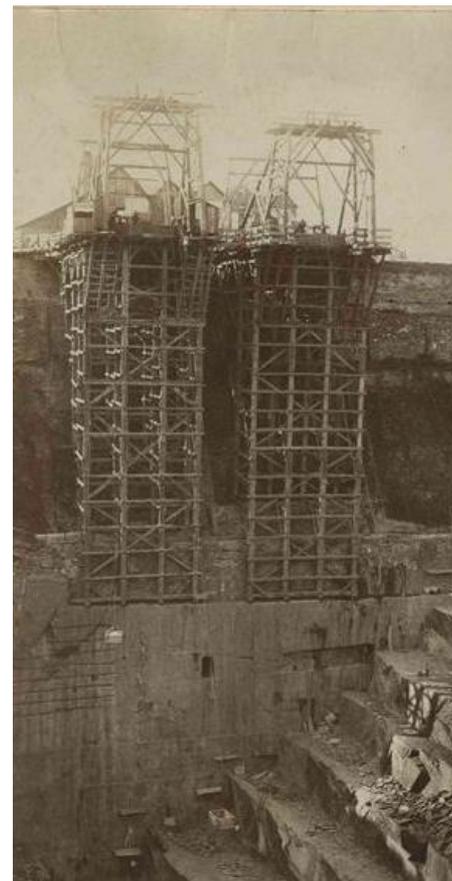


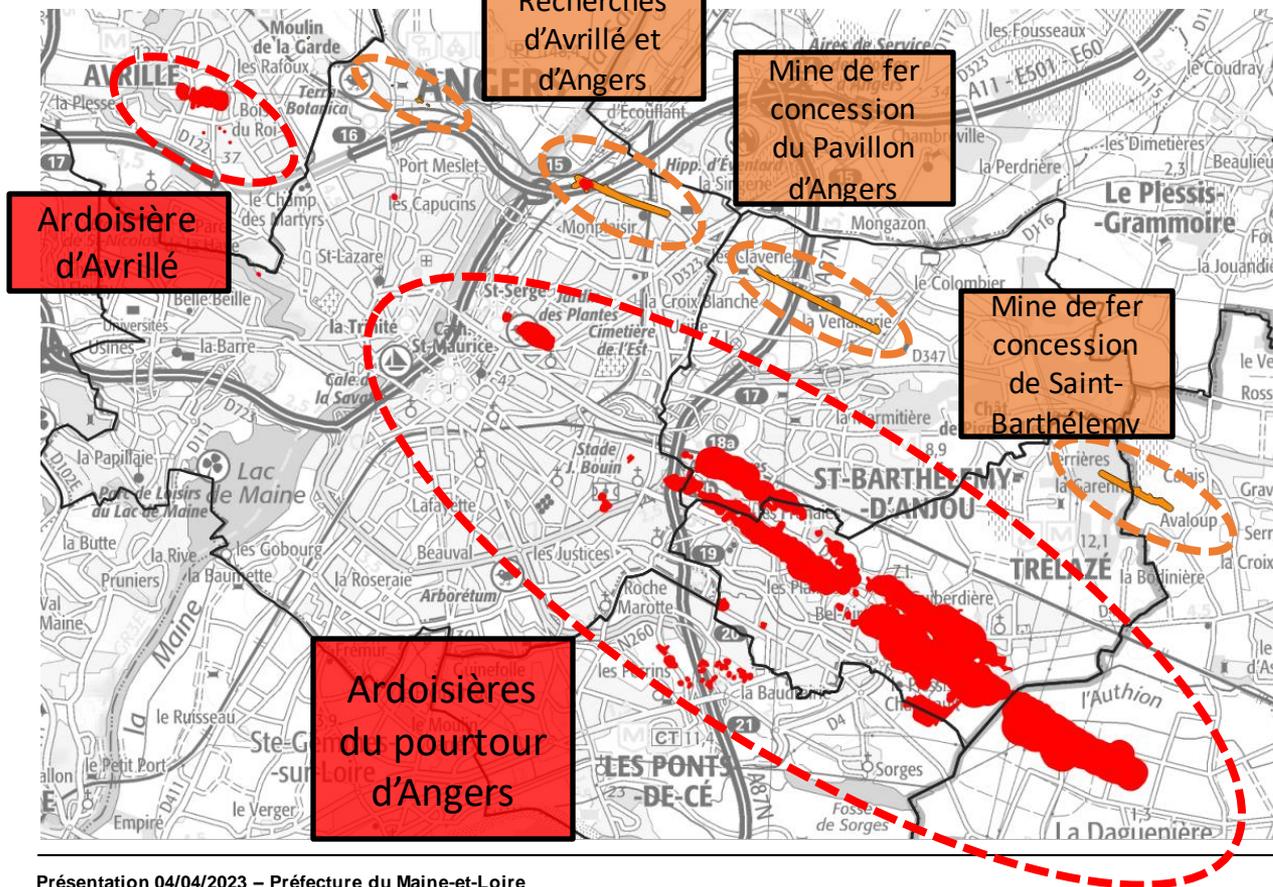
Evaluation et cartographie des aléas mouvement de terrain sur les carrières d'ardoise, et sur le Bassin Ferrifère du pourtour d'Angers (49)

Jean Salomero (BRGM) : sujet carrière d'ardoise
Thierry Delaunay (GEODERIS) : sujet minier

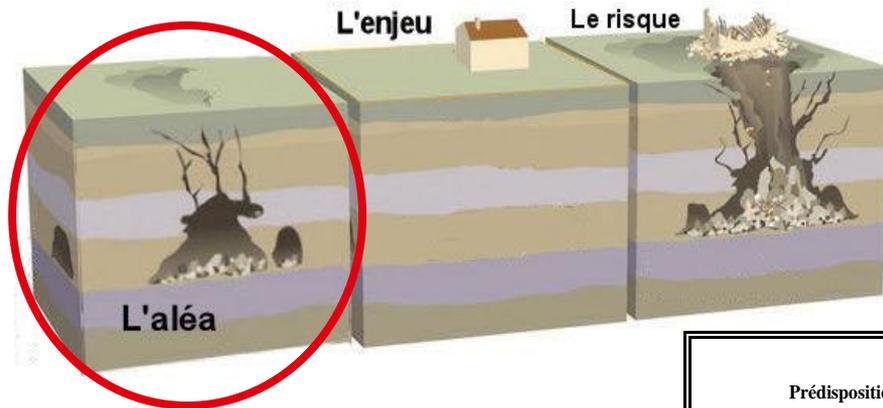


1. Introduction

Périmètre des études



Commune	Carrière	Mine
Angers	X	X
Avrillé	X	X
Loire-Authion	X	X
Les Ponts-de-Cé	X	
Saint-Barthélemy-d'Anjou	X	X
Trélazé	X	X
	Carrière	Mine
Surface (ha)	440	33



$$\text{ALEA} = \text{INTENSITE} \times \text{PROBABILITE}$$

Prédisposition	Très peu sensible	Peu sensible	Sensible	Très sensible
Intensité				
Très limitée				
Limitée				
Modérée				
Elevée				

l'intensité d'un phénomène

hiérarchisée selon l'importance des dégâts prévisibles : le volume mobilisable, la vitesse d'apparition sont entre autres des critères permettant de qualifier l'intensité

sa probabilité d'occurrence, ou sa prédisposition

prédisposition d'un site à en être affecté (présence d'évènements passés et comparaison à d'autres configurations ou bassins de risque similaires)

L'étude et **la carte des aléas** localisent et **hiérarchisent les zones exposées** à des phénomènes potentiels redoutés. Les aléas sont classés selon plusieurs niveaux, en tenant compte de la nature des phénomènes, de la prédisposition à leur occurrence et de leur intensité.

L'étude d'aléas n'intègre pas la nature de l'occupation de la surface. Elle transcrit, de manière objective, le potentiel de dangers ou de nuisances que l'ancienne exploitation ardoisière ou minière est susceptible d'engendrer, à terme, dans le secteur d'étude.

L'étude est réalisée à partir de la synthèse documentaire des données disponibles et des informations recueillies sur le terrain. Elle se base sur divers guides méthodologiques en vigueur, qui pour les carrières et les mines sont similaires et plus récemment identiques.

- **Phase informative : consultation des archives, visites sur le terrain**

- Objectif : reconstituer l'histoire de l'exploitation, savoir comment elle a été menée, quels sont les vides résiduels, les ouvrages débouchant au jour, les dépôts, les désordres, etc.

- **Phase d'évaluation des aléas**

- Objectif : évaluer et cartographier les phénomènes attendus en fonction de l'analyse des configurations identifiées

Carrières d'ardoise : BRGM

Période	Type Etude	Référence rapport BRGM
2012	Inventaire des ouvrages et cartographie informative	RP-61102-FR
2013	Appui au PAC des ouvrages, et identification des secteurs où l'évaluation des aléas MVT sur les ardoisières est justifiée	RP-62687-FR
2015	Avis sur les études géotechniques du dossier de cessation d'activité des Ardoisières d'Angers	RP-65147-FR
2016	Mise en place d'une méthodologie de cartographie des aléas mouvement de terrain	RP-65660-FR
2020	Cartographie des aléas Mouvement de Terrain	RP-69108-FR
2023	Actualisation de la cartographie des aléas pour le PPRN mouvement de terrain des Ardoisières du pourtour d'Angers	RP-72620-FR

Mines de fer : GEODERIS

Période	Type Etude	Référence rapport GEODERIS
2009	Phase informative et étude des aléas mouvements de terrain concessions Pavillon d'Angers et Saint-Barthélemy	W2009/29DE
2010	Mise à jour aléas suite à étude géotechnique du gestionnaire de l'A11	W2010/011DE
2014	Phase informative et étude des aléas mouvements de terrain sur les travaux hors périmètre de titres de l'Anjou	W2014/008DE
2015	Etude des risques (bâties) et mise à jour des aléas	W2015/007DE

2. Phase informative

Carrières d'ardoise : BRGM

Sources	Analyse	Incertitude positionnement
Archives : DREAL, Départementales, Nationales, Communales, BRGM, IGN, associations, musées, etc.	Plein essors à partir du XVIII ^e siècle jusqu'à 2014	Variable selon les types d'ouvrages et leur ancienneté Environ 15m à 20m
Terrain : Levés GPS des vestiges visibles (puits, galeries, tranchées, désordres)	Repérage sur le site des anciennes carrières. Nombreux vestiges du site toujours visibles	

Mines de fer : GEODERIS

Sources	Analyse	Incertitude positionnement
Archives : DREAL, Départementales, Nationales, Communales, BRGM, IGN, associations, musées, etc.	Exploitation entre 1910 et 1914 : plans miniers bonne qualité	15 à 20 m
Terrain : Levés GPS des vestiges visibles (puits, galeries, tranchées, désordres)	Pas de vestiges visibles en zone urbaine : repérage difficile	
Terrain : Reconnaissances par forages des travaux superficiels sur zones à risques bâties	Levés laser / vidéoscopie des vides rencontrés	Réduction à 1 m sur secteurs investigués

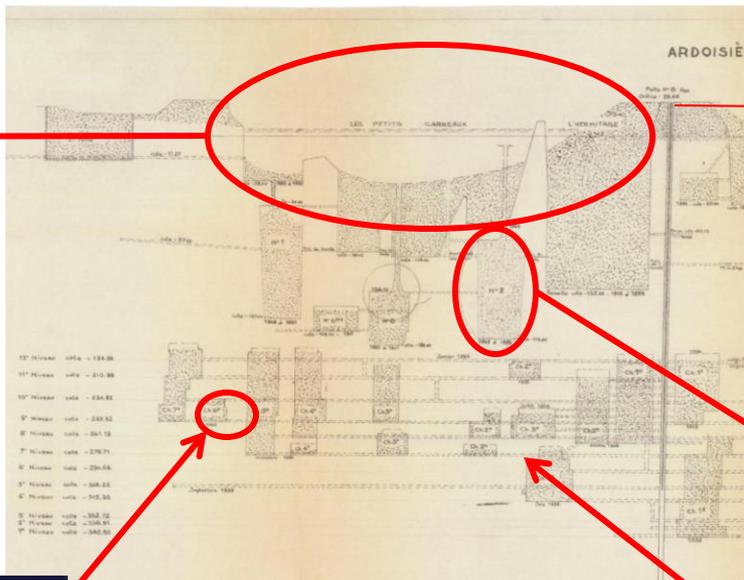
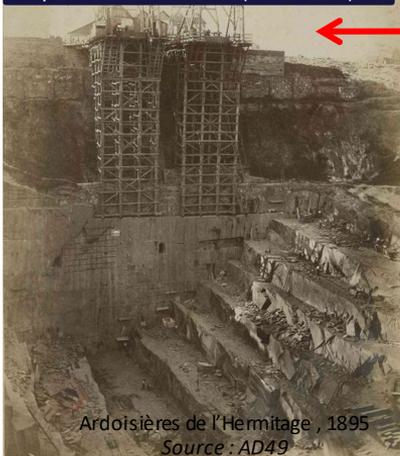
Mine et carrière : mêmes types d'exploitation liés à la géologie très redressée des gisements ferrifère et ardoisier.
Vestiges d'exploitation globalement similaires (quand ils existent). Seuls dimensions et états diffèrent.

Vestiges d'exploitation	Carrière		
	Section	Profondeur	Etat
Puits	2 m x 2,5 m (très variable)	Jusqu'à plus de 300m	Dalle et Remblayage partiel ou total
Galeries	3m * 4m maximum	Jusqu'à plus de 500m	Vide ou partiellement remblayé
Chambres	Largeur jusqu'à 40m Longueur 80m Hauteur : 200m max (moyenne 73m)	Jusqu'à plus de 500m	Remblayées, ou partiellement, sauf en tête, ou non remblayée (méthode descendante)
Ciel ouvert	Max : 500m * 270m	Jusqu'à 160m de profondeur	Ouvertes ou remblayées

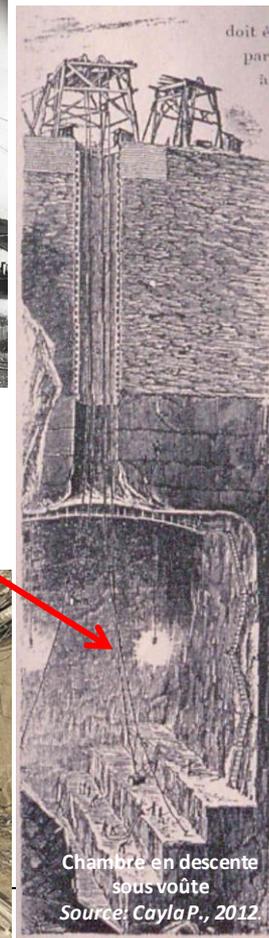
Mine		
Section	Profondeur	Etat
2 m x 2,5 m	Entre 15 et 70 m	Dalle (1 cas) et Remblayage partiel ou total
2 m x 2 m	Entre 0 et 70 m	Vide
Largeur : 2 à 3 m Longueur : 25 à 150 m Hauteur (relevée) : 25 à 30 m	2 niveaux : 45 et 70 m	Remblayées sauf en tête
Tranchées ou petites excavations 5 m x 25 à 40 m	≤ 5 m	Ouvertes ou remblayées

155 « Anciens fonds »

Ancienne carrière ciel ouvert,
aujourd'hui remblayée pour certains
par déchets ardoisiers (ancien fond)



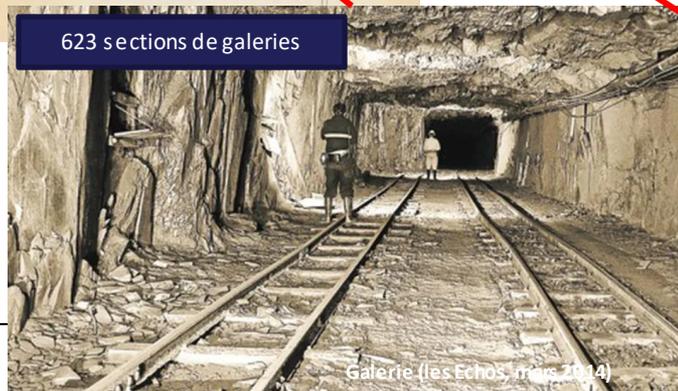
Chevalement
du Puits n°8
Trélazé
source : ACVFTI



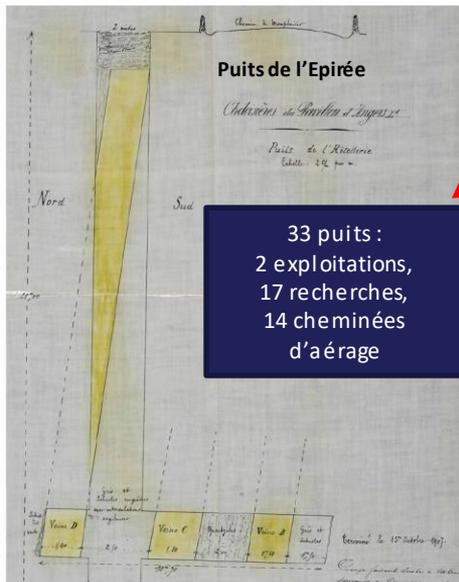
Plus de 446 chambres
(1133 niveaux)



623 sections de galeries



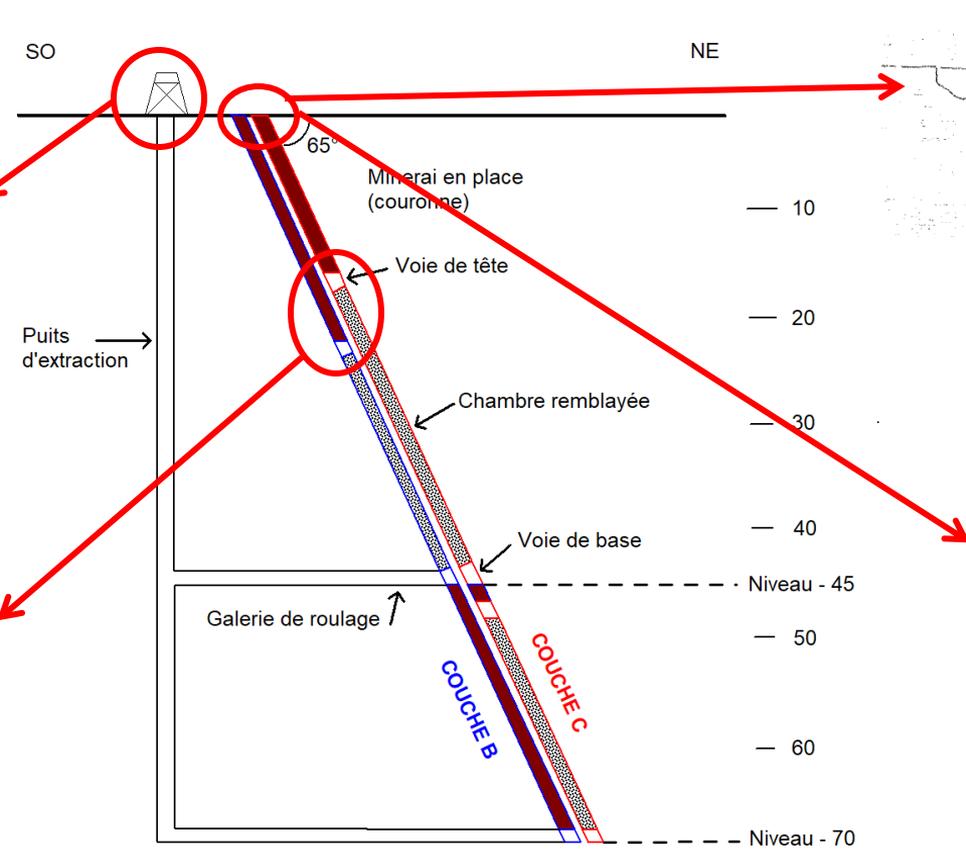
Typologie des ouvrages des mines de fer



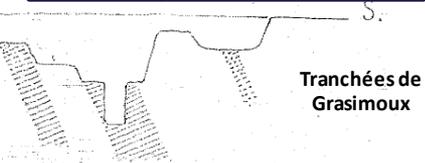
33 puits :
2 exploitations,
17 recherches,
14 cheminées
d'aérage



~ 35 chambres



Terrain plat : 2 Mines à ciel ouvert et 4 tranchées



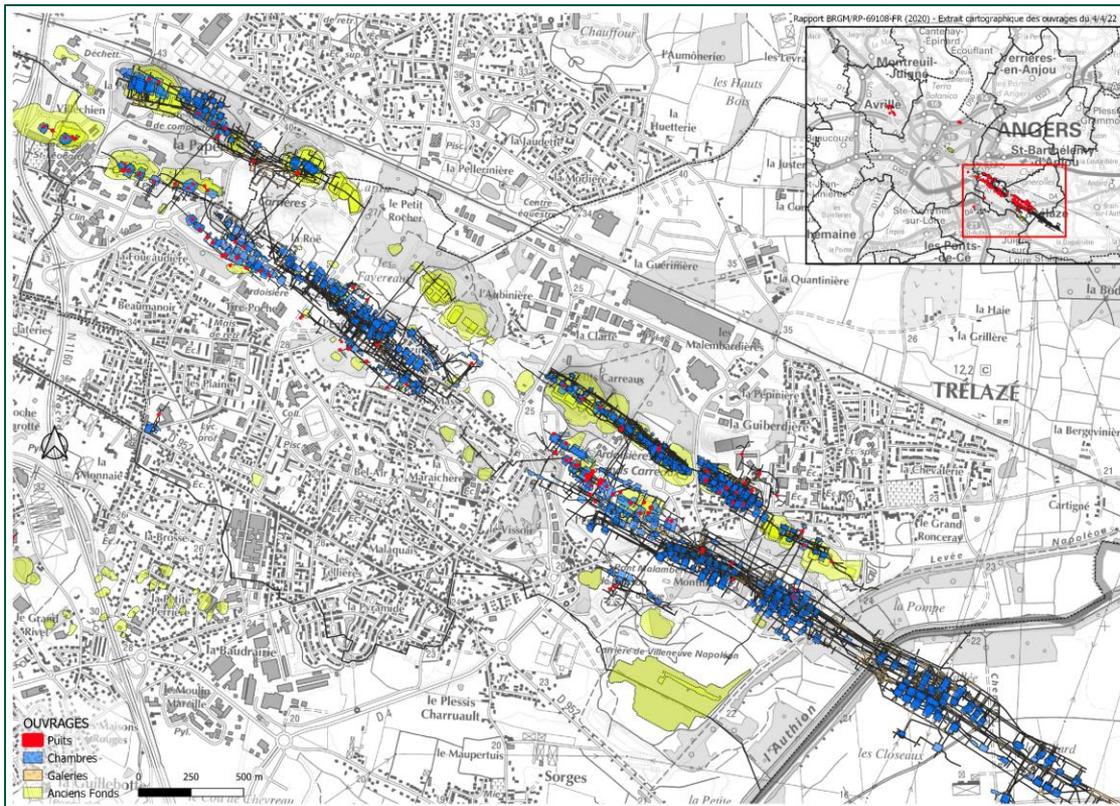
Terrain vallonné : 4 galeries accès ou recherche



Carrières d'ardoise: BRGM

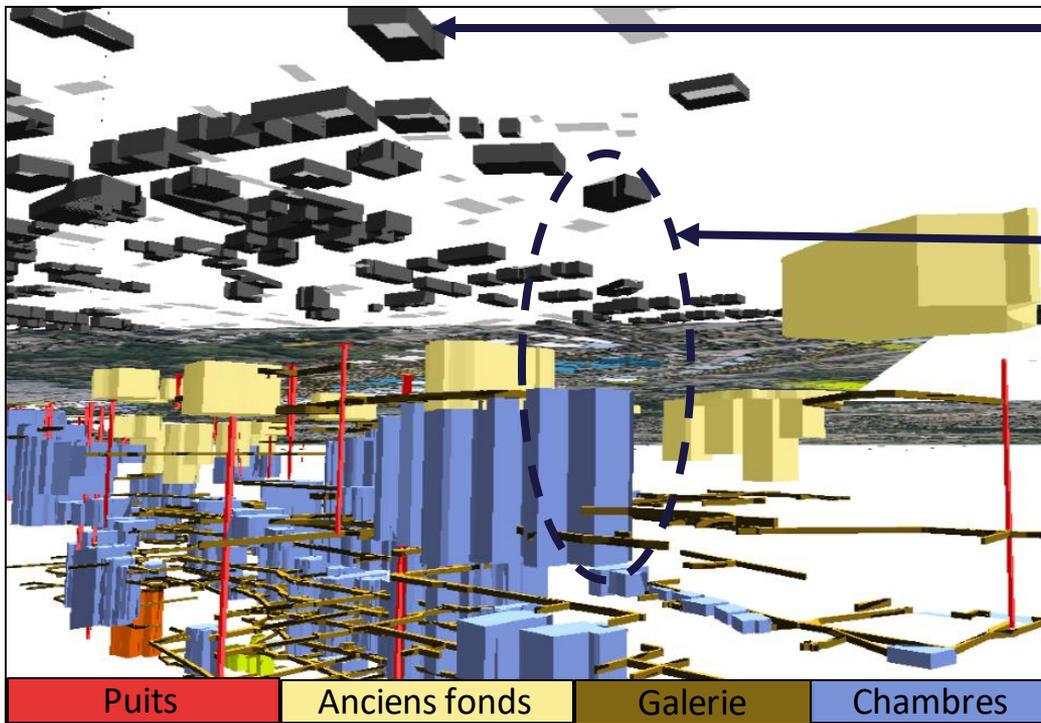
Complexité de
l'enchevêtrement des
différentes typologies
d'ouvrages.

Des ouvrages
regroupés dans des
secteurs particuliers
avec une forte densité.



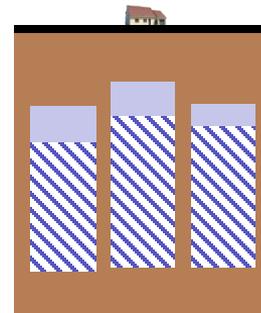
Carrières d'ardoise: BRGM

Visualisation 3D des ouvrages ardoisiers et des aménagements urbains



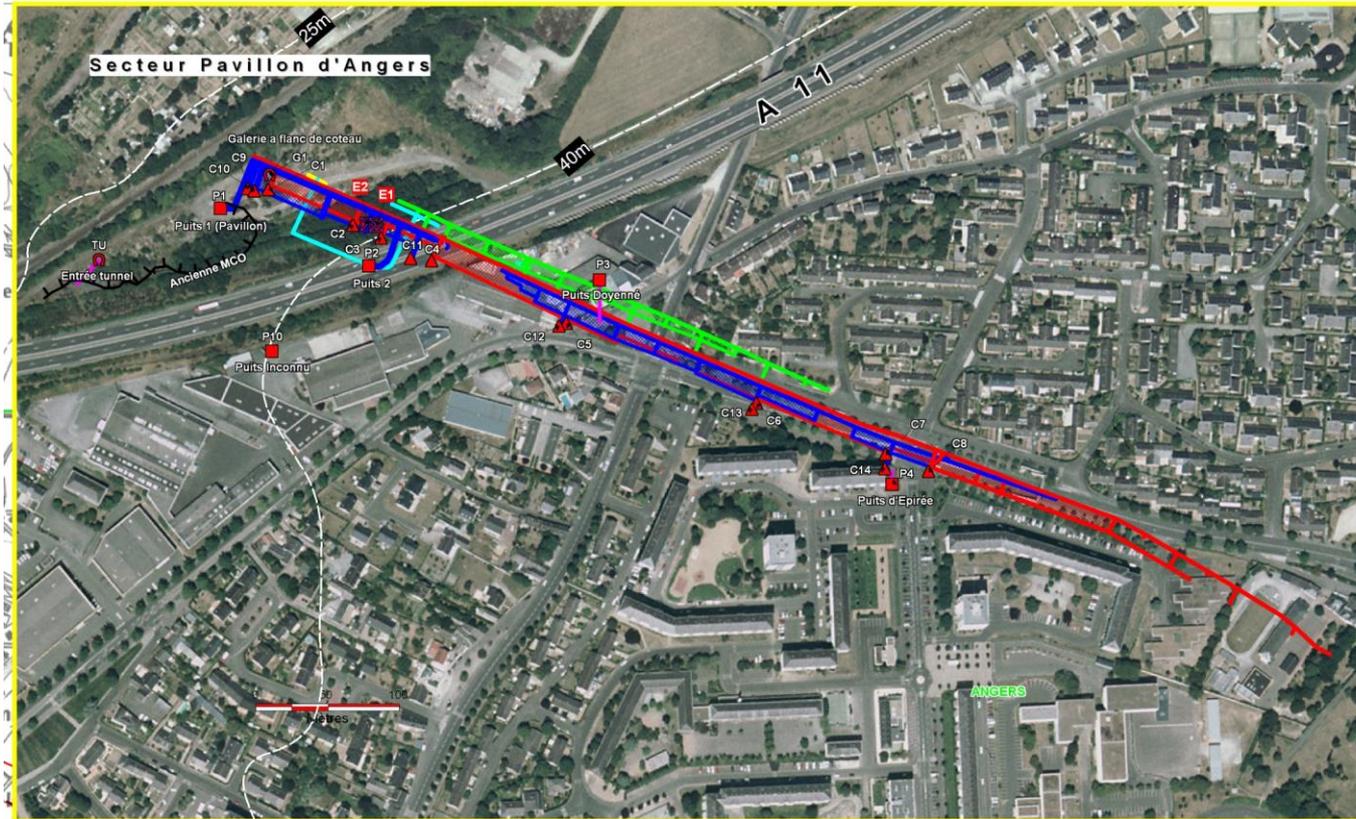
Bâtiments en surface

**Illustration d'une chambre
d'extraction de 80m de hauteur,
comblée à 90%, située à
seulement 30m de profondeur en
dessous d'une zone urbanisée**



**Vue en coupe schématique
Des chambres d'exploitation souterraine**

Mine : Geoderis

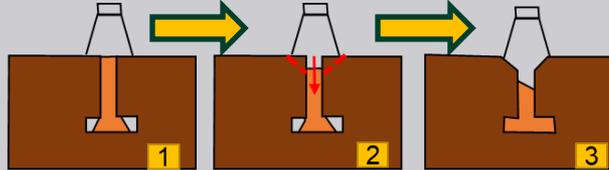


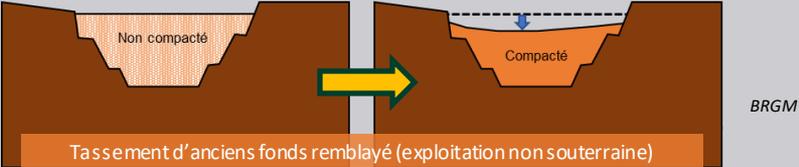
Extrait cartographique des ouvrages miniers à Pavillon d'Angers

3. Phase d'évaluation des aléas

Phénomènes de mouvements de terrain retenus pour évaluation

Phénomène	Carrière	Mine
Effondrement généralisé		
Affaissement progressif		
Effondrement localisé	X	X
Tassement	X	X
Mouvements de pente matériaux rocheux		
Mouvements de pente matériaux meubles		

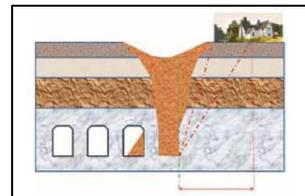
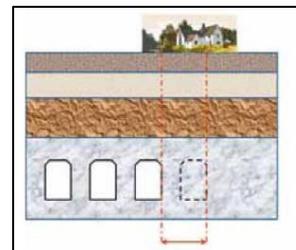
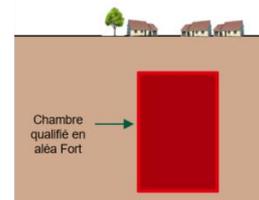
Évènement	Effondrement localisé		
Ouvrage	Chambres	Galerie	Puits
Phénomène redouté	« Remontée de fontis » : Effondrement de chambre jusqu'à la surface		« Débourage de puits » : Effondrement de puits
Schémas			
Dynamique	<p>Mécanisme de rupture progressif mais phénomène en surface <u>très rapide</u> (quelques secondes). Il peut se produire <u>sans signe précurseur</u>. Dangerosité immédiate. Désordres difficilement réversibles.</p>		
Illustration	 <p>Guide PPR 2014</p>		 <p>DPSM - 2019</p>

Évènement	Tassement
Ouvrage	Ancienne carrière ou mine ciel ouvert, aujourd'hui remblayée (ancien fond)
Phénomène redouté	Tassement des sols suite à un changement de contrainte
Schémas	
Dynamique	Phénomène <u>potentiellement lent</u> , peut se déclencher avec un changement des conditions de contraintes en surface (nouveaux aménagements qui ajoutent du poids), potentiellement de faible amplitude et d'extension variable. Le sol s'enfonce de plusieurs dizaines de centimètres. Fort impact sur les structures situées sur la zone (fissures).
Illustration	

Méthodologie pour la qualification et la cartographie de l'aléa Mouvement de terrain

La cartographie de l'aléa est en zonage en surface associé à des ouvrages souterrains. Il est qualifié et cartographié en prenant en compte plusieurs paramètres :

- **Un degré d'aléa** est associé à chaque ouvrage (fort, moyen, faible) en fonction de critères propres aux caractéristiques de l'ouvrage (profondeur, dimension, type de remblaiement)
- La zone d'aléa intègre **l'incertitude sur le positionnement** de l'ouvrage et l'influence d'un évènement sur les ouvrages voisins
- Le désordre n'affecte pas exclusivement la zone située au droit de l'excavation (chambre, galerie, puits) : la zone d'aléa d'un ouvrage s'étend sur **une zone d'influence** latérale autour l'ouvrage (pour l'effondrement localisé)



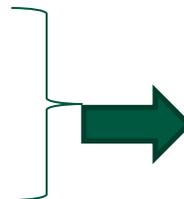
Méthodologie pour la qualification et la cartographie de l'aléa Mouvement de terrain

- Un **degré d'aléa** est associé à chaque ouvrage (aléa fort, moyen, faible ou très faible) en fonction de critères propres aux caractéristiques de l'ouvrage
- profondeur (plus il est profond, plus l'aléa est faible),
 - dimension,
 - type de remblaiement,
 - mode d'exploitation,
 - Imbrication des différents ouvrages entre eux.
- 
- Degré d'aléa : Fort Moyen Faible Très faible

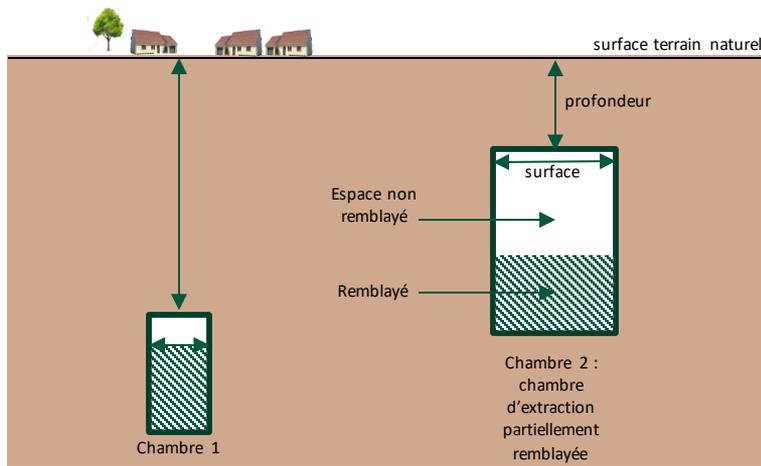
Méthodologie pour la qualification et la cartographie de l'aléa Mouvement de terrain

➤ Un **degré d'aléa** est associé à chaque ouvrage (aléa fort, moyen, faible ou très faible) en fonction de critères propres aux caractéristiques de l'ouvrage

- profondeur (plus il est profond, plus l'aléa est faible),
- dimension,
- type de remblaiement,
- mode d'exploitation,
- Imbrication des différents ouvrages entre eux.



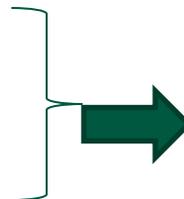
Exemple
illustration
en coupe
pour des
chambres



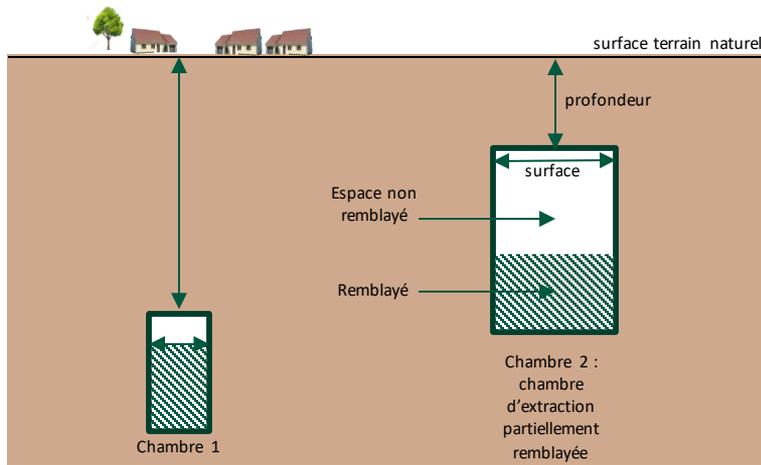
Méthodologie pour la qualification et la cartographie de l'aléa Mouvement de terrain

➤ Un **degré d'aléa** est associé à chaque ouvrage (aléa fort, moyen, faible ou très faible) en fonction de critères propres aux caractéristiques de l'ouvrage

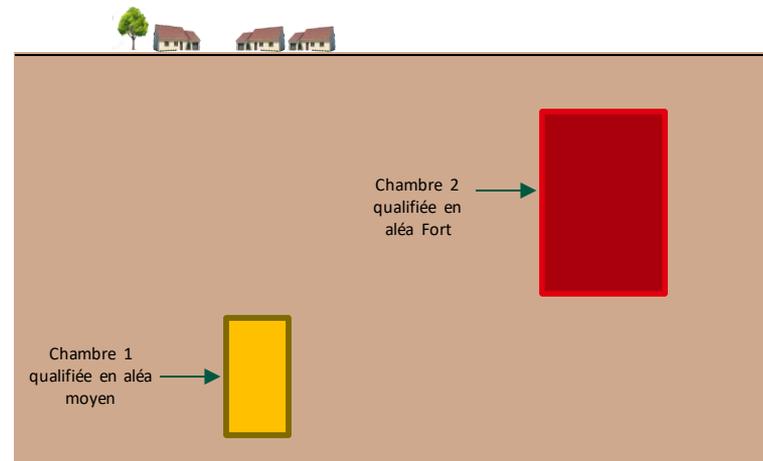
- profondeur (plus il est profond, plus l'aléa est faible),
- dimension,
- type de remblaiement,
- mode d'exploitation,
- Imbrication des différents ouvrages entre eux.



Exemple
illustration
en coupe
pour des
chambres



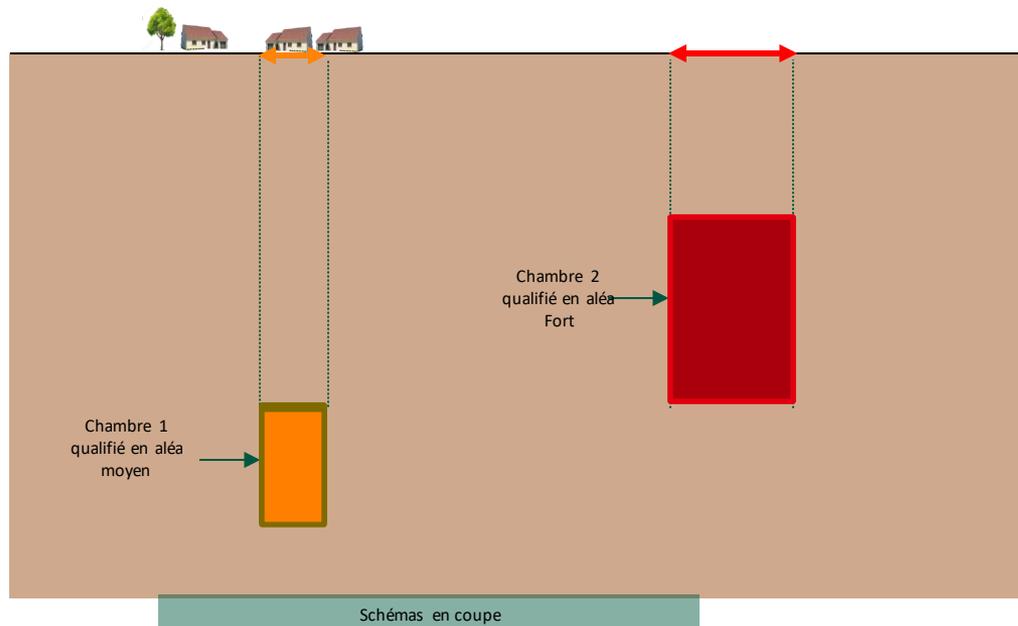
Caractérisation des ouvrages en fonction de leur critère



Qualification de degré d'aléa pour chaque ouvrage

Méthodologie pour la qualification et la cartographie de l'aléa Mouvement de terrain

➤ Qualification de leur degré d'aléa

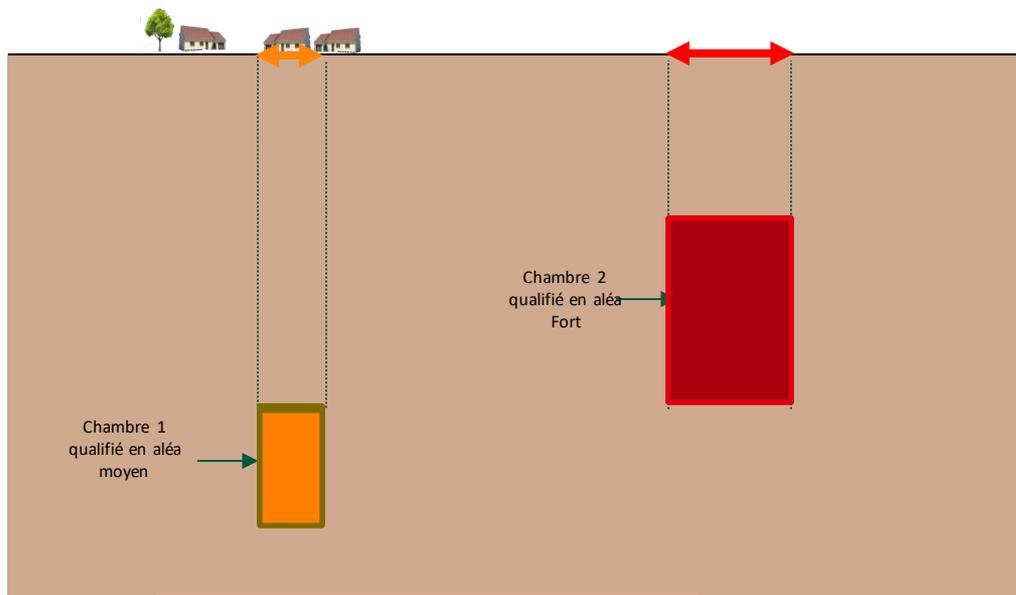


Méthodologie pour la qualification et la cartographie de l'aléa Mouvement de terrain

➤ Qualification de leur degré d'aléa



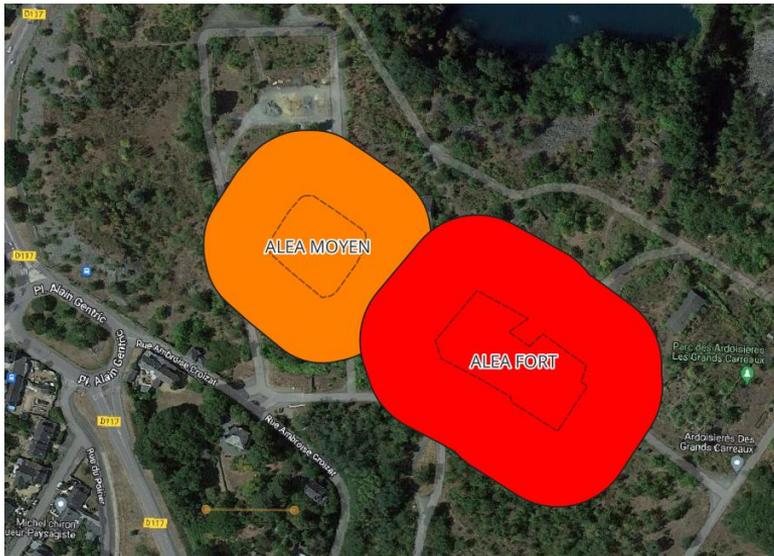
Représentation en plan



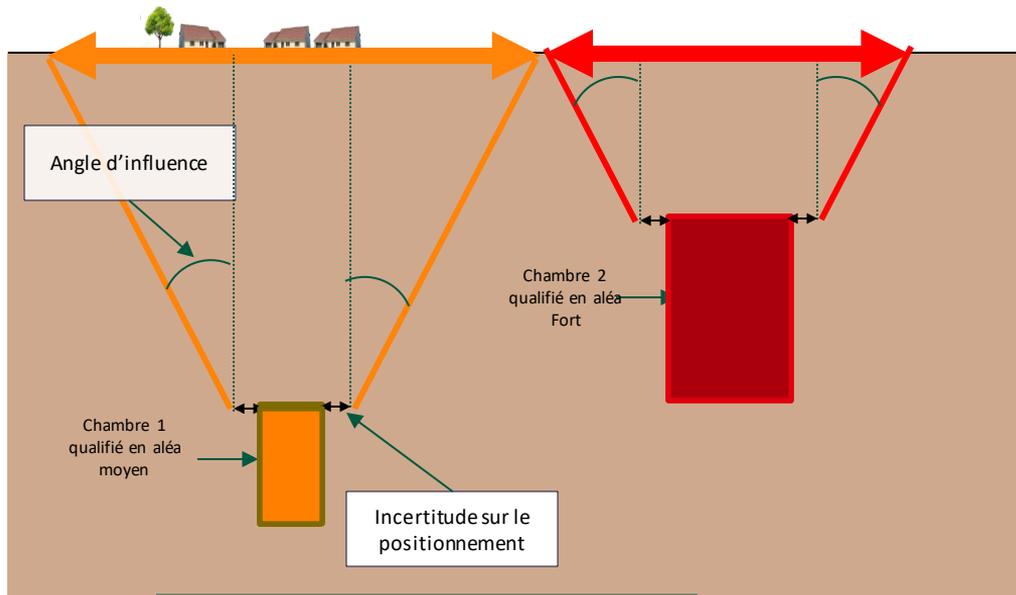
Schémas en coupe

Méthodologie pour la qualification et la cartographie de l'aléa Mouvement de terrain

➤ Cartographie de l'aléa



Représentation en plan



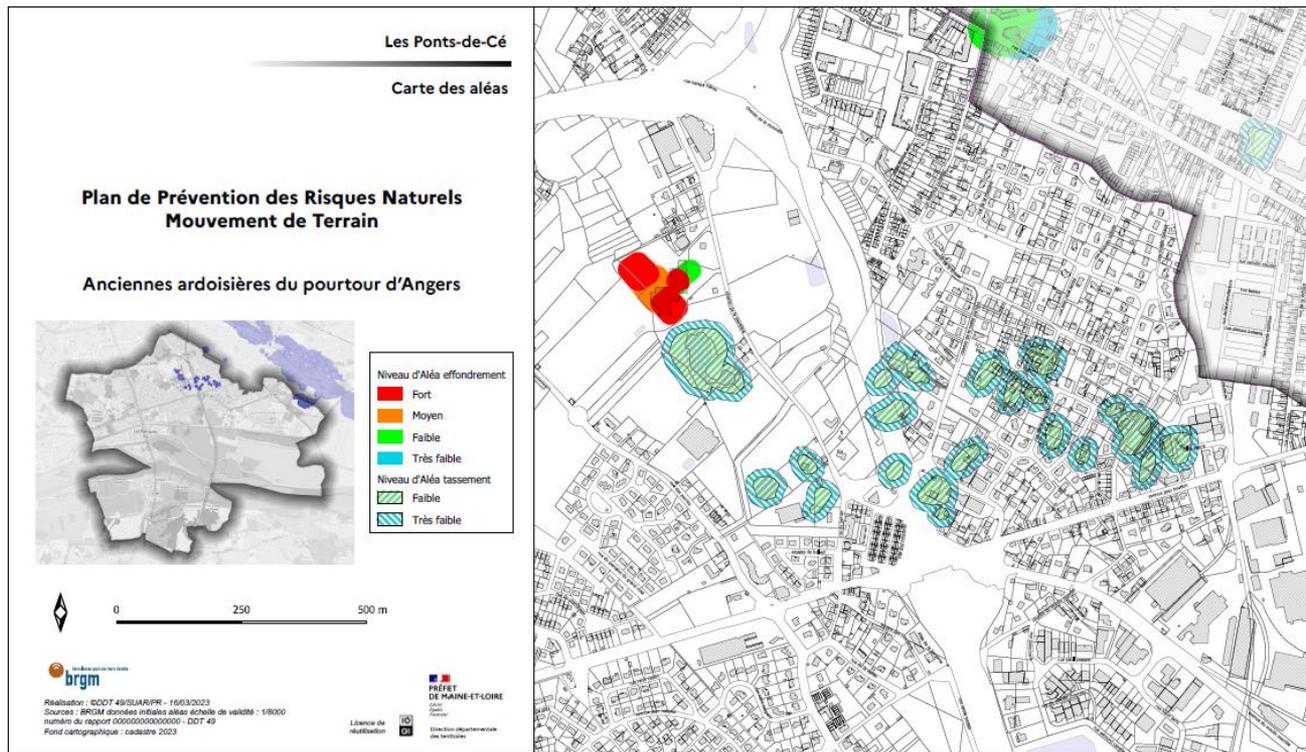
Schémas en coupe

	Phénomène	Fort	Moyen	Faible	Très faible
CARRIÈRE	Effondrement localisé	X	X	X	X
	Tassement			X	X

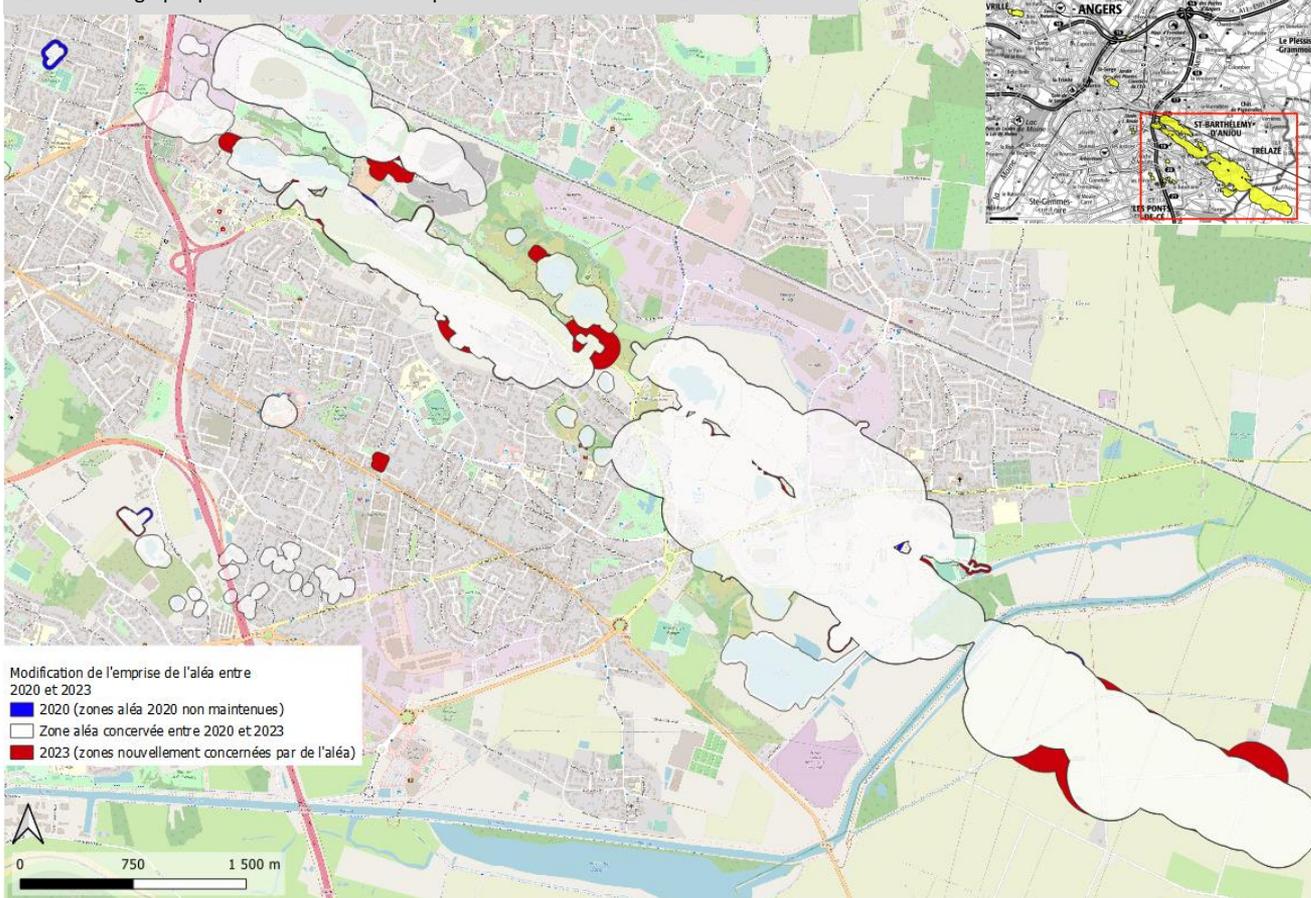
	Phénomène	Fort	Moyen	Faible	Très faible
MINE	Effondrement localisé		X	X	
	Tassement			X	

Cartographie des aléas mouvements de terrain

Exemple des Ponts de Cé (DDT49)



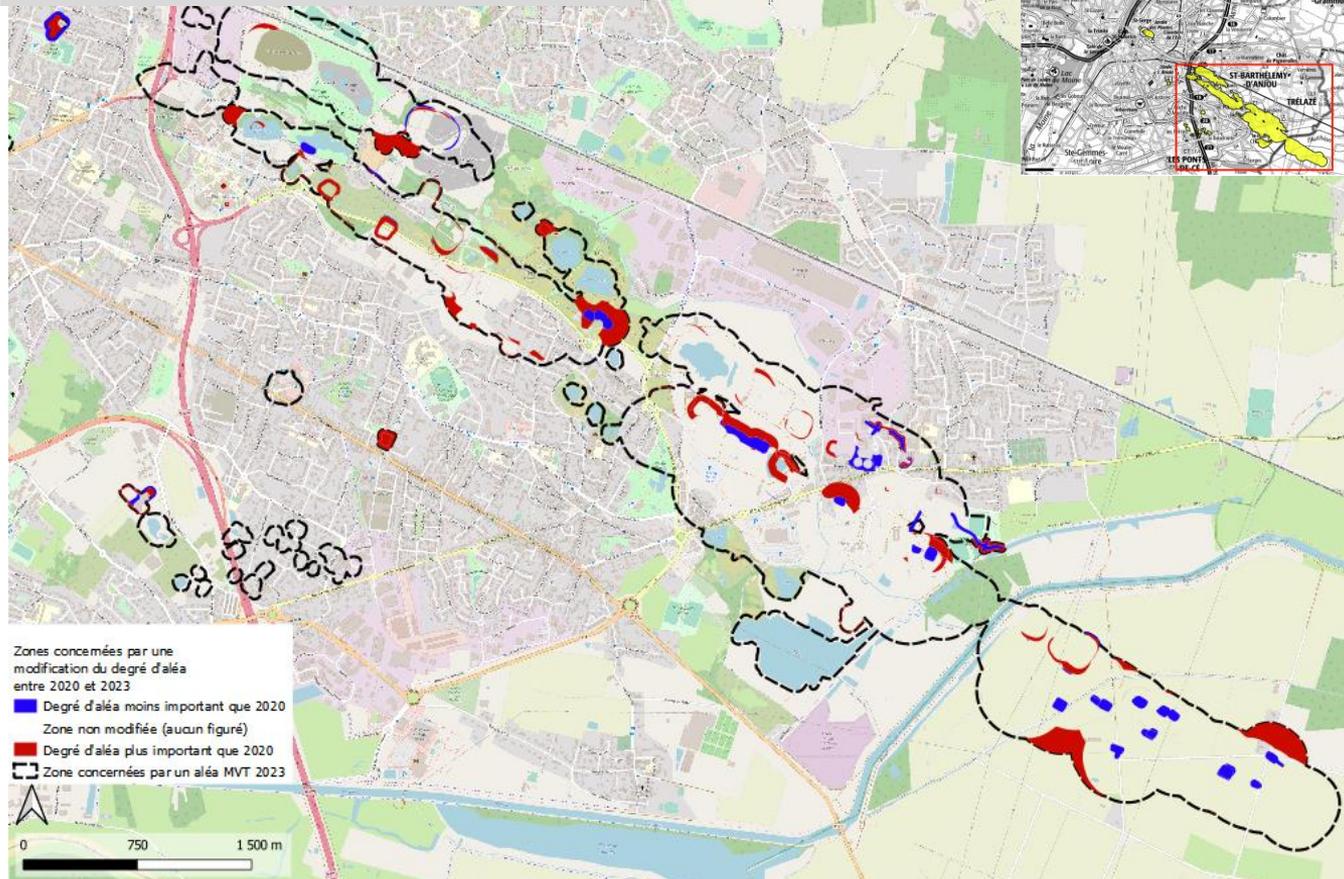
Extrait cartographique des modifications d'emprise d'aléa entre la carte 2020 et 2023



Reprise en 2022/2023 des aléas de 2020 (cf. rapport en cours d'édition RP-72620-FR, 2023) :

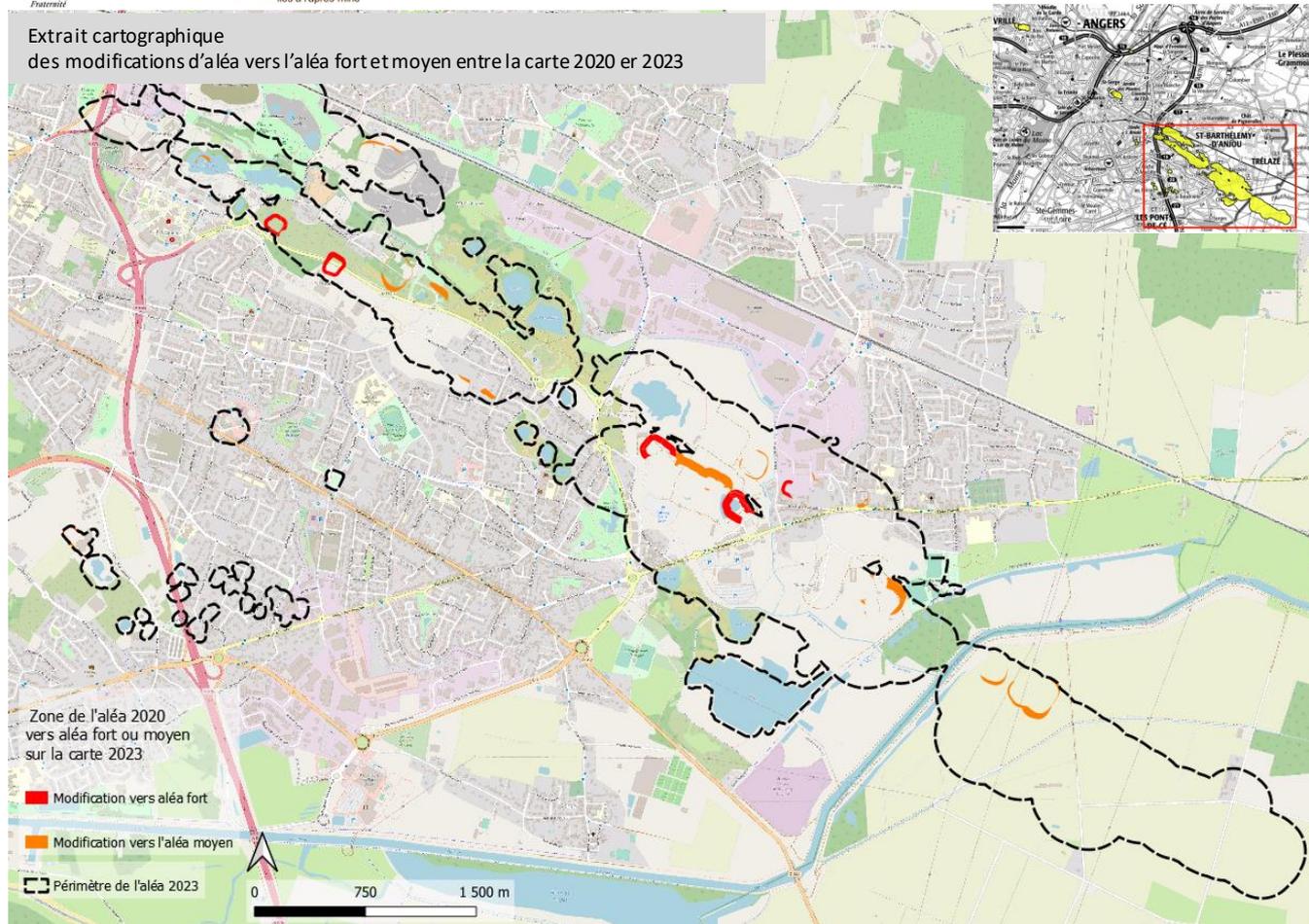
- Consolidation de la donnée existante
- Réduction des incertitudes
- Les modifications de l'aléa :
 - Concernent en majorité des zones non urbanisées
 - Représentent environ +4% de surface totale
 - Concernent des zones effondrement et tassement

Extrait cartographique
des modifications par degré d'aléa par zone de 2020 à 2023

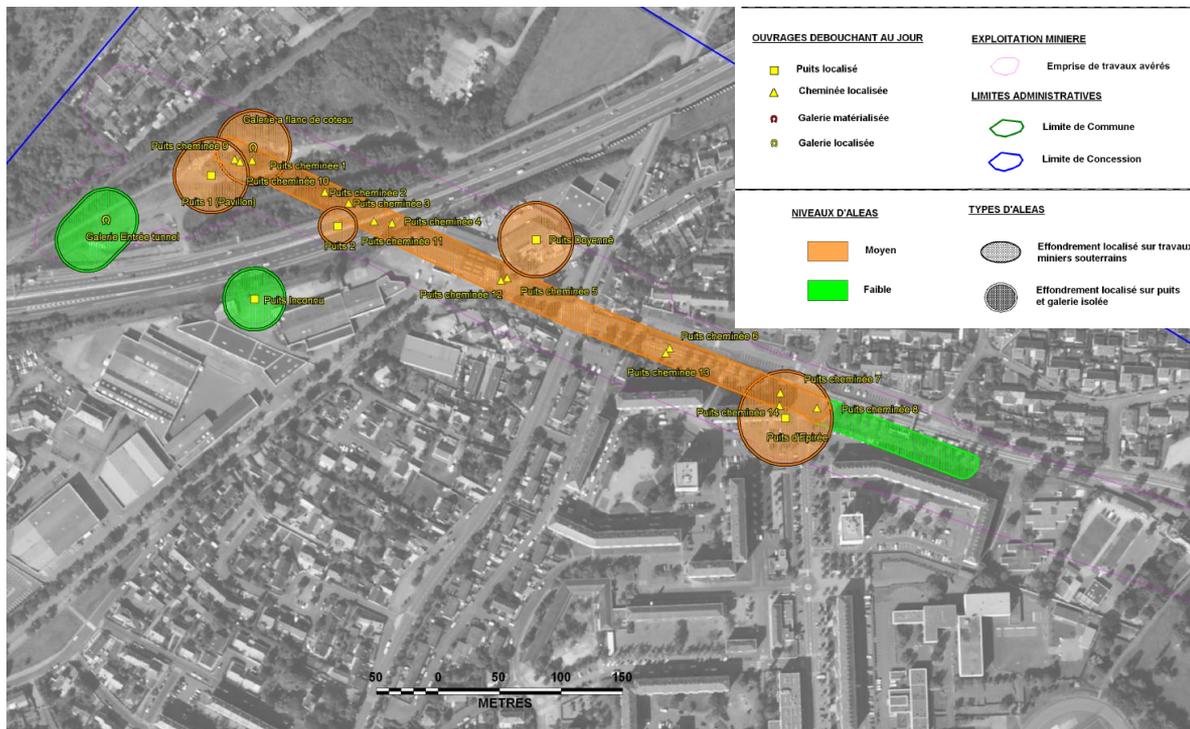


Carte des variations d'aléa

Extrait cartographique
des modifications d'aléa vers l'aléa fort et moyen entre la carte 2020 et 2023



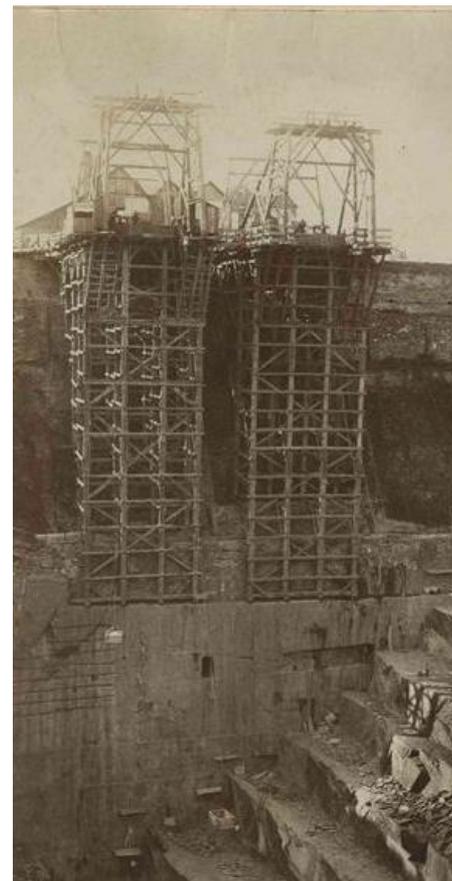
Mine : Geoderis



Extrait cartographique de l'aléa effondrement localisé à Pavillon d'Angers

Merci pour votre attention

Jean Salomero (BRGM) : sujet carrière d'ardoise
Thierry Delaunay (GEODERIS) : sujet minier



Diapositives complémentaires non présentées ci-après.

Jean Salomero (BRGM) : sujet carrière d'ardoise
Thierry Delaunay (GEODERIS) : sujet minier

