

# ANNEXE

## Méthode d'évaluation des aléas

### Sommaire

<b>1. Méthode d'évaluation des aléas .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Principe .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Qualification de l'intensité.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Qualification de la probabilité d'occurrence .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Qualification de l'aléa .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Description et évaluation des aléas .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Les effondrements localisés .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 L'aléa « affaissement » .....</b>	<b>8</b>
<b>3. Zonage et cartographie des aléas .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Limites et marge de sécurité.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Cartographie de l'aléa.....</b>	<b>13</b>



# **1. METHODE D'EVALUATION DES ALEAS**

## **1.1 PRINCIPE**

L'évaluation de l'aléa « mouvements de terrain » résultant de la présence de cavités souterraines a pour but d'identifier les zones susceptibles de mettre en péril, à terme, les personnes et les biens exposés en surface afin de les prendre en compte dans l'aménagement du territoire.

A partir des instabilités connues ou prévisibles, établies en fonction des configurations de site et d'exploitation, de leur évolution possible et des différents phénomènes accidentels attendus, on en déduit les « *aléas de référence* » correspondants. L'évaluation de ces aléas résultent classiquement du croisement de l'intensité ou de la gravité du phénomène redouté (dommages matériels ou de pertes humaines et des possibilité d'y remédier) par la probabilité d'occurrence qui lui est associée.

La notion d'aléa de référence est utilisée ici en se plaçant dans une optique d'analyse à long terme. En effet, l'aléa de référence est défini comme « *le plus fort événement historique connu dans le site, sauf si une analyse spécifique conduit à considérer comme vraisemblable à échelle centennale, ou plus en cas de danger humain, un événement de plus grande ampleur* ».

## **1.2 QUALIFICATION DE L'INTENSITE**

L'intensité de chaque aléa peut être hiérarchisée en plusieurs niveaux à partir de critères tels que l'importance des dégâts, séquelles ou nuisances prévisibles pour un phénomène donné en se basant sur les observations et données fournies par l'analyse informative et les retours d'expérience. Cette notion intègre à la fois une hiérarchisation des grandeurs caractérisant les désordres mais également leur potentiel de gravité sur les personnes ou les biens et/ou le coût de parades de prévention. Des exemples de qualification de l'intensité sont donnés dans ce document.

Il est classique de définir l'intensité en quatre classes (*très faible, faible, moyenne et forte*), en fonction de la nature des mécanismes et phénomènes observés ou attendus sur le site.

## **1.3 QUALIFICATION DE LA PROBABILITE D'OCCURRENCE**

A chaque aléa doit être également rattaché une « probabilité d'occurrence », ce qui n'est pas sans poser des difficultés dans la prévision des mouvements de terrains, phénomènes non périodiques (contrairement aux séismes ou aux inondations) qui font presque toujours appel à des approches de prévision déterministes.

La notion de probabilité d'occurrence est appréhendée par le concept de « prédisposition du site » vis-à-vis d'un type donné d'instabilité. Des critères, si possible paramétriques, témoignant de la « sensibilité » ou de « l'activité » du phénomène redouté sont donc établis en fonction de la configuration étudiée. L'analyse de la fréquence des événements passés (« retour d'expérience ») fait, naturellement, partie intégrante de la démarche.

Par ailleurs, il n'est pas rare d'être amené à gérer le manque d'informations disponibles par la notion de « présomption » en distinguant les zones où le phénomène redouté est seulement « suspecté » des zones pour lesquelles le risque est « avéré ».

Chaque type de phénomène se voit attribuer une sensibilité spécifique. Il est d'usage de définir quatre classes de prédisposition (*très peu sensible, peu sensible, sensible et très sensible*) en fonction de la nature des mécanismes et phénomènes observés ou attendus sur le site.

#### 1.4 QUALIFICATION DE L'ALEA

La hiérarchisation de l'aléa résulte du croisement d'une intensité avec la prédisposition correspondante. Le principe de qualification de l'aléa consiste donc à combiner les critères permettant de caractériser l'intensité d'un phénomène redouté avec les critères permettant de caractériser sa classe de prédisposition.

On utilise, à cette fin, une matrice de synthèse dont les principes de constitution sont illustrés dans le tableau suivant, en précisant que chaque site peut donner lieu à des ajustements pour s'adapter à un contexte spécifique.

Classiquement on se limite à trois classes d'aléas : *faible, moyen et fort*.

Prédisposition	Très peu sensible	Peu sensible	Sensible	Très sensible
Intensité				
Très faible				
Faible				
Moyenne				
Forte				

Tableau 1 : Qualification de l'aléa en fonction de l'intensité et de la prédisposition

## **2. DESCRIPTION ET EVALUATION DES ALEAS**

### **2.1 LES EFFONDREMENTS LOCALISES**

#### **2.1.1 Définition et effets en surface**

Un effondrement localisé se caractérise par l'apparition soudaine en surface d'un cratère d'effondrement dont l'extension horizontale varie généralement de quelques mètres à quelques dizaines de mètres de diamètre. La profondeur du cratère dépend principalement de la profondeur et des dimensions des travaux souterrains mais il n'est pas rare qu'elle atteigne une dizaine de mètres même si, dans la majorité des cas, elle se limite à quelques mètres. Dans le cas de gisements pentés, l'effondrement peut prendre la forme d'une gouttière ou d'une tranchée allongée dans la direction du plan de la veine.

En fonction du mécanisme initiateur du désordre et de la nature des terrains de subsurface, les parois du cratère peuvent être subverticales ou inclinées, donnant ainsi naissance à une forme caractéristique d'entonnoir d'effondrement.

Les dimensions du désordre et le caractère brutal de sa manifestation en surface font des effondrements localisés des phénomènes potentiellement dangereux lorsqu'ils se développent au droit ou à proximité de secteurs urbanisés.

##### *2.1.1.1 Effondrement par rupture d'une couronne d'un chantier penté*

Lorsque l'exploitation d'une veine pentée s'est développée près de la surface, une rupture peut se développer par cisaillement le long des interfaces minéral - éponges ou encore par éboulement progressif de la couronne à un endroit où le minéral est souvent altéré (on parle alors de rupture du pilier en couronne).

La forme du cratère en surface dépend étroitement de la nature des terrains et des caractéristiques d'exploitation mais peut différer du fontis par un contour plus allongé, aligné dans l'orientation de la veine. Si la largeur de l'effondrement n'excède ainsi que très rarement quelques dizaines de mètres, son extension longitudinale peut être plus importante dans le sens de la veine.

##### *2.1.1.2 Effondrement par débouillage de puits ou rupture de la tête de puits*

Un ancien puits d'exploitation, mal traité (au niveau des recettes) ou mal remblayé (à l'aide de matériaux qui peuvent être remobilisés, notamment en présence d'eau), peut débouiller, c'est-à-dire voir son remblai s'écouler au sein des ouvrages souterrains auquel il est raccordé, avec pour conséquence la formation d'un cratère présentant les mêmes dimensions que la colonne du puits.

Ce débouillage peut, dans certains cas (assez fréquents lorsqu'il s'agit de très vieux puits), s'accompagner, ou être suivi, d'une rupture du revêtement du puits et d'un effondrement des terrains peu compétents environnants, comme le sont généralement les terrains superficiels. Il se produit alors un cône d'effondrement dont les dimensions dépendent de l'épaisseur et des caractéristiques géologiques et mécaniques locales des terrains.

Par ailleurs, si la tête d'un puits non remblayé est foncée dans des terrains de moindre résistance ou meubles (remblais, sols, roche altérée, etc.), la rupture du cuvelage ou du dispositif de fermeture sous-dimensionné peut entraîner la migration de ces matériaux dans la colonne de puits.

La manifestation en surface peut ainsi se restreindre à un cratère de petite taille (quelques mètres de diamètre au maximum) ou générer des désordres plus importants (diamètre pouvant dépasser une dizaine de mètres). Des effondrements de diamètre beaucoup plus grands sont tout à fait exceptionnels et correspondent généralement à la présence de sables bouillants proches de la surface.

Les travaux de traitement réalisés pour la mise en sécurité peuvent être un critère permettant de diminuer de façon substantielle, voire éradiquer, la prédisposition au débouillage ou à la rupture de la tête du puits. Par exemple, un bouchon autoportant réalisé en tête de puits, conformément à l'état de l'art, paraît être une solution efficace et suffisamment pérenne. En revanche s'il reste ouvert et est simplement recouvert d'une dalle bétonnée, la stabilité du puits n'est pas garantie contre les risques de rupture du cuvelage et des bords susceptibles de s'opérer à long terme par altération ou vieillissement (surtout si la largeur de la dalle est insuffisante).

### *2.1.1.3 Effondrement par rupture de toit ou éboulement d'une galerie d'accès : le phénomène de fontis*

On parle de « fontis » lorsque le désordre, de forme conique, qui affecte la surface résulte de la remontée au jour d'un éboulement localisé, initié au sein d'une excavation souterraine (galerie, chambre d'exploitation, etc.). Si la voûte initiée par la rupture du toit de l'excavation ne se stabilise pas mécaniquement du fait de la présence de bancs résistants et massifs au sein du recouvrement, elle se propage progressivement vers la surface. Il faut également que l'espace disponible au sein des vieux travaux soit suffisant pour que les matériaux éboulés et foisonnés puissent s'y accumuler sans être bloqués par « autocomblement », processus qui empêcherait la cloche de fontis d'atteindre la surface.

L'apparition de ce type de désordre en surface ne concerne que les travaux peu profonds. Les retours d'expérience menés sur plusieurs bassins miniers ont ainsi montré que, sauf spécificité géologique ou d'exploitation, au-delà d'une cinquantaine de mètres de profondeur (et parfois moins), les anciens vides miniers (dans des gammes d'ouvertures classiques : 2 à 4 ou 5 m) n'étaient plus susceptibles de provoquer ce phénomène en surface.

## **2.1.2 Qualification de l'intensité**

Le phénomène d'effondrement localisé est de nature à porter atteinte à la sécurité des personnes et des biens présents en surface.

C'est principalement le *diamètre de l'effondrement* qui va influencer sur les conséquences du phénomène vis-à-vis de la sécurité des personnes et des biens présents dans la zone d'influence du désordre. C'est donc ce paramètre que nous retenons comme grandeur représentative. La profondeur du cratère influence sur la dangerosité du phénomène mais, souvent délicate à prévoir, notamment pour ce qui concerne les fontis et les débouillages de puits, elle n'est pas retenue a priori.

Parmi les principaux facteurs susceptibles d'influer sur la grandeur du diamètre de l'effondrement, on retient : la dimension des vides résiduels au sein des travaux souterrains (volume) ainsi que l'épaisseur et la nature des terrains constituant le recouvrement dont le rôle est prépondérant sur les dimensions de l'entonnoir d'effondrement en surface.

Classe d'intensité	Diamètre de l'effondrement (valeurs purement indicatives)
Très faible	Effondrements autocomblés, à proximité immédiate de la surface (profondeur centimétrique)
Faible	$\varnothing < 2-3 \text{ m}$
Moyen	$2-3 \text{ m} < \varnothing < 10 \text{ m}$
Fort	$\varnothing > 10 \text{ m}$

Tableau 2 : Classes d'intensité de l'aléa « effondrement localisé »

### 2.1.3 Qualification de la probabilité d'occurrence

Quel que soit le contexte d'exploitation, deux critères fondamentaux gouvernent la prédisposition d'un site au développement d'effondrements localisés :

- l'existence d'anciens mouvements de type « effondrement localisé », encore visibles en surface ou décrits dans les archives ou encore leur survenance sur un site présentant des caractéristiques géologiques et d'exploitation similaires ;
- la présence de terrains déconsolidés en surface, notamment sur une grande épaisseur ;
- la profondeur des travaux.

Les principaux facteurs de prédisposition spécifiques aux phénomènes identifiés sur les gisements synclinaux angevin-breton et normands sont les suivants :

#### 2.1.3.1 concernant le risque de rupture de couronne

- dimensions et résistance des couronnes (épaisseur, présence d'extraction à ciel ouvert en sub-surface, degré d'altération, présence de failles ou d'accidents tectoniques, etc.) ;
- caractéristiques du gisement (pendage, nature des terrains encaissants, interfaces entre le filon et les épontes, etc.).

#### 2.1.3.2 concernant le risque de débouillage ou rupture de tête de puits

Les facteurs identifiés dépendent des deux mécanismes d'instabilité qui peuvent affecter une ancienne tête de puits :

- cas de l'effondrement de la structure mise en place en tête d'un puits vide (cuvelage, plancher, voûte en briques, dalle, bouchon, etc) : caractéristiques de cette structure, altérabilité dans le temps, nature du cuvelage, nature résistance des terrains encaissants ;
- cas du débouillage d'un puits remblayé : conditions hydrogéologiques (remontée des eaux, battements de nappe), présence de galeries connectées au puits et non obturées par des serrements, ancienneté du remblayage, facteurs défavorables (vibrations, surcharges, variations du niveau de la nappe, etc.).

### *2.1.3.3 concernant le risque de rupture de toit ou de rupture par éboulement d'une galerie à faible profondeur*

La prédisposition d'un site au développement d'un fontis à l'aplomb dépend de la combinaison de deux processus : la rupture de l'ouvrage souterrain en lui-même et la remontée de l'instabilité jusqu'en surface.

Facteurs de prédisposition à la rupture de l'ouvrage souterrain :

- la largeur (ou portée) du toit des chambres ou des galeries concernées ;
- la nature et l'épaisseur des premiers bancs rocheux, l'existence de soutènement.

Facteurs de prédisposition du recouvrement conditionnant la remontée de fontis en surface :

- facteurs favorisant la stabilisation du phénomène par formation d'une voûte stable : présence de bancs homogènes suffisamment épais et résistants (par exemple : présence et surtout épaisseur des terrains jurassiques recouvrant les terrains primaires) ;
- concernant la stabilisation du phénomène par autocomblement : volume des vides résiduels disponibles au sein des vieux travaux, nature des terrains de recouvrement (épaisseur, comportement et coefficient de foisonnement).

Concernant les galeries minières isolées de dimensions classiques des gisements angevin-breton et normands, le retour d'expérience semble montrer qu'au-delà d'une profondeur d'une trentaine de mètres, la probabilité de remontée de fontis jusqu'en surface devient négligeable.

## **2.2 L'ALEA « AFFAISSEMENT »**

### **2.2.1 Définition et effets en surface**

L'affaissement se manifeste par un réajustement des terrains de surface induit par l'éboulement de cavités souterraines résultant de l'extraction du minerai. Les désordres, dont le caractère est généralement lent, progressif et souple, prennent la forme d'une dépression topographique qui présente une allure de cuvette, sans rupture cassante importante (des fractures ouvertes sont possibles dans la zone en extension, située sur la bordure de l'affaissement).

Ce type de manifestation concerne aussi bien les exploitations en plateaux menées à grande profondeur (plusieurs centaines de mètres) et présentant des extensions horizontales importantes que les exploitations pentées (ou éventuellement filoniennes) profondes ayant laissé des vides résiduels importants après extraction.

L'amplitude maximale de l'affaissement est directement proportionnelle à l'ouverture des travaux souterrains. Le coefficient de proportionnalité dépend notamment de la profondeur des travaux, de la méthode d'exploitation (défruitement) et de traitement des vides (foudroyage ou remblayage). Dans la majorité des cas, les amplitudes maximales observées sont d'ordre décimétrique à métrique.



## 2.2.2 Cas des exploitations en gisements pentés

Les exploitations en couche pentée se caractérisent par une dissymétrie de la cuvette d'affaissement plus ou moins importante en fonction du pendage. L'existence d'un pendage influe, en effet, directement sur les valeurs des angles d'influence en amont et en aval (figure 1).

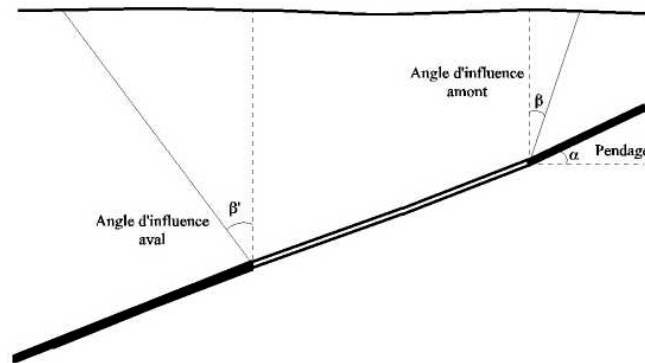


Figure 1 : Schéma montrant la dissymétrie des angles d'influence amont et aval en gisement penté

Quand la profondeur d'exploitation devient importante, l'influence de l'angle aval se traduit généralement par une large extension de la cuvette d'affaissement mais, en contrepartie, par des amplitudes d'affaissement vertical et des déplacements différentiels horizontaux plus faibles. En revanche, coté amont les déplacements augmentent sensiblement.

Notons, par ailleurs, que contrairement aux exploitations totales par tailles foudroyées ou défilage, l'occurrence d'affaissements à l'aplomb d'exploitations par chambres et piliers abandonnés ou par chambres laissées vides (telles que les chambres magasins) dépend directement de la rupture des cavités (éboulement). Des phénomènes d'affaissement peuvent alors être initiés plusieurs années ou décennies après la fermeture des travaux si les structures souterraines sont suffisamment résistantes pour demeurer stables jusqu'à ce terme.

## 2.2.3 Qualification de l'intensité

### 2.2.3.1 Critères fondamentaux

Il est reconnu que les caractéristiques d'affaissement qui matérialisent les dégâts les plus dommageables pour les biens situés en surface sont les déformations différentielles horizontales et les mouvements de mise en pente du sol plutôt que l'affaissement maximal en lui-même. Le tableau ci-dessous donne des valeurs indicatives des déformations et pentes qui permettent d'évaluer l'intensité du phénomène.

Classe d'intensité	Déformations différentielles horizontales $\varepsilon$ (en mm/m)	Mise en pente $\mu$ (en %)
Négligeable	$\varepsilon < 1$	$\mu < 0,2$
Très faible	$1 < \varepsilon < 5$	$0,2 < \mu < 1$
Faible	$5 < \varepsilon < 10$	$1 < \mu < 2$
Moyen	$10 < \varepsilon < 30$	$2 < \mu < 6$
Fort	$\varepsilon > 30$	$\mu > 6$

Tableau 3 : Classes d'intensité de l'aléa « affaissement »  
(valeurs purement indicatives)

La valeur de ces deux paramètres peut être sensiblement influencée par les facteurs suivants :

- la géométrie des travaux (largeur exploitée des panneaux) ;
- l'ouverture des chantiers souterrains (tailles) ;
- la méthode d'exploitation (taux de défrètement, etc.) ;
- le pendage des couches (au delà de 20° ou 30°) ;
- la profondeur des panneaux ;
- la nature des terrains de recouvrement, la présence de failles, la topographie de surface, etc.

Dans les gisements ferrifères de l'Ouest, les valeurs de ces paramètres sont calculées en se fondant sur la retroanalyse des affaissements de Soumont. Il apparaît ainsi que la valeur de l'affaissement maximal est de la forme :

$$A_{\max} = 0,3 \cdot w \cdot \tau$$

avec :

- $A_{\max}$  = affaissement maximal ;
- $w$  = ouverture exploitée (dans les quartiers exploités par chambres magasins) ;
- $\tau$  = taux d'exploitation (ou taux de défrètement).

On peut en déduire facilement les valeurs des déformations ( $\varepsilon_{\max}$ ) et pentes ( $\mu_{\max}$ ) à partir des relations classiques suivantes :

$$\varepsilon_{\max} = \alpha \cdot A_{\max} / H$$

$$\mu_{\max} = \beta \cdot A_{\max} / H$$

Où :

- $H$  est la profondeur moyenne du panneau
- $\alpha$  et  $\beta$  des coefficients estimés respectivement à 1,5 et 5.

Les valeurs des coefficients  $\alpha$  et  $\beta$  sont déduits des études en retour d'expérience effectuées sur les mines de fer de Lorraine et adoptés pour leur caractère très sécuritaire.

### 2.2.3.2 Facteurs d'influence

En plus de ces critères fondamentaux, d'autres facteurs ou conditions d'exploitation doivent être pris en compte pour éventuellement minimiser l'aléa, comme :

- condition n° 1 : pour que l'affaissement se donne en totalité il faut que les dimensions des chantiers (largeur L) atteignent ou dépassent la profondeur (H) (soit :  $L \geq H$ ), ce qui représente, dans le contexte de ces exploitations, une largeur au pendage de 250 à 290 m (profondeur inférieure à 220–250 m). En dessous ( $L < H$ ), les affaissements sont d'autant plus limités et l'aléa plus faible ;
- condition n° 2 : on considère qu'il n'y a pas de répercussions en surface (affaissements non perceptibles) si le chantier présente une largeur  $L < 0,4 H$  ;
- condition n° 3 : si la profondeur limite des travaux est supérieure à 250 - 300 m (en fonction de la géométrie des chantiers), on considère que les zones en rupture ont peu de chances d'atteindre la surface.

Action des facteurs d'influence sur la réduction de l'aléa	Rapport L/H	Profondeur (H)
aucune	$L/H > 1$	< 250 m
faible	$L/H \# 1$	< 250 m
sensible	$0,4 < L/H < 1$	< 250 m
importante	$L/H < 0,4$	< 250 m
	$L/H \geq 1$	> 250-300 m

Tableau 4 : Conditions de site susceptibles de minorer l'aléa « affaissement »

### 2.2.4 Qualification de la probabilité d'occurrence

Dans les exploitations pentées des gisements ferrifères de l'Ouest, c'est principalement la stabilité des stots, des dalles ou des piliers laissés en place pour assurer la tenue des épontes qui gouverne la prédisposition du site aux affaissements de surface.

Pour évaluer la stabilité à long terme des terrains sous-minés, il convient de tenir compte principalement :

- des dimensions des panneaux ;
- du pendage des couches ;
- du taux d'exploitation (ou taux de « défruitement ») ;
- de l'ouverture (hauteur exploitée entre épontes) ;
- des propriétés de résistance des ouvrages miniers laissés en place.

D'une façon plus précise, une analyse paramétrique a été menée sur le cas des affaissements de la mine de Soumont (Renaud, 2004<sup>[1]</sup>). Elle fournit des indications

---

<sup>[1]</sup> V. RENAUD (2004) : Contribution à l'analyse des conditions d'effondrement des gisements pentés des bassins ferrifères de Soumont, May/Orne et Segré (Calvados, Maine-et-Loire), rapport INERIS-DRS-04-50864/RN01, 49 p., 2004.

fondamentales sur les configurations de gisement et d'exploitation pour lesquelles on peut exclure l'occurrence d'un affaissement (tableau ci-dessous).

Pendage	Taux de défrèvement ( $\tau\%$ )	Ouverture (w)
> 55°	$\leq 90\%$	$\leq 4\text{ m}$
	$\leq 85\%$	$\leq 5\text{ m}$
45° à 55°	$\leq 90\%$	$\leq 3\text{ m}$
	$\leq 80\%$	$\leq 5\text{ m}$
30° à 45°	$\leq 80\%$	$\leq 3\text{ m}$
	$\leq 70\%$	$\leq 5\text{ m}$

Tableau 5 : conditions d'exclusion du processus d'affaissement (d'après Renaud, 2004)

Une interprétation plus fine du critère est possible à partir de la figure 2 en 3D, ci-dessous. Elle indique le statut des différentes modalités dans l'espace pendage-taux de défrèvement-ouverture.

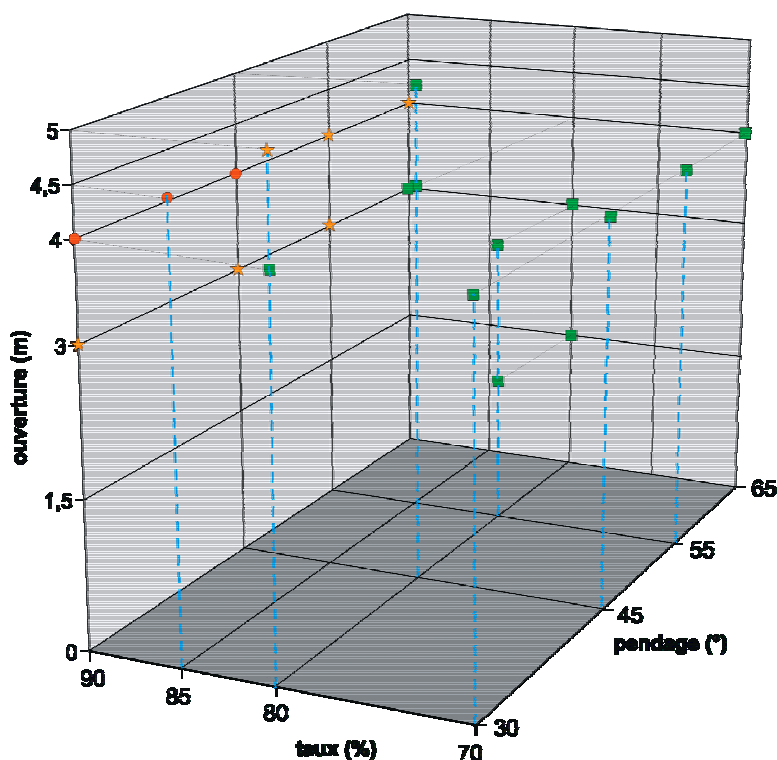


Figure 2 : statut des différentes modalités dans l'espace pendage-taux de défrèvement-ouverture

Par ailleurs, l'influence de l'augmentation du pendage se manifeste par un déplacement des zones de rupture plus près de la surface (ou de l'affleurement) : plus on est penté, plus on affecte les terrains proches de la surface (points de ruptures ou points plastiques).

## **3. ZONAGE ET CARTOGRAPHIE DES ALEAS**

### **3.1 LIMITES ET MARGE DE SECURITE**

La marge de sécurité débordant les travaux miniers est la résultante de deux marges distinctes : la marge d'influence et la marge d'incertitude.

#### **3.1.1 Marge d'influence**

La représentation des contours délimitant les zones d'aléas s'établit en considérant, outre la zone sous-minée directement affectée par les travaux miniers, la zone située en bordure susceptible d'être influencée par l'évolution du désordre attendu. Cette dernière zone constitue la « marge d'influence » qui, depuis l'aplomb des travaux, s'étend jusqu'à une limite en surface matérialisée par l'angle d'influence des travaux miniers, qu'il s'agisse d'un effondrement localisé ou d'un affaissement.

#### **3.1.2 Marge d'incertitude**

Cette autre marge représente une limite supplémentaire qui matérialise les incertitudes cartographiques dues à la précision des levés, des points de référence, du fond de plan et de son échelle, de l'assemblage des plans cadastraux (lorsque ce travail est nécessaire) et surtout du report fond – jour des plans d'exploitation.

En fonction de la présence ou non de points de référence permettant un bon « calage » des plans (comme les puits repérés, par exemple), l'incertitude cartographique peut ne représenter que quelques mètres pour atteindre une dizaine de mètres, voire davantage, dans certains cas (manque de repères fond – jour). Pour simplifier, on retient classiquement, une marge d'incertitude de 10 à 20 m pour le zonage des effondrements localisés ou des affaissements et aucune marge de sécurité pour les ouvrages de surface bien repérés (puits, entrées de galeries).

### **3.2 CARTOGRAPHIE DE L'ALEA**

L'étape qui suit l'analyse consiste à reporter, sur un fond cartographique de la surface du sol, les différentes zones d'aléas en leur attribuant une couleur conventionnelle. On veille, en général, compte tenu des incertitudes évoquées précédemment, à lisser les contours des différentes zones.