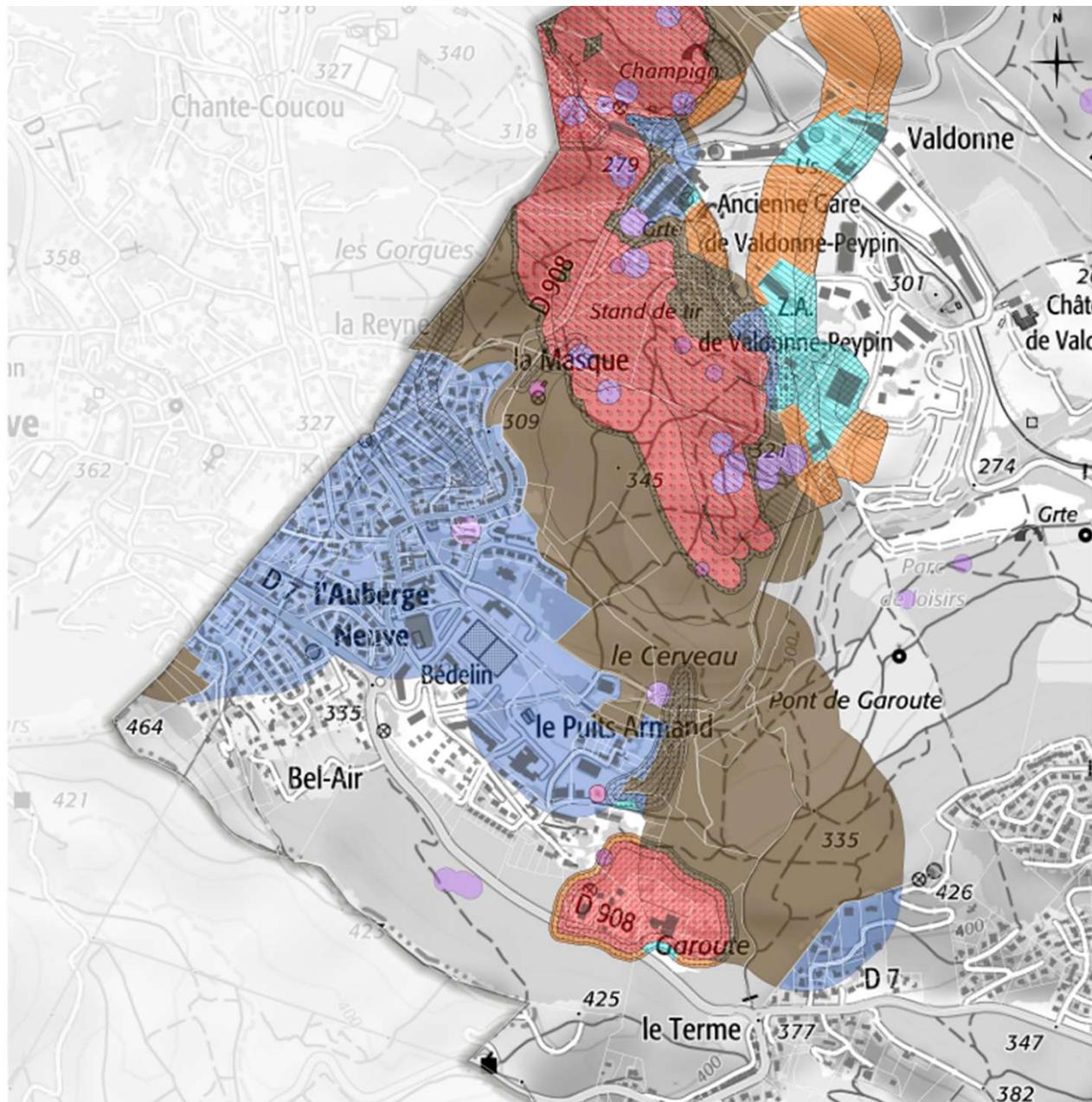
- faible

Aléa Echauffement

- faible
- moyen

Enjeux

- Bâties
- Terrains de sport



Légende des aléas

ALEAS MINIERES (lignite)

Aléa Affaissement en zone Rouge et Violet

A: moyen (cassant)
 @, a, à: souple de tout niveau

Puits traités par bouchon autoportant

P: périmètres de protection

Aléa Effondrement localisé lié aux travaux souterrains

e: faible
 t: fort

Aléa Tassement (dépôts de surface)

g: faible
 f: faible
 F: moyen

ALÉA LIÉ AUX CARRIÈRES SOUTERRAINES (pierre à ciment)

Aléa Effondrement (Pierre à ciment)

C: faible
 C: fort

ENJEUX

bâts
 terrains de sport

Remarques sur les légendes

La présence d'aléa effondrement localisé lié aux ouvrages débouchant au jour se traduisant systématiquement par une zone Vi (Violet), les symboles relatifs à cet aléa (o: faible, O: moyen) n'apparaissent donc pas sur la légende des aléas ci-contre.

Les zones d'aléa affaissement à caractère souple sont représentées par des cercles de couleur noire et celles à caractère cassant par des cercles de couleur rouge, conformément à la légende des aléas, uniquement pour les zones Rouge ou Violet.
 D'une manière générale, pour connaître le niveau d'aléa affaissement à caractère souple (@): faible intensité très limitée, a: faible, à: moyen, il faut se reporter à la carte 4-1-a des aléas miniers.

Légende du zonage

Les aléas A, a/O, P, F et C (voir légende des aléas ci-dessus pour connaître la correspondance entre cette nomenclature et les aléas) génèrent des zones inconstructibles suivant la méthodologie exposée dans le tableau ci-dessous.

Aléas miniers/carières souterraines	Enjeux	
	Zone urbanisée	Zone non urbanisée
Effondrement localisé lié aux ouvrages débouchant au jour, quel que soit le niveau d'aléa (Faible ou le Moyen O) ou/et Périmètres de protection autour des puits traités par bouchon autoportant P Et en présence éventuelle des autres aléas	V _i	V _i
Affaissement (cassant) Moyen A ou/et Effondrement Moyen F ou/et Effondrement (carières de pierre à ciment) Fort C Et en présence d'aléa Effondrement localisé lié aux ouvrages débouchant au jour Faible a, Moyen O et/ou des périmètres de protection autour des puits traités par bouchon autoportant P Et en présence éventuelle des autres aléas	R	R

Les aléas @, a, à, e, t, g, f et c (voir légende des aléas ci-dessus pour connaître la correspondance entre cette nomenclature et les aléas) engendrent des zones Bleu, Marron ou Vert suivant la méthodologie exposée dans le tableau ci-dessous.

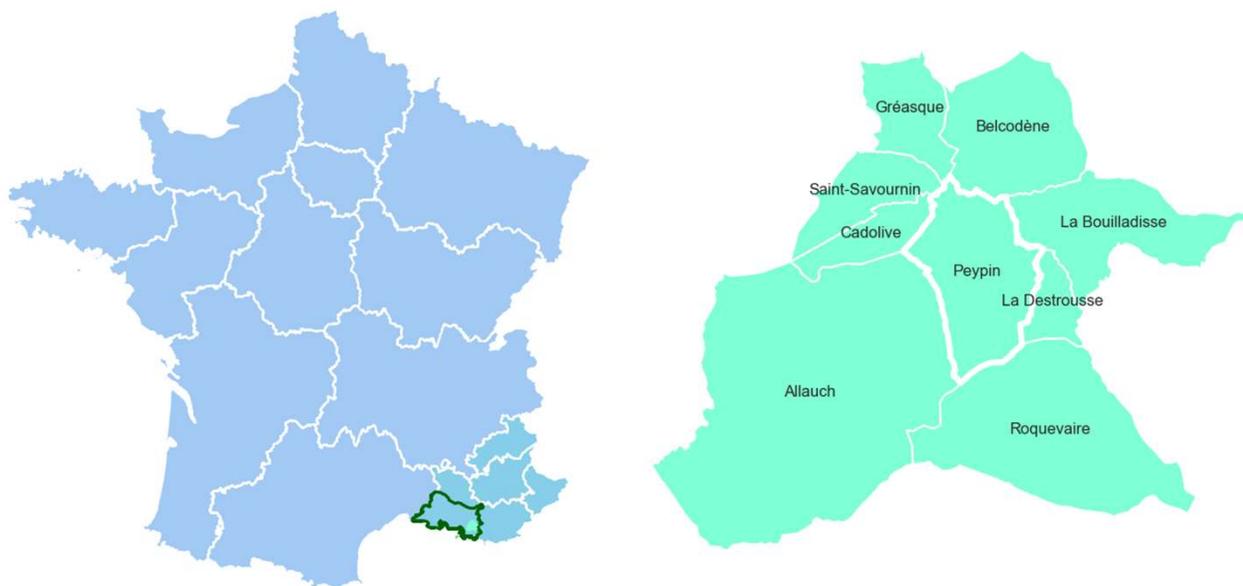
Aléas miniers/carières souterraines	Enjeux	
	Zone urbanisée	Zone non urbanisée
Affaissement (souple) Faible intensité très limitée @	V _c	V _c
Sans aléa affaissement mais en présence d'aléa(s) e, t, g, f ou c	B1	M1
Affaissement (souple) Faible intensité très limitée @ en présence d'aléa(s) a, f, t ou c	B2	M2

Peypin (13124)

Commune située dans le **bassin lignitifère** de Provence, entre Aix-en-Provence et Marseille, le bassin minier couvre 17 communes

présence des anciens travaux miniers - sous la commune de Peypin, la profondeur des travaux miniers est comprise entre 0 et 800 m, avec plusieurs exploitations peu profondes (0 – 140 m).

présence des carrières souterraines de pierres à ciment - développement de l'industrie de la chaux hydraulique et du ciment dans la région de Peypin, Belcodène et La Bouilladisse.



Peypin - aléa minier	code	niveau
effondrement localisé	FON	faible
affaissement	SUB	faible à moyen
glissement	GSS	faible
tassement	TAS	faible
échauffement de terrils	COM	faible à moyen
inondation modification des émergences	IME	faible
inondation brutale	IBE	faible à fort
Radon	RDN	Moyen

Peypin - aléa naturel	code	niveau
effondrement localisé	FON	faible à fort
affaissement	AFF	faible à fort
chutes de blocs	CHT	faible à fort
éboulement	EBO	faible à fort
glissement de terrain	GSS	faible à fort
retrait et gonflement des argiles	GON	moyen à fort
sismique	SIS	faible
feu de forêt	FEU	très fort
inondation	INO	fort

Peypin - Sites industriels	aléa technologique	code
Site comportant des liquides ou gaz inflammables	Explosion de gaz	EXP
Installation de stockage de déchets inertes	Mouvements de terrain liés aux activités anthropiques	MVT
Site de production de chimie fine	Rejet produits dangereux	RPG
Entrepôts, sites industriels	Feu de solides (produits solides combustibles)	FES

Risques naturels identifiés (géo) : 6
 Inon (**fort**), séisme (**mod**), Cavité (**fort**), R-G (**fort**), Feu de forêt (**Fort**), Radon (**moy**).

Evaluation des aléas miniers

Prédisposition de l'aléa

Très peu sensible	
Peu sensible	
Sensible	
Très sensible	

Intensité de l'aléa

Très limitée	
Limitée	
Modérée	
Elevée	

Niveau de l'aléa

Faible	
Moyen	
Fort	

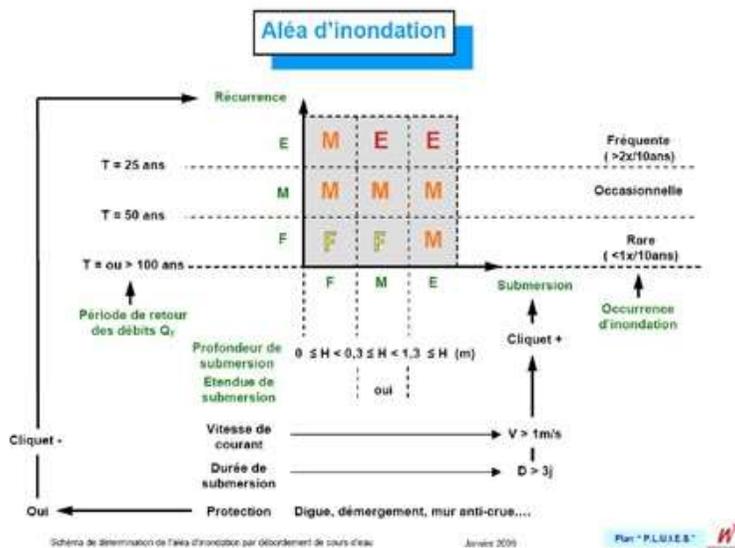
	Prédisposition			
Intensité	Très peu sensible	Peu sensible	Sensible	Très sensible
Limitée	Faible	Faible	Faible	Moyen
Modérée	Faible	Faible	Moyen	Fort
Elevée	Faible	Moyen	Fort	Fort

Evaluation des aléas naturels

Mouvement de terrain

Faible	
Moyen	
Fort	

Inondation



Éruption volcanique

		Intensité				
		10	11	12	13	14
		5	10	50	80	100
Fréquence	F0	0.01				
	F1	0.1				
	F2	0.5				
	F3	1				
	F4	5				

Consultation des plans de prévention des risques :

Martinique : <http://www.martinique.equipement.gouv.fr/risques/>

Guadeloupe : <http://www.guadeloupe.pref.gouv.fr>

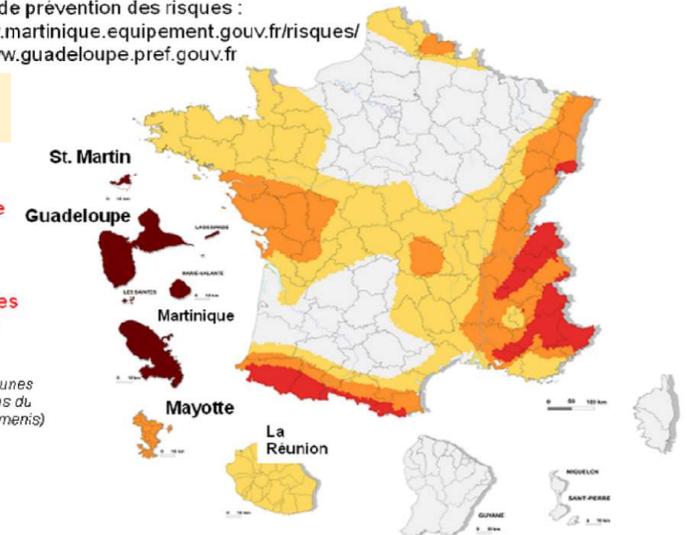
Séisme

60%* du territoire relève désormais des règles parasismiques
26% du territoire national relève des règles parasismiques pour les maisons individuelles

*% relatif au nombre de communes concernées (et non aux surfaces du territoire, ni au nombre de bâtiments)

Zones de sismicité

- 1 (très faible)
- 2 (faible)
- 3 (modérée)
- 4 (moyenne)
- 5 (forte)



Feu de forêt

		Occurrence			
		Très faible	Faible	Moyenne	Forte
Intensité	Très faible				
	Faible	Très faible	Très faible	Faible	Faible
	Moyenne	Très faible	Faible	Moyen	Moyen
	Elevée	Faible	Moyen	Elevé	Elevé
	Très élevée	Moyen	Elevé	Très élevé	Très élevé

Evaluation des aléas technologiques

Intensité de l'aléa

Indirect	
Significatif	
Grave	
Très grave	

Occurrence de l'aléa

>D	
5E à D	
<5E	
Tous	

Niveau de l'aléa

Faible	
Moyen	
Moyen +	
Fort	
Fort +	
Très Fort	
Très Fort +	

Intensité de l'effet	Très Grave		
Probabilité d'occurrence	> D	5E à D	< 5E
Niveau de l'aléa	Très Fort +	Très Fort	Fort +

Intensité de l'effet	Grave		
Probabilité d'occurrence	> D	5E à D	< 5E
Niveau de l'aléa	Fort +	Fort	Moyen +

Intensité de l'effet	Significatif			Indirect
Probabilité d'occurrence	> D	5E à D	< 5E	Tous
Niveau de l'aléa	Moyen +	Moyen	Faible	Faible

Méthode d'évaluation d'un site multi aléas

- Identifier pour chaque aléa minier
 - Interaction directe
 - Interaction indirecte
- Définir la catégorie des interactions (physique ou réglementaire)
- Définir le caractère de chaque aléas (déclencheur ou aggravant)
- Identifier les facteurs/phénomènes associés
- Définir la typologie interactions des aléas
 - Aléas dépendants
 - Aléas indépendants
- Identification de la nature d'interactions
 - Immédiate / différée ; localisée ou spatiale
 - Effet dominos (analyse des facteurs et phénomènes déclencheurs pour déterminer les effets dominos/cascades)

Niveau 0 - Aléas globaux

Aléas miniers (4)	MVT	COM	GAZ	INO
Aléas naturels (2)	TER		CLI	
Aléas technologiques (3)	THR	TOX	OUV	SPR

Niveau 1 - Aléas principaux

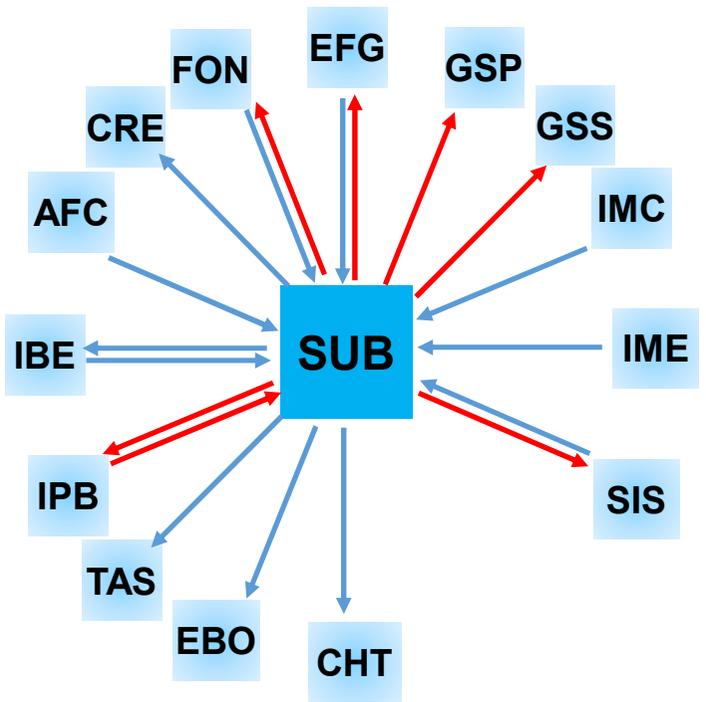
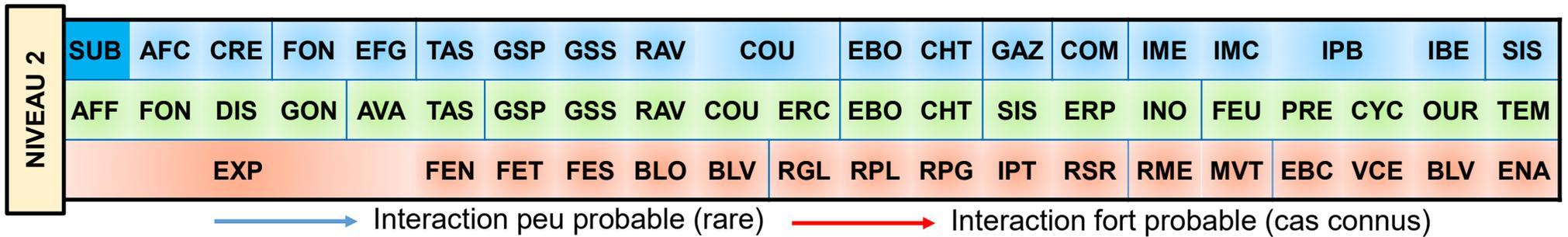
Aléas miniers (7)	AFF	EFF	MPR	MPM	GAZ	COM	INO			
Aléas naturels (10)	MVT	GRV	TAS	MPR	MPM	SIS	ERP	FEU	INO	ATM
Aléas technologiques (3)	SPR	OUV	THR	TOX						

Niveau 2 - Aléas opérationnels

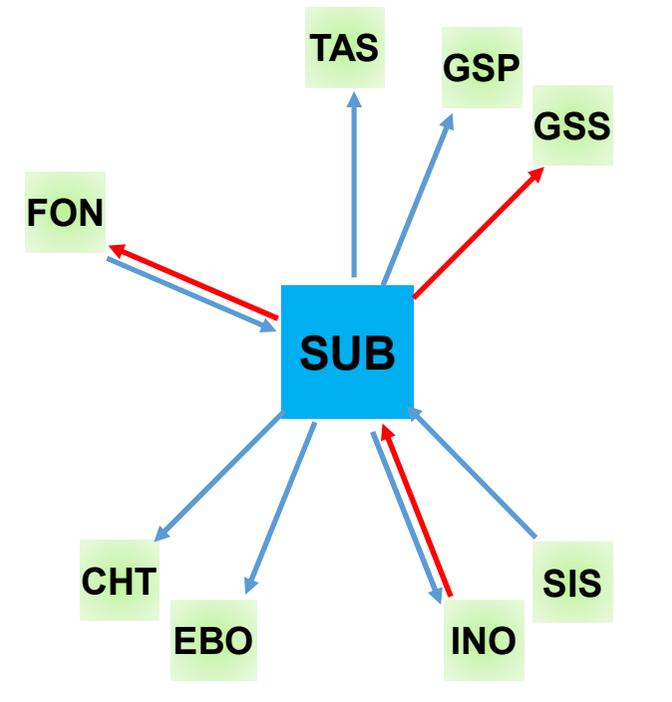
Aléas miniers (18)	SUB	AFC	CRE	FON	EFG	TAS	GSP	GSS	RAV	COU	EBO	CHT	GAZ	COM	IME	IMC	IPB	IBE	SIS		
Aléas naturels (21)	AFF	FON	DIS	GON	AVA	TAS	GSP	GSS	RAV	COU	ERC	EBO	CHT	SIS	ERP	INO	FEU	PRE	CYC	OUR	TEM
Aléas technologiques (15)	EXP				FEN	FET	FES	BLO	BLV	RGL	RPL	RPG	IPT	RSR	RME	MVT	EBC	VCE	BLV	ENA	

Les outils d'analyse des interactions entre aléas

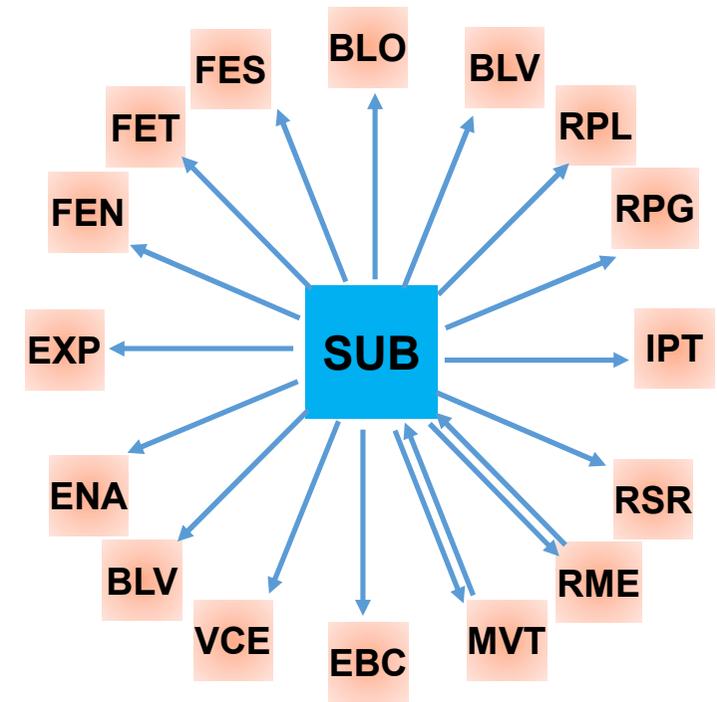
- la matrice des aléas
- les boucles d'interactions
- arbre causes – conséquences – réseau Bayesian
- les arbres de défaillance
- l'analyse multicritères
- le choix négocié
- la mise en place d'un SIG multi échelles
- la modélisation statistique de la vulnérabilité incluant une variabilité temporelle
- ...



Aléa minier et aléa minier



Aléa minier et aléa naturel



Aléa minier et aléa technologique

Conclusion

- Une Méthodologie claire et précise pour l'évaluation des interactions entre les aléas est proposée
- Cette méthodologie a été validée en interne entre experts Ineris
- Cette méthodologie a ensuite été appliquée à 3 bassins miniers Français
- Cette méthodologie est prête pour discussion avec les autres opérateurs de l'État dans domaine post-mines (Geoderis, DDTM, Cerema et BRGM)

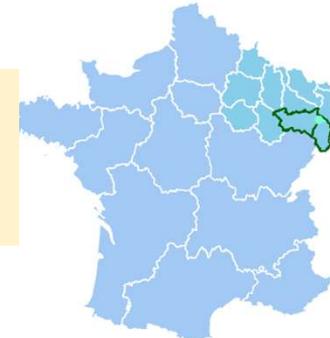
Perspectives

- Poursuivre le test de la méthodologie sur d'autres bassins miniers (bassins ferrifères par exemple)
- Evaluer l'intensité des interactions entre les aléas via le projet Européen
- Développer outil d'affichage et de cartographie du multi-aléas sous forme de GIS facilement exploitable par les parties prenantes (Ineris, Dreal, GEODERIS, Cerema etc...).
- Elaborer des recommandations constructives qui ne sont pas contradictoires qui répondent aux difficultés de gestion

Bassin lignitifère
Commune de
Peypin (13124)



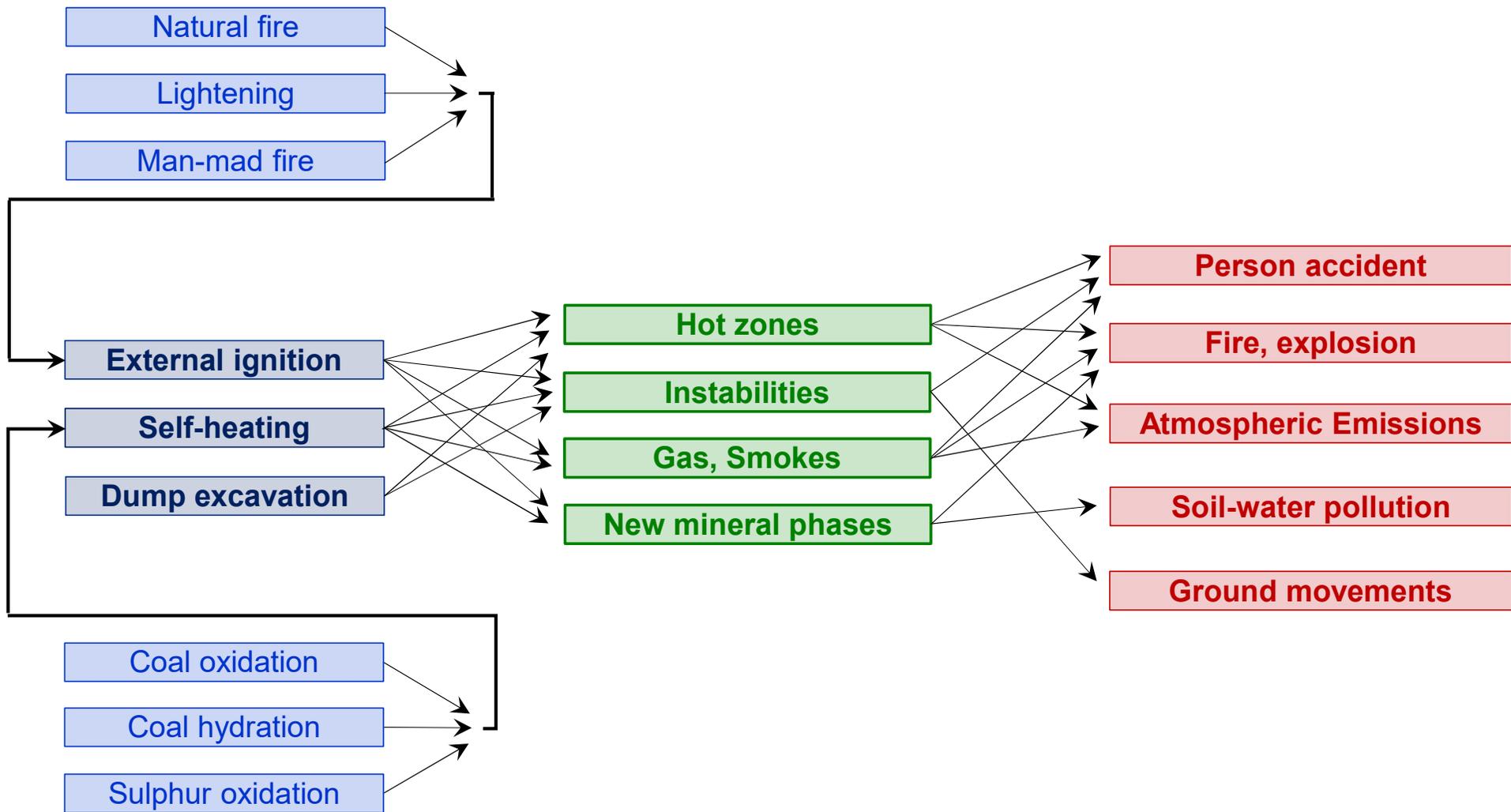
Bassin minier polymétallique
Commune de
Sainte-Marie-aux-Mines
(68298)



Bassin potassique
au nord-ouest
de Mulhouse (68)



Hazard resource (cause) → **TARGET HAZARD** → **Consequences (hazard and risk)**



Multi-hazard assessment methodology

1- identification of the interactions

1-a mine-mine interaction

1-b mine-natural interaction

1-c mine-technology interaction

2- Calculated the number of interactions

3- Adjusted the initial hazard intensity

4- Calculated the multi-hazard index

5- Mapping the multi-hazard