

Paramètres d'affaissement pour la hierarchisation des zones à risque dans le bassin ferrifère lorrain

Marwan Al Heib, Jean-Pierre Josien, Yasser El Shayeb

▶ **To cite this version:**

Marwan Al Heib, Jean-Pierre Josien, Yasser El Shayeb. Paramètres d'affaissement pour la hierarchisation des zones à risque dans le bassin ferrifère lorrain. Colloque International Après-mine 2003, Feb 2003, Nancy, France. pp.NC. ineris-00972406

HAL Id: ineris-00972406

https://ineris.hal.science/ineris-00972406

Submitted on 3 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

PARAMETRES D'AFFAISSEMENT POUR LA HIERARCHISATION DES ZONES A RISQUE DANS LE BASSIN FERRIFERE LORRAIN

AL HEIB Marwan[1], JOSIEN Jean Pierre[2] et El SHAYEB Yasser[1].

1 INERIS, Ecole de Mines de Nancy, Parc de Saurupt 54042
2 GEODERIS : 15 rue Claude Chappe, 57071 Metz

RESUME : Les conséquences d'un effondrement minier sur le bâti et les infrastructures de surface sont directement liées aux paramètres d'affaissement (amplitude, déformation...). Ces paramètres sont propres à chaque bassin minier voire chaque site. Ils dépendent de la nature et de la structure des terrains de recouvrement. Dans le bassin ferrifère lorrain, les effets en surface induits par l'effondrement d'exploitations par chambres et piliers abandonnés sont connus pour 18 cas. L'objectif de cette recherche est de déterminer, par le biais d'une rétro-analyse des cas d'affaissements dus à l'exploitation par dépilage ou d'effondrements miniers, les paramètres propres au bassin ferrifère lorrain afin de les utiliser pour la prédiction des affaissements dans des zones à risque d'effondrement progressif. Une comparaison des effets induits par le dépilage à ceux dus aux effondrements a également été réalisée. Dans le cadre de l'étude, nous avons pu exploiter 18 cas d'affaissement ou d'effondrement. Nous présentons, la méthodologie de rétro-analyse utilisée pour déterminer les paramètres d'affaissement, cas par cas. Nous décrivons ensuite, à partir des résultats obtenus, les paramètres de la cuvette d'affaissement ainsi déterminés en fonction de la configuration de l'exploitation.

Mots clé : paramètres d'affaissements, mines de fer, dépilage, effondrement

ABSTRACT: The consequences of mining collapse on the frame and the infrastructures of surface are directly related to the parameters of subsidence (vertical amplitude, horizontal strain, ..). These parameters are specific to each field even each site. They depend on the nature and the structure of the grounds. In the Lorraine iron-bearing basin, the effects on the surface induced by collapse of mine era by rooms and pillars abandoned are known for 18 cases. The main objective of this research is to determine, by back analysis of subsidence cases due to mining removal of pit props or collapse, the parameters specific to the Lorraine iron-bearing basin in order to use them for the prediction of depressions in zones at the risk of progressive collapse. A comparison of the effects induced by the mining effect with those due to collapses was also carried out. Within the framework of the study, we conform that the cases of subsidence and collapse are very similar. We present, the methodology of back analyzes used to determine subsidence parameters, individually. We describe then, starting from the results obtained, the subsidence parameters of the basin thus determined according to the configuration mining.

Key words: subsidence parameters, iron mines, total mining (gob), collapse

1. Description du phénomène d'affaissement

Les cavités naturelles ou les exploitations souterraines sont susceptibles d'engendrer une déformation des terrains de surface qui les surplombent. On parle d'affaissement minier, au sens large, lorsque le réajustement de la surface se fait de façon souple et progressive, en formant une dépression topographique, sans rupture cassante importante, ayant une allure de cuvette (**Figure 1**). Généralement, ce type de manifestation ne concerne que les exploitations situées à grande profondeur et qui présentent des extensions horizontales importantes (Piguet et Wojtkowiak, 2001).

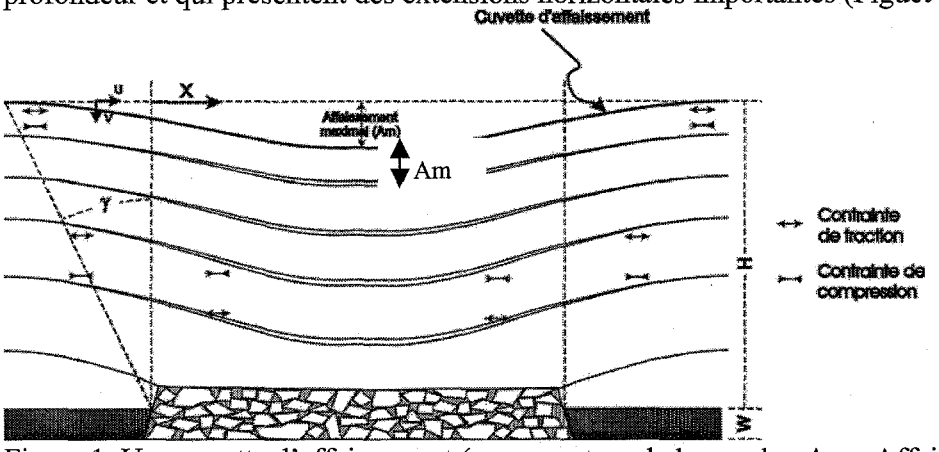


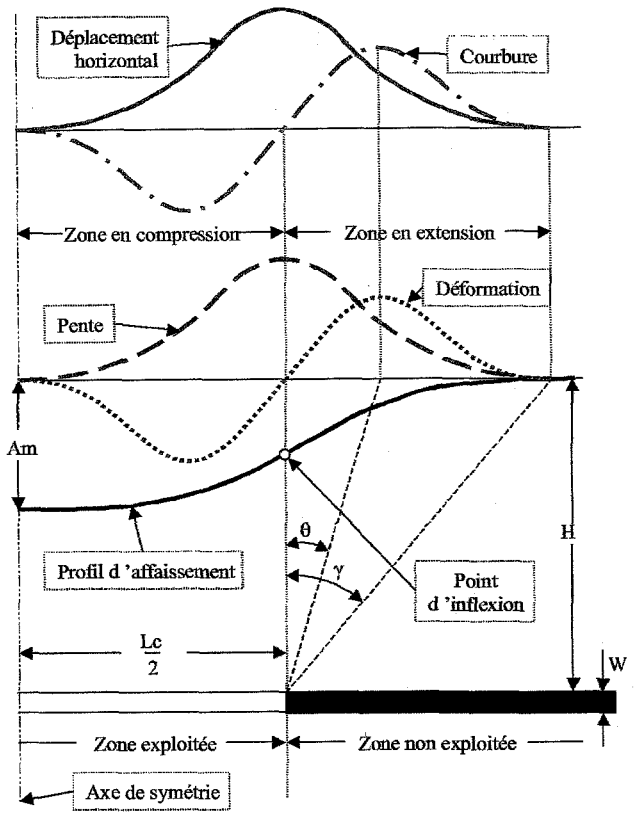
Figure 1. Une cuvette d'affaissement (w : ouverture de la couche, Am : Affaissement maximal)

La déformation subie par les terrains de surface se décompose classiquement en un mouvement vertical des points du sol, appelé **affaissement** (A) proprement dit, et un **mouvement** dans le plan horizontal, appelé **déplacement**. Les effets en surface de l'affaissement se font sentir en dehors de l'aplomb des travaux miniers. L'angle formé avec la verticale et la droite qui relie le bord de la cuvette au bord des travaux miniers s'appelle **l'angle d'influence** (γ). En plus du déplacement vertical, la cuvette d'affaissement peut être caractérisée en chaque point par la pente, de la courbure et des déformations horizontales (compression et extension). La figure 2 présente les profils associés à chaque composante de l'affaissement. Les mesures d'affaissement sont effectuées par nivellement topo-métrique, en revanche les mesures de pente, de déformation horizontale et de courbure, sont plus délicates à réaliser. Des relations empiriques ont été établies par retours d'expérience et à partir de mesures permettant de calculer leur valeur en fonction de l'affaissement mesuré. Les relations suivantes sont souvent proposées :

déformation horizontale maximale $\varepsilon_{max} = \alpha$ Am/H (Am est l'affaissement maximal et H la profondeur de l'exploitation) ;

pente maximale Pmax = β Am/H.

L'affaissement est sensible à la largeur de l'exploitation, on distingue trois configurations correspondant à trois largeurs : largeur sous-critique, critique ou sur-critique. La largeur sous-critique correspond à un affaissement inférieur à l'affaissement maximal au centre de la cuvette, il pourrait être négligeable si le rapport largeur/profondeur est très petit. Pour une largeur critique, l'affaissement maximal est atteint en un seul point du profil d'affaissement au centre de la cuvette pour une exploitation horizontale.



Lc : largeur critique

γ : angle d'influence

w : ouverture de la couche exploitée

Am : affaissement maximal

θ : angle de cassure

Figure 2 : Les différents mouvements de surface engendrés par une exploitation horizontale suivant une coupe transversale

La largeur critique est calculée en fonction de la profondeur et de l'angle d'influence (Lc=2*H*tang γ). Au-delà de cette largeur, on parle de largeur sur-critique pour laquelle on constate dans la partie centrale une zone à fond plat où plusieurs points atteignent la valeur d'affaissement maximal. La dimension critique est fonction de la nature des terrains et de la profondeur. Pour les mines de fer, on considère que la largeur critique est obtenue pour une profondeur égale à la largeur d'exploitation.

2. Méthodes de prévision de l'affaissement

L'estimation des profils d'affaissement et le calcul des paramètres associés reposent le plus souvent sur des méthodes empiriques, malgré les progrès récents des méthodes numériques et méthodes mixtes (Al Heib, 1993 ; Al Heib et al, 2001) fondée sur l'expérience et des nombreuses mesures effectuées dans pour différents contextes miniers.

Calcul de l'affaissement

L'affaissement maximal est estimé selon différentes méthodes NCB (National Coal Board, 1975), Proust (1964), permettant en fonction des dimensions du panneau exploité. La méthode de NCB permet également de tracer les courbes d'iso-affaissement. En ce qui concerne le bassin ferrifère lorrain, Tincelin (Tincelin et al, 1981) considère que l'affaissement total des terrains au-dessus d'une seule couche exploitée par foudroyage (taux de défruitement de 85%) est égal à 0,5 w, w étant l'ouverture de la couche exploitée. Lorsqu'il s'agit de l'exploitation de deux couches superposées, l'affaissement relatif à la deuxième couche exploitée peut atteindre 65% de l'ouverture de cette couche.

Calcul de la pente maximale

Plusieurs relations existent, on considère souvent celle qui relie la pente (P) à la profondeur (H) et l'affaissement maximal (Am) par la relation P=βAm/H. Pour les différentes mines de charbon, la valeur du coefficient β varie entre 1 et 4 (Saxena 1980 ; Kratzsch 1983). En ce qui concerne les mines de charbon françaises, le coefficient β est égal à 2 (HBL, 1983 et Proust, 1964). Pour les mines de fer et d'après les données de l'Ecole des Mines de Paris (Drouard et Templier, 1986), Josien (1998) estime, selon plusieurs hypothèses, que le coefficient β est égal à 4,25 pour les communes de Joeuf et Homécourt.

Déformations horizontales en fonction de la profondeur et de l'affaissement

Il existe également le même type de relation pour le calcul des déformations horizontales. Kratzsch (1983) distingue la déformation en traction de celle en compression. Pour la traction, le coefficient α varie entre 0,5 et 2,2. Pour la compression, il est moins important, et varie entre 0,25 et 0,8. Pour les mines de charbon françaises de Lorraine, le coefficient α est identique pour la Lorraine en compression et en traction, il est égal à 0,75 (HBL, 1982). En revanche pour le bassin houiller du Nord, on retrouve deux valeurs, il est égal à 0,75 dans la zone d'extension et à 2 dans la zone de compression (Proust, 1964). Pour les mines de fer, Josien estime, selon plusieurs hypothèses, que le coefficient α est égal à 1,53 pour les communes de Joeuf et Homécourt (Josien, 1998). La figure 3 présente la valeur des coefficients α et β en fonction des différents rapports largeur/profondeur pour des mines de charbon anglaises (Kratzsch, 1983). On note que les valeurs maximales ne sont pas données pour des largeurs supérieures à largeur critique.

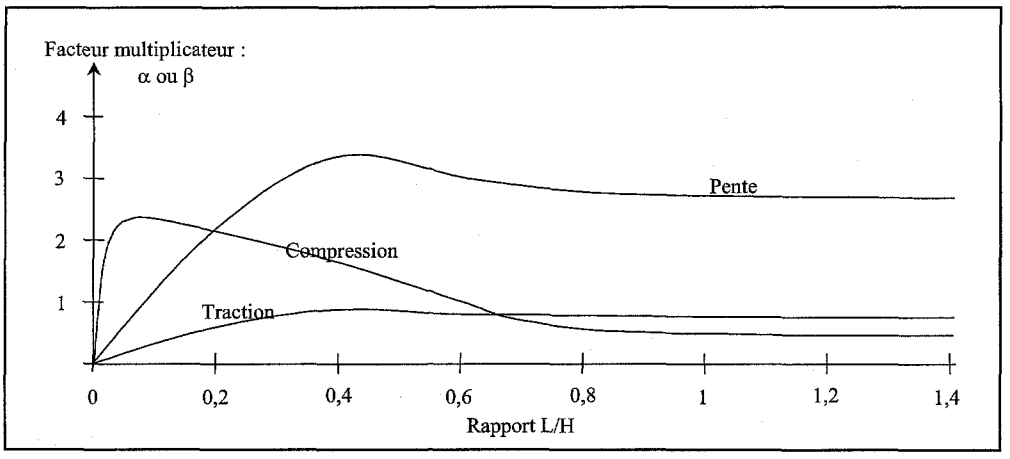


Figure 3 : Estimation des coefficients (α et β) pour l'estimation de la pente et de la déformation (L et H : largeur et profondeur de l'exploitation)

Angle d'influence

L'angle d'influence varie d'une exploitation à l'autre, la pratique courante dans les mines de charbon est de considérer, un angle de 23°dans le houiller et 45° dans les morts-terrains. En Lorraine, on considère un angle d'influence de 35° sans faire de distinction entre le houiller et les morts-terrains, ce qui pratiquement le cas dans la majeure partie des pays miniers. Pour les mines de fer (Tincelin et al, 1981), les angles d'influence atteignent des valeurs comprises entre 15° et 25° pour les exploitations en couche unique.

L'application de ces angles permet de définir les zones au-delà desquelles ne seront observés aucun affaissement ni aucune déformation horizontale.

3. Méthodologie de l'étude

Nous avons séparé les 18 cuvettes d'affaissement en trois groupes selon le type de phénomène à l'origine de la cuvette d'affaissement : dépilage (10 cas) ; effondrement progressif (6 cas) et effondrement brutal (2 cas).

3.1. Origine de données

Les données sont fournies par GEODERIS (cas référencés dans la bibliographie, notamment un rapport de l'Ecole des Mines de Paris (Drouard et Templier, 1968)), et par les exploitants (Lormine et Arbed), et découlent de nivellements de précision aux sommets de bornes.
Dans tous les cas d'effondrement progressif, GEODERIS nous a fourni la cuvette d'affaissement au stade final, le nivellement réalisé après l'effondrement. Afin d'obtenir la cuvette totale de l'affaissement, des mesures de nivellement antérieures à l'effondrement ont été recherchées (mesures de la DDE, réseaux d'assainissement ..).
On note que la profondeur des exploitations étudiés est comprise entre 126 m (Jœuf) et 230 m (Piennes), et que l'ouverture des couches exploitées est comprise entre 2,5 m (Roncourt) et 7 m (Joeuf).

3.2. Détermination des paramètres

A partir des profils d'affaissement (ou des points de mesure), nous avons déterminé l'angle d'influence en mesurant la distance entre la limite de dépilage et le point zéro supposé de l'affaissement (figure 1). Nous avons également calculé la pente maximale de la cuvette d'affaissement entre deux points de mesure voisins. Nous avons admis que la pente et la déformation maximale sont corrélées aux paramètres suivants :
affaissement maximal Am ;
profondeur de la couche exploitée H ;
une constante β : déterminée en fonction de l'environnement de l'exploitation (vierge, dépilage ou traçage) puisque l'expérience a montré que, dans le bassin ferrifère lorrain, le facteur β dépendait également de ces paramètres ;
une constante α. Nous disposons de 4 cas pour lesquels nous connaissons les déformations horizontales mesurées. A partir de ces mesures, nous avons pu déterminer les valeurs du paramètre α reliant les paramètres profondeur et affaissement maximal à la déformation horizontale.
Pour l'exploitation en multicouches, les affaissements ont été mesurés lors du dépilage de la deuxième couche pour laquelle nous avons pu en déterminer l'affaissement maximal. Dans ces cas, le rapport affaissement/ouverture ($\frac{Am}{W\tau}$) a été calculé en tenant compte uniquement de l'ouverture et du taux de défruitement de la couche concernée par les mesures. Au total, il y a 13 cas correspondant à une seule couche exploitée et 5 cas correspondant à des exploitations de deux couches superposées.
Afin d'établir la courbe d'affaissement du bassin ferrifère pour des largeurs sous-critiques (largeur/profondeur < 1), nous avons déterminé des configurations intermédiaires (sous-critiques) de l'exploitation et nous avons déterminé l'affaissement correspondant et la largeur associée.
Pour les cas d'effondrement, nous avons commencé par la détermination de la configuration de l'exploitation (situation géographique, détermination de l'ouverture des couches et de leur profondeur). Dans la plupart des cas, les couches exploitées ne sont plus accessibles, la surface de la zone effondrée a été estimée selon la forme de la cuvette et de l'exploitation. Le manque de données sur la géométrie d'exploitation concernée, nous a amené à considérer avec prudence les angles d'influence calculés pour ces cas d'effondrement progressif. En revanche, le calcul des paramètres de la cuvette d'affaissement (affaissement maximal et pente maximale) a été valide.

La figure 4 présente l'affaissement maximal par rapport à l'ouverture équivalente w' (w x τ) exploitée. On distingue trois groupes. Pour le premier groupe correspondant à une exploitation par dépilage d'une seule couche, Am/w*τ (affaissement/ouverture*taux de défruitement) varie entre 46% et 67%, la valeur moyenne étant de 55 %. Pour le deuxième groupe, exploitation par dépilage en deuxième couche, la valeur moyenne du paramètre Am/w*τ est égale à 78%. La valeur maximale est de 80 % et la valeur minimale de 75 %. En ce qui concerne le troisième groupe, correspondant aux cas d'effondrement, la variation est plus importante, l'affaissement maximal est compris entre 43 et 67%, la valeur moyenne étant égale à 51 %. Ce groupe est très comparable aux cas d'exploitation par dépilage.

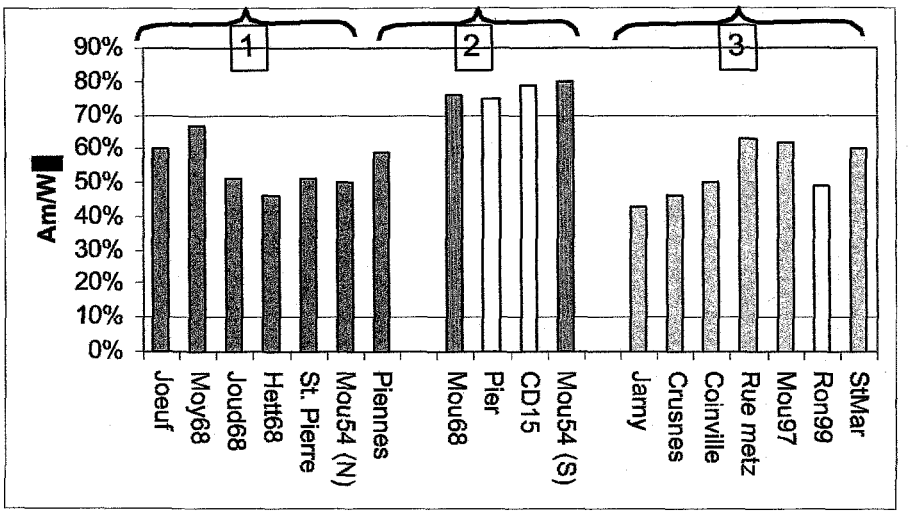


Figure 4 : Rapport de l'affaissement maximal/ouverture*taux de défruitement pour les différents cas analysés (1 : dépilage en 1 couche ; 2 : dépilage en 2 couches ; et 3 : effondrement)

3.3. Affaissement en fonction des dimensions de l'exploitation

Grâce aux configurations sous-critiques, une courbe de l'évolution de l'affaissement en fonction du rapport (largeur/profondeur) a été établie.

Les figures 5 et 6 présentent respectivement les courbes pour les cas monocouche et multicouches. On peut noter, pour une exploitation monocouche, que la courbe de l'affaissement démarre pour une largeur égale ou supérieure à 0,4 H. En revanche, pour une exploitation multicouche (deux), elle commence à 0,2 H. La largeur critique, pour les deux configurations, est observée pour un rapport largeur/profondeur égal à 1. Ce résultat est conforme à celui calculé à partir d'un angle d'influence de 25° (Lc=2*tag γ*H). Nous rappelons que Tincelin considère que cet angle varie entre 15° et 25°.

Nous avons présenté sur la figure 5 les cas d'effondrement projetés sur le plan ((A/τ*w) et (L/H)) de cas de dépilage d'une seule couche. On constate que les valeurs d'affaissement des cas d'effondrement (progressif ou brutal) ne sont pas différentes de celles des cas d'exploitation par dépilage.

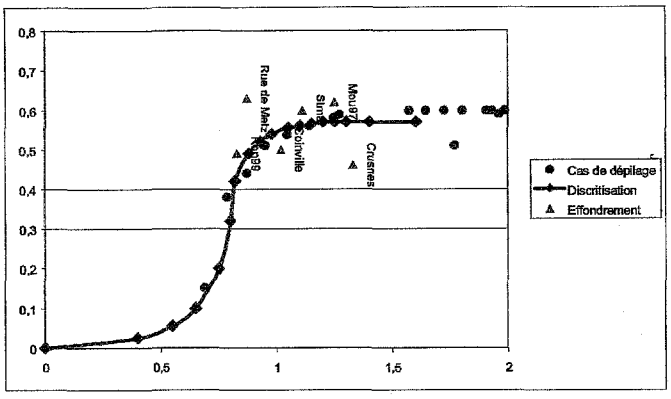


Figure 5 : Cas de dépilage en première couche et d'effondrement

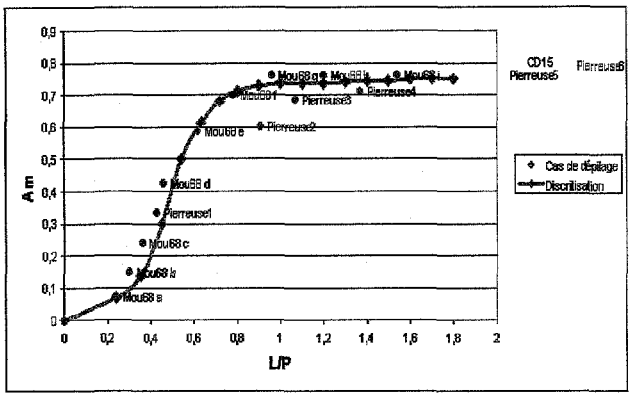


Figure 6 : cas de dépilage en deuxième couche

3.4. Angle d'influence

L'angle d'influence a été déterminé à partir du bord de l'exploitation jusqu'à une valeur d'affaissement très faible (< 1 cm) considérée comme nulle, compte tenu de la précision des mesures topo-métriques. Le tableau 1 présente les valeurs des angles d'influence suivant trois configurations :

	Vierge ou Bord ferme	Traçage	Dépilage
Moyenne	6°	16°	30°
Valeur extrême	[0°-10°]	[6°-29°]	[23°-40°]

Tableau 1 : Angles d'influence dans le bassin ferrifère lorrain

On a distingué trois situations :

cas d'exploitation ou d'effondrement qui sont bordés par une zone vierge (**V**) ou un bande ferme (pilier suffisamment large). On dénombre quatre cas : l'angle varie entre 0 et 10° avec une valeur moyenne égale à 6°;

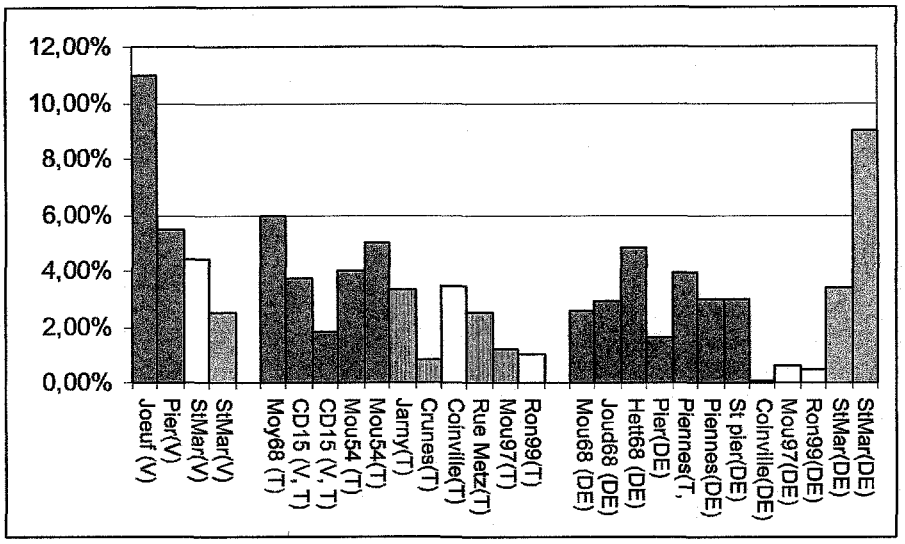
cas où l'exploitation (ou l'effondrement) est bordé par une zone de traçage (**T**). On dispose de cinq cas. L'angle d'influence varie entre 6 et 29°. Les angles d'influence augmentent avec le taux de défruitement des zones environnantes. La valeur moyenne est de 16° ;

cas où l'exploitation est bordée par un dépilage sur une surface très importante (**DE**). L'angle d'influence est compris entre 23 et 40°, à l'exception du cas de Roncourt pour lequel l'angle est supérieur à 45°. L'angle moyen est de 30°. Les angles importants s'expliquent par la reprise d'affaissement des zones de dépilage sous-critiques.

Rappelons que l'angle d'influence proposé par Tincelin (Tincelin, 1981 ; Drouard et Templier, 1968) est compris entre 15° à 20°.

3.5. *Pente maximale et paramètre β*

Pour chaque cas on dispose de plusieurs valeurs de la pente maximale selon que l'on se place près d'un dépilage, d'une zone vierge ou d'une zone tracée. Au total, nous avons 27 valeurs de pente maximale pour 17 cas. La figure 8 présente les valeurs de la pente maximale pour tous les cas étudiés. On constate une grande variation de la valeur de la pente maximale : 11% pour le cas de dépilage de Joeuf, et 0,1% pour l'effondrement de Coinville (figure 8). Pour comparer les cas entre eux, nous avons calculé le coefficient β pour les 27 valeurs de pente maximale : il varie entre 0,36 et 7,1.



V : Vierge ; T : Traçage ; DE : Dépilage
Figure 8 : Pente maximale pour tous les cas étudiés

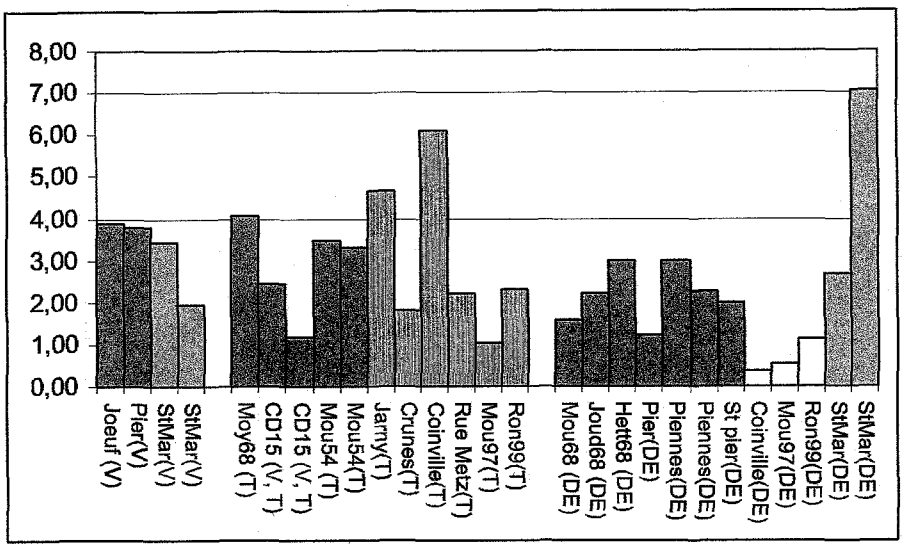
Nous avons séparé les cas en trois groupes selon la configuration des bordures de la zone étudiée : vierge (**V**), traçage (**T**) et dépilage (**DE**). Nous avons également distingué les cas d'effondrement des cas de dépilage. La figure 9 présente l'histogramme des différents cas. Le tableau 8 présente les valeurs moyennes et les intervalles pour les trois groupes.
On constate que d'une manière générale les zones vierges ou tracées correspondent à des valeurs de β plus importantes que celles des zones dépilées.
La moyenne des valeurs de β, sans tenir compte du cas de l'effondrement brutal de Ste-Marie est égale à 1,45 au lieu de 2,84. Cette conclusion est donc valable à l'exception du cas d'effondrement brutal où il dépasse largement la valeur moyenne précédente.

3.6. *Déformation horizontale et paramètre α*

En ce qui concerne les mesures de déformation horizontale, nous disposons dans le cas de dépilage, le paramètre α variant entre 0,75 et 1,5. La valeur moyenne est égale à 1,06.

	Borde ferme ou Vierge	Traçage	Dépilage
Cas de dépilage	3,85 [3,8 à 3,9]	2,88 [1,2 à 4,05]	2,18 [1,2 à 3]
Cas d'effondrement	2,7 [2 à 3,4]	3,05 [1,1 à 6]	2,84* [0,36 à 7,1]

Tableau 5 : Valeurs moyennes et intervalles de variation du coefficient β



V : Vierge ; T : Traçage ; DE : Dépilage

Figure 9 : Évolution de la valeur du paramètre β pour les trois modes concernés

4. Conclusions

Les analyses réalisées sur les différentes cuvettes d'affaissement suffisamment renseignées ont permis les recommandations pratiques suivantes pour la prévision de l'affaissement et de ses caractéristiques dans le bassin ferrifère lorrain :

l'affaissement maximal pour une zone critique ou sur-critique et pour une seule couche exploitée est de 0,5 (w*τ), w étant l'ouverture de la couche exploitée et τ le taux de défruitement ;

l'affaissement maximal pour une zone critique ou sur-critique, et pour plusieurs couches exploitées superposées, est égal 0,75 (W*τ) pour une seule couche effondrée (dépilée). Pour plusieurs couches qui risquent de s'effondrer ensemble, l'affaissement maximal pourrait être estimé à partir de la somme des affaissements induits par chaque couche séparément ;

les courbes de (A/τ*w) permettent d'estimer l'affaissement pour des largeurs sous-critiques ;

l'angle d'influence prend trois valeurs :

pour un bord vierge ou faiblement tracé, l'angle d'influence est de **10°** ;

pour un bord avec un traçage ou une exploitation par chambres et piliers abandonnés, l'angle d'influence est de **20°** ;

pour des zones bordées par des dépilages, l'angle d'influence est de **35°.**

La valeur du coefficient (β) de la pente maximale (**Pmax**). Pour une zone de traçage ou une zone vierge, β est égale à 5. Pour une zone à proximité d'une zone dépilée, il est égal à 3. Pour la prévision, les valeurs considérées sont les bornes supérieures de ce qui a été observé pour se placer du côté de la sécurité ;

le coefficient (α) de déformation horizontale, peut être pris égal à 1,5.

Les deux coefficients α et β ont pratiquement une valeur double de celles utilisées dans le cadre des mines de charbon françaises puisqu'elles sont respectivement égales à 2,75 pour le paramètre β et 0,75 pour le paramètre α.

L'effondrement d'une zone hiérarchisée, largement sur-critique pourrait démarrer de manière aléatoire avant de concerner la totalité de la surface de la zone hiérarchisée. Donc chaque point de la zone pourrait subir les valeurs maximales de l'affaissement.

On propose donc l'application de cette méthodologie aux zones hiérarchisées de la manière suivante :

- on considère, pour une zone largement sur-critique pour laquelle le rapport largeur/profondeur est supérieur à 1,5, que tous les points peuvent subir la valeur maximales de l'affaissement, de pente et de déformation. Pour la pente, on pourra prendre β=5 en bordure de traçage ;
- pour une surface sous-critique, il est nécessaire de procéder à une correction de la valeur de l'affaissement de la pente et de la déformation maximale en fonction de la géométrie de la zone. Seuls les bâtiments placés en bordure de la zone hiérarchisée subissent les effets de pente et de déformation maximum. Le coefficient β sera choisi en fonction de l'environnement immédiat de la zone (vierge, traçage, dépilage).

5. Bibliographie

Al Heib M. 1993 : Les nouvelles méthodes de modélisation numériques et le volume d'influence des exploitations minières en conditions complexes ; Thèse de l'INPL 338 p ;

Al Heib M., Linkov A.M., Zoubkov V.V. 2001 : On numerical modeling of subsidence induced by mining. Proceedings of the ISRM Regional Symposium EUROCK 2001. Espoo/FINLAND. 4-7 June 2001 pp. 795-799

Aissaoui K. 1999 : Amélioration de la prévision des affaissements dans les mines à l'aide des approches empiriques, numériques et analytiques Thèse INPL, Ecole des Mines de Nancy, 242 p.

Arcamone J. (1980) : Méthodologie d'étude des affaissements miniers en exploitation totale ou partielle. Thèse Docteur-Ingénieur, INPL – Ecole des Mines de Nancy.

Drouard J., Templier A. Septembre 1968, Affaissements de surface - Déformation des terrains. Rapport de fin d'étude de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, Centre d'étude de Mécanique des Roches ; 40 p.

Josien, 1998 : Conséquences prévisibles d'affaissements sur le tissu bâti des communes de Homécourt et Jouef. Réf. INERIS-DNO-Sko/CG/CS-98-26MA46/R02 (rapport non public).

Kratzsch H. (1983) : Mining Subsidence Engineering, Springer-Verlag.

NCB (1975) : Subsidence engineer's Hand book. National Coal Board, London 111p.

Houillères du Bassin de Lorraine, 1983 : Affaissements miniers. 84 P, document interne.

Piguet J.P. et Wojtkowiak F. 2001 : Affaissements et déformations au-dessus des exploitations minières : Mécaniques et évolution dans le temps. Mines et Carrières -Industrie Minérale, juin 2001.

Proust A. (1964) : Etude sur les affaissements miniers dans le bassin du Nord et du Pas-de Calais. Revue de l'Industrie Minérale, Juin-Juillet 1964, 46 n° 6 et 7, 68.

Saxena N.C., Singh B. 1980 : Investigation into the safty of the railway line against ground movement due to extraction of thick seams in idea, in proceeding of Symposium on Rock mechanics, université du Missouri. Pp 345-355.

Tincelin E. R.Daniau, Sinou P. Leonet D. De Winter D. 1981 : Prévision des effondrements de surface à partir des mesures en souterrain. Revue Française de Géotechnique. N°14 BIS.

Tincelin E. Leonet D. De Winter D. 1981 : Dimensionnement des exploitations souterraines et stabilité de la surface. Revue Française de Géotechnique. N°14 BIS.

Wagner and shcümann (1991) : Surafce effects of total coal seam extraction by underground mining methods. J.S.Af . Inst. Main. Metall. Vol. 91 N.7, Juillet 1991 pp. 221-231.

GEODERIS, 2002 : Modification des zones d'aléa minier suite aux effondrements d'octobre et novembre 1996. Auboué (54), Réf GEODERIS R-2002/003.