

ETUDE DE LA VULNERABILITE DU BATI SOUMIS AUX CONSEQUENCES DES AFFAISSEMENTS MINIERES

DECK Olivier¹, AL HEIB Marwan², HOMAND Françoise³

¹Laboratoire Environnement Géomécanique et Ouvrages (LAEGO -INPL-ENERIS), Ecole des Mines de Nancy, Parc Saurupt, 54042 Nancy Cedex, www.laego.org, deck@mines.u-nancy.fr.

²Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (LAEGO -INPL-ENERIS), Ecole des Mines de Nancy, Parc Saurupt, 54042 Nancy Cedex, www.laego.org, heib@mines.u-nancy.fr.

³Laboratoire Environnement Géomécanique et Ouvrages (LAEGO -INPL-ENERIS), Ecole de Géologie, Rue du doyen Marcel Roubault, BP 40, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy, www.laego.org, homand@ensg.inpl-nancy.fr.

RESUME : Les récents affaissements miniers qui se sont produits à la fin des années 90 dans le bassin ferrifère lorrain ont été à l'origine d'importantes dégradations du bâti. L'existence d'ouvrages miniers abandonnés en grande quantité nécessite d'élaborer des méthodes permettant d'évaluer la vulnérabilité des enjeux. A partir des travaux déjà réalisés dans ce domaine, ainsi que d'une analyse de données sur les dégradations observées dans le bassin ferrifère lorrain, une nouvelle approche est proposée. Cette approche s'inspire des méthodes employées dans le domaine sismique pour aboutir à une prise en compte de l'intensité du phénomène et de la diversité des constructions de manière plus pertinente et précise.

MOTS-CLEFS : vulnérabilité, structures, affaissements miniers, séismes, dégradations.

ABSTRACT : Recent mining subsidences that took place at the end of the 1990s in the iron-ore field cause building damage and put the emphasis on some problems. In particular, is it possible to estimate building vulnerability which is located on ground which may subside? Previous works in this domain, in addition with an own statistical study performed on observations collected in the iron-ore field, a new methods is offered. This is inspired by well-known seismic methods in order to increase its accuracy and pertinence.

KEY-WORDS : vulnerability, building, mining subsidence, seism, damage.

1. Introduction

1.1. Contexte de l'étude

Entre 1996 et 1999, cinq affaissements miniers se sont produits dans le bassin ferrifère lorrain, qui ont été à l'origine de nombreuses conséquences matérielles et sociales. Trois communes ont été affectées : Auboué, Moutiers et Roncourt. Un grand nombre de mines de fer en Lorraine, y compris celles à l'origine de ces récents affaissements, est situé à moins de 200 m de profondeur et a été exploité par la méthode des chambres et piliers abandonnés. Il en résulte l'existence aujourd'hui d'environ 2000 ha de zones urbanisées sous minées (Petit, 2000) et dont le risque qu'elles représentent doit être hiérarchisé. La Figure 1 schématise le phénomène d'affaissement induit par une rupture généralisée de l'exploitation souterraine qui génère à la surface des terrains des mouvements verticaux et horizontaux différentiels. Ces derniers sont traditionnellement décomposés en quatre composantes : l'affaissement vertical, la pente de l'affaissement, la courbure

et la déformation horizontale. La Figure 1 montre les profils théoriques des différentes composantes des mouvements de la surface d'une cuvette d'affaissement.

L'objectif de cette étude est de contribuer à l'élaboration d'une méthode simple et opérationnelle d'évaluation de la vulnérabilité des constructions soumises à l'aléa "affaissement minier".

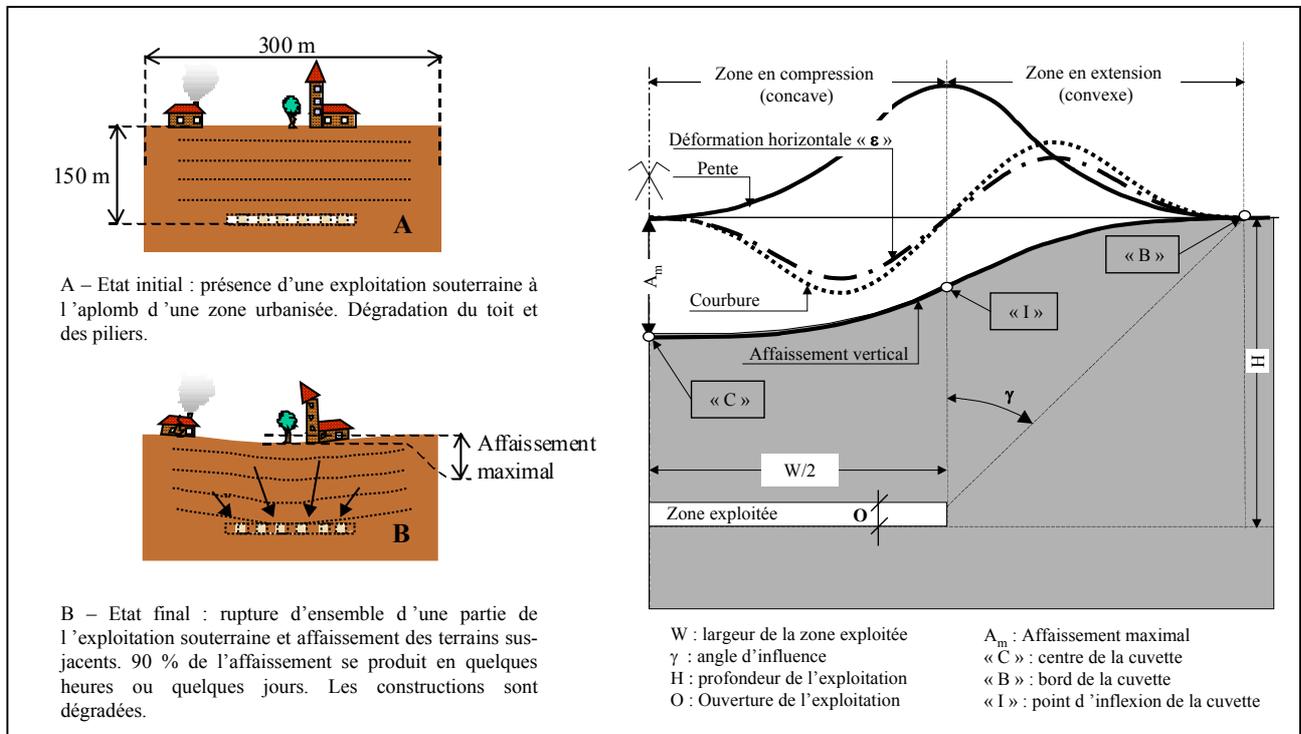


Figure 1: Présentation du phénomène d'affaissement minier et description des profils de variation des mouvements des terrains à la surface.

1.2. Vocabulaire

Le vocabulaire employé dans le domaine du risque est soumis à discussion. Aucune terminologie ne fait encore l'unanimité. Il est donc nécessaire de préciser le sens de chaque terme retenu.

Un *aléa* est un phénomène redouté de probabilité d'occurrence et d'intensité données. Dans le cas des affaissements miniers, la probabilité d'occurrence du phénomène est difficile à estimer, "on recourra alors à une approche qui s'appuiera sur l'évaluation de la prédisposition du site au type de phénomène concerné" (Guide PPRN, 1997).

Un *enjeu* est un élément (personne, bien, activité, patrimoine...) exposé à un aléa. Un enjeu peut être caractérisé par sa valeur qui dépend de son importance économique, politique, sociale, symbolique... et donc du niveau des dommages acceptables si le phénomène se produit.

Les *dégradations* sont les effets directs, prévus ou mesurés, d'un phénomène sur un ou plusieurs enjeux (conséquences matérielles sur les constructions et les personnes).

Les *dommages* sont une mesure des effets directs et indirects d'un phénomène sur un ou plusieurs enjeux, c'est-à-dire les dégradations et leurs conséquences économiques, sociales, politiques, environnementales...

La *vulnérabilité* d'un enjeu est une prévision de ses dommages pour différentes intensités du phénomène. La vulnérabilité dépend donc de la valeur de l'enjeu considéré.

Le *Risque* est une évaluation des dommages prévisibles d'un aléa.

L'ensemble de ces définitions, appliqué aux affaissements miniers peut alors être synthétisé sous la forme suivante :

Aléa "affaissement minier" = prédisposition du site à être affecté par un affaissement minier \times intensité de l'affaissement

Risque = aléa \times vulnérabilité des enjeux

2. Etat des connaissances en matière de prévision des dégradations

2.1. Prévision des dégradations vis-à-vis du phénomène "affaissement minier"

2.1.1 Présentation

Les méthodes permettant de prévoir l'importance des dégradations du bâti sont nombreuses, mais diffèrent selon leur organisation autour de trois facteurs principaux.

- Le premier facteur est la caractérisation de la structure (typologie, dimensions, évaluation de sa résistance aux affaissements miniers) et aboutit à la définition d'une échelle de résistance des structures.
- Le second facteur est la caractérisation de grandeurs représentatives de l'affaissement minier (la déformation horizontale, la pente, la courbure...) et aboutit à une échelle d'intensité de la sollicitation.
- Le troisième est une échelle de niveaux de dégradations que chaque méthode s'attache à relier aux deux autres facteurs.

Les méthodes les plus complètes sont celles qui abordent simultanément ces trois facteurs en définissant différents niveaux de résistance, de sollicitation et de dégradation. Par ordre croissant de complexité, les différentes méthodes répertoriées sont les suivantes :

- les méthode des seuils qui consistent à faire correspondre un type de structure à une valeur seuil d'un mouvement du terrain et à un niveau de dégradation (Triplett et al. 1992, Geddes 1984...);
- les abaques qui consistent à définir des zones de même dégradation dans des abaques à deux axes (NCB 1975, Boscardin et Cording 1989...);
- les méthodes élaborées qui utilisent une caractérisation des structures au moyen d'un nombre important de paramètres ou qui prennent en compte l'ensemble des trois facteurs listés (Kwiatek 1998, Bhattacharya et Singh 1984...).

Le tableau 1 les récapitulent. A ces méthodes doivent être rajoutées les différentes échelles de dégradations utilisées par ces méthodes ou simplement élaborées pour les affaissements miniers. Sept échelles ont été dénombrées (Deck 2002), comportant de 2 à 7 niveaux de dégradation.

tableau 1 : synthèse des méthodes existantes pour l'évaluation des dégradation d'une structure.

Type	Références et caractéristiques	Commentaires
Seuil	32 références aboutissant à 470 seuils 110 seuils concernant la pente ou l'inclinaison 200 seuils concernant la courbure et ses dérivées 60 seuils concernant la déformation horizontale 100 seuils concernant les tassements verticaux	Simplicité d'utilisation. Généralement, faible pertinence du fait de leur simplicité. cependant.
Abaques	NCB (1975) 5 zones d'iso-dégradations fonctions de la longueur du bâti et de la déformation horizontale du terrain	Abaque élaboré à partir d'observations. Précision très faible pour des structures de petite longueur (maison individuelles). Faible pertinence de la caractérisation des structures par leur seule longueur
	Boscardin et Cording (1989) 5 zones d'iso-dégradations fonctions de l'angle de distorsion du bâti et de la déformation horizontale du terrain.	Abaque théorique, basé sur des hypothèses rarement vérifiées.
	Wagner et Shümann (1991) 5 zones d'iso-dégradations fonctions de la pente du terrain et de la déformation horizontale du terrain.	Abaque présentant un couplage entre deux mouvements du terrain. Aucune caractérisation du bâti.
Méthodes élaborées	Bhattacharya et Singh (1984) 4 types de structures 3 types de dégradations caractérisation des mouvements par la déformation horizontale et par la courbure ou ses dérivées	L'ensemble des combinaisons possibles (type de structure - type de dégradation - seuil du mouvement) n'est pas renseigné.
	Yu et al. (1988) 4 types de structures définis à partir de 4 paramètres 3 types de dégradations caractérisation des mouvements par la déformation horizontale, la pente et par la courbure ou ses dérivées	Méthode de type pondérale. L'ensemble des combinaisons possibles (type de structure - type de dégradation - seuil du mouvement) n'est pas renseigné.
	Kwiatek (1998) 5 types de structures définis à partir de 14 paramètres 1 type de dégradations caractérisation des mouvements par la déformation horizontale	Méthode de type pondérale de très grande précision, sans indication de niveau de dégradation.
	Kwiatek (1998) 6 types de structures définis à partir de 13 paramètres 1 type de dégradations caractérisation des mouvements par la déformation horizontale	Méthode de très grande précision mais qui n'est pas pondérale, sans indication de niveau de dégradation.
	Dzegniuk et Hejmanowski (2000) 5 types de structures définis à partir de 7 paramètres 1 type de dégradations caractérisation des mouvements par la déformation horizontale, la pente et par la courbure	Méthode de type pondérale prenant en considération différentes caractéristiques des mouvements, sans indication de niveau de dégradation.

2.1.2 Synthèse des méthodes

La synthèse de ces méthodes peut être réalisée selon plusieurs aspects :

- paramètres pris en compte pour caractériser le bâti (Figure 2) ;
- paramètres pris en compte pour caractériser l'intensité du phénomène (Figure 2);
- paramètres pris en compte pour caractériser les niveaux des dégradations.

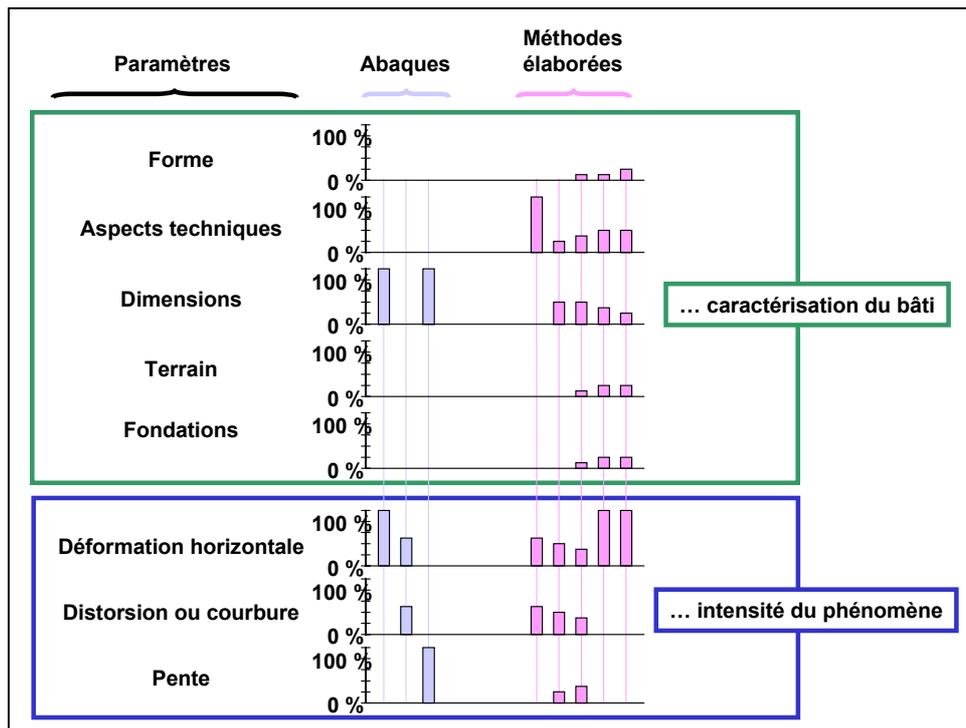


Figure 2 : synthèse des paramètres pris en compte pour caractériser le bâti et/ou l'intensité du phénomène.

Les conclusions à tirer de cette synthèse sont les suivantes :

- L'ensemble des méthodes proposées utilisent une caractérisation objective des structures par la nature de leurs matériaux, leurs dimensions, leurs éléments porteurs... Aucune de ces caractéristiques ne semble réellement adéquate pour réaliser un typologie des structures adaptée au phénomène d'affaissement minier.
- La déformation horizontale est une grandeur caractéristique de la sollicitation presque unanimement reconnue. Cependant la pente, la courbure, la distorsion sont également considérées.
- Les échelles de niveau de dégradations contiennent de 1 à 6 niveaux, dont la définition n'est pas toujours très bien explicitée.

Il existe donc un intérêt majeur à confronter ces méthodes à d'autres résultats : résultats issus d'observations, comme c'est le cas dans le bassin ferrifère lorrain, ou bien résultats issus de l'expérience comme c'est le cas des méthodes de prévision des dégradations issues du domaine sismique.

2.2. Prévision des dégradations vis-à-vis du phénomène "séisme"

La vulnérabilité des bâtiments vis-à-vis des phénomènes sismiques a fait l'objet d'un nombre important d'études et de recommandations, qui s'explique probablement par l'étendue des zones exposées et par la quantité des enjeux menacés. Des méthodes de prévision des dégradations des constructions, dans une optique de prévention des risques, ont été élaborées. Bien que les phénomènes sismiques sont très différents des phénomènes d'affaissements minier, ces méthodes développées permettent d'enrichir les recherches visant le développement d'une méthode adaptée aux phénomènes d'affaissements miniers.

Un principe méthodologique très répandu (Spence et al. 1992, Hazus 1997, EMS 98) est de chercher à construire des classes de vulnérabilité représentatives de l'ensemble des constructions

possibles. Chaque classe est associée à une courbe de vulnérabilité qui permet d'évaluer la proportion des constructions de cette classe ayant atteint chacun des différents niveaux de dégradation en fonction de l'intensité de la sollicitation. Nous présentons davantage le cas de l'EMS-98 afin d'insister sur deux aspects de ces méthodes particulièrement intéressants.

- Premièrement, la définition des classes de vulnérabilité ne repose pas sur une classification objective du bâti selon la nature des matériaux ou des éléments porteurs. Au contraire, des structures apparemment semblables peuvent être affectées à différentes classes selon des critères davantage subjectifs (Figure 3). L'EMS-98 distingue 15 types de structures, regroupés en 6 classes de vulnérabilité.
- Deuxièmement, la prévision des dégradations n'est pas envisagée comme une relation unique entre une intensité de la sollicitation et une dégradation, mais comme une répartition des dégradations des ouvrages de même classe de vulnérabilité parmi les différentes dégradations possibles (tableau 2). L'EMS-98 distingue 5 niveaux de dégradations et ne prend en compte qu'un seul paramètre discret et borné pour caractériser la sollicitation, l'intensité variant de 1 à 12.

Type de structure	Classe de vulnérabilité						
	A	B	C	D	E	F	
MACONNERIE	Moellons Pierres brutes	○					
	Adobe (briques de terre)	○	•••				
	Pierres	†	••	○			
	Pierres taillées		†	••	○	••	†
	Briques ou blocs de béton non armés et sans chaînage	†	••	○	••	†	
	Briques non armées avec plancher béton armé		†	••	○		
	Briques armées ou avec chaînages (maçonnerie confinée)			†	••	○	••
BETON ARME	B.A sans disposition parasismique	†	••	○	†		
	B.A avec un niveau minimum de dispositions parasismiques		†	••	○		
	B.A avec un niveau moyen de dispositions parasismiques			†	••	○	
	B.A avec un haut niveau de dispositions parasismiques					†	○
BOIS			†	••	○	†	

○ Classe de vulnérabilité très vraisemblable
 — Etendue probable
 ••• Etendue la moins probable - cas exceptionnels

Figure 3 : affectation des différents types de structures à une classe de vulnérabilité (EMS 98).

Un point essentiel de la méthode d'évaluation des dégradations du bâti est donc de prendre en compte l'incertitude, tant sur la typologie du bâti (un type peut appartenir à différentes classes de vulnérabilité) que sur la prévision des dégradations pour une classe de vulnérabilité. Notons, par ailleurs, que le terme "vulnérabilité" employé n'intègre pas la notion d'enjeux comme nous l'avons défini.

tableau 2: Prédiction de la répartition des dégradations en fonction de la classe de vulnérabilité du bâti et de l'intensité du séisme selon l'EMS-98 (pour les classes de vulnérabilités A, B et C).

Intensité du séisme	Classe de vulnérabilité						D, E et F
	A		B		C		
	niveau	quantité	niveau	quantité	niveau	quantité	
V	1	quelques	1	quelques			Non représentées ici, Cf. EMS 98
VI	1	quelques	1	quelques	1	quelques	
	2	beaucoup	2	beaucoup			
VII	3	quelques	2	beaucoup	2	quelques	
	4	beaucoup	3	quelques			
VIII	4	quelques	3	beaucoup	2	beaucoup	
	5	beaucoup	4	quelques			
IX	5	beaucoup	4	quelques	3	beaucoup	
			5	beaucoup			
X	5	la plupart	5	beaucoup	4	quelques	
			5	beaucoup			
XI	5	la plupart	5	la plupart	4	quelques	
							5
XII	5	tous	5	tous	5	presque tous	

Quantités : quelques = 0 à 20 % ; beaucoup = 20 à 60 % ; la plupart = 60 à 100 %

Niveau des dégradations : 1 = légères ou négligeables ; 2 = modérées ; 3 = substantielles à importantes ; 4 = très importantes ; 5 = destruction

Un axe de recherche intéressant est d'étudier dans quelle mesure une telle démarche peut être adoptée vis-à-vis des phénomènes d'affaissements miniers. Certains résultats d'une analyse de données réalisée sur les récents affaissements miniers lorrains y contribuent.

3. Analyse des données issues des récents affaissements miniers du bassin ferrifère lorrain

Une analyse de données a été réalisée à partir des informations recueillies sur les constructions dégradées du bassin ferrifère lorrain. Elle permet de mettre en évidence des variables particulièrement pertinentes pour la prévision des dégradations d'une structure. L'objectif est de rechercher dans ces résultats des éléments permettant la définition de classes et de courbes de vulnérabilités, comme précédemment définies vis-à-vis des phénomènes sismiques. Nous rappelons les principaux éléments et résultats (Deck et al, 2002).

3.1. Présentation des affaissements miniers lorrains

Au cours des années 1996 à 1999, cinq affaissements miniers se sont produits dans le bassin ferrifère lorrain : rue de Metz à Auboué (1996), cité Coinville à Auboué (1996), Moutiers-Haut (1997), Moutiers "cuvette du stade" (1997) et Roncourt (1999). Pour chacun d'entre eux, il existe un plan de la cuvette d'affaissement superposé au plan cadastral comme le montre l'exemple de la cuvette de Moutiers-Haut représentée sur la Figure 6. Le plan de chacune des cuvettes a pu être obtenu grâce à des mesures de nivellement et grâce à un travail de retro-analyse réalisé par des experts.

3.2. Présentation de la base de données

La base de données est constituée de plus de 400 individus correspondants à chaque ouvrage dégradé dans une des cinq cuvettes d'affaissements présentées. L'information nécessaire à l'élaboration de la base de données provient de deux sources. La première correspond aux plans des cuvettes

d'affaissement qui permettent d'attribuer à chaque structure une valeur des mouvements de terrain l'affectant, ainsi que des grandeurs caractérisant la position de chaque ouvrage par rapport aux dimensions globales de la cuvette. La seconde source correspond aux rapports d'expertise rédigés consécutivement aux affaissements et qui permettent de caractériser chaque construction ainsi que leur dégradation. Il n'a pas été possible de retrouver des informations précises sur l'aspect structurel même des habitations (type de fondation, rigidité, nature précise des différents matériaux mis en œuvre dans l'ouvrage...). Cependant, on peut dire que la quasi-totalité des structures concernées sont en maçonnerie. Les variables caractérisant chaque individu sont les suivantes :

- CLA qui caractérise la dégradation de chaque structure (3 classes considérées).
- ADEF, PENTE et COURB qui sont, respectivement, une estimation de la déformation horizontale, de la pente et de la courbure du terrain au niveau de chaque structure.
- DIS qui est une estimation de l'angle de distorsion de chaque structure.
- L qui est la longueur de chaque structure.
- LIEU qui est une indication de la position relative de chaque structure par rapport au point d'inflexion de la cuvette (valeur nulle au point d'inflexion et valeur unitaire au bord ou au centre de la cuvette).
- FORM qui est une indication de complexité géométrique et de l'hétérogénéité structurelle apparente de la structure.
- NIV qui est le nombre d'étage de la structure
- SS qui évalue la profondeur du sous-sol de chaque structure.
- P/A qui caractérise l'inclinaison des directions principales de chaque structure par rapport à la direction de plus grande pente.
- SOLP qui caractérise la topographie initiale du terrain au niveau de chaque structure.
- ZONE qui caractérise la zone (extension ou compression) dans laquelle se situe chaque structure.

3.3. Présentation des résultats

L'étude de la base de données a consisté à comparer les résultats de différentes analyses effectuées séparément sur chacune des cuvettes. Des analyses simples (projections des individus, étude des corrélations) puis des analyses plus approfondies (analyses en composantes principales, analyses factorielles discriminantes, segmentation) ont permis de faire ressortir l'importance de certaines variables.

Afin d'illustrer les principales conclusions, certains résultats de la cuvette de Moutiers Haut sont reproduits sur la Figure 5 (analyse factorielle discriminante où tous les individus sont utilisés pour rechercher deux axes discriminants optimaux définis par combinaison linéaire des variables initiales) et la Figure 4 (projection des individus sur un plan défini par deux variables initiales).

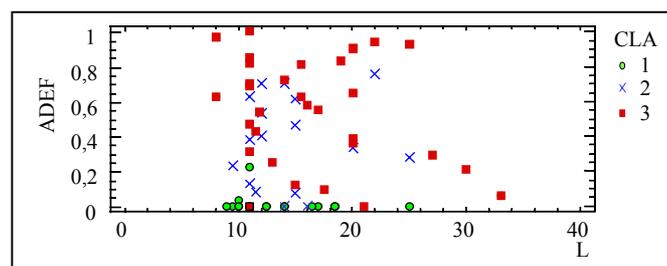


Figure 4 : projections simple des individus de la cuvette de Moutiers-Haut.

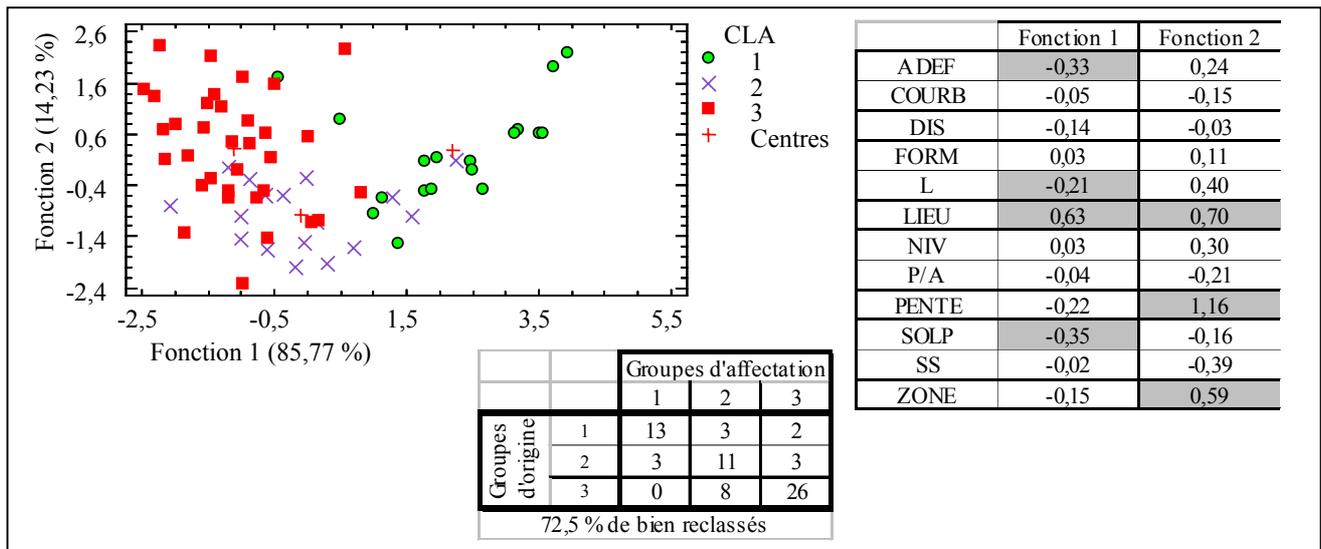


Figure 5 : résultats de l'analyse factorielles discriminantes des données de la cuvette de Moutiers-Haut.

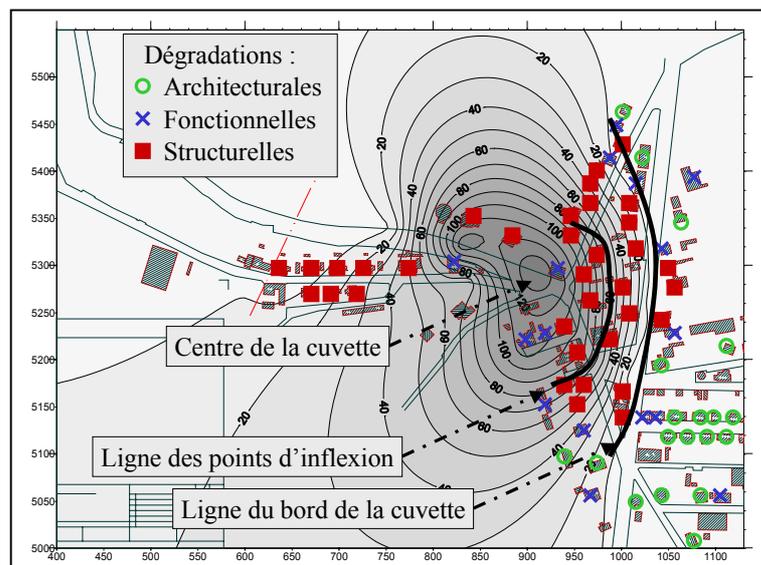


Figure 6 : localisation des dégradations dans la cuvette de Moutiers-Haut.

Parmi les conclusions obtenues, nous souhaitons insister sur celles-ci :

- La définition et l'utilisation d'une échelle de dégradations comportant 3 niveaux (architecturale, fonctionnelle, structurelle) nous semble optimale compte tenu de la difficulté pratique à définir une distinction nette et pertinente entre les niveaux.
- Il est possible de discriminer les structures selon leur dégradation à partir des variables les caractérisant et malgré l'absence de variables caractéristiques des aspects techniques des constructions. La majorité des corrélations observées sont cohérentes avec les méthodes préexistantes.
- Une nouvelle variable "LIEU" a été mise en évidence, qui est statistiquement plus pertinente que la déformation horizontale, la pente ou la courbure du terrain pour caractériser l'intensité du phénomène "affaissement minier". Son intérêt est essentiel puisqu'elle est plus simple d'utilisation tout en conservant une signification théorique : plus les ouvrages sont proches du point d'inflexion, plus ils subissent une inclinaison importante et plus ils sont susceptibles de subir ou d'avoir subi une déformation horizontale maximale voir une inversion du sens de cette

sollicitation dans le cas d'une cuvette ayant évolué au cours de sa formation. La Figure 6 illustre ces propos sur la cuvette de Moutiers-Haut.

4. Propositions pour une meilleure caractérisation de la vulnérabilité du bâti.

Les propositions qui suivent cherchent à englober les connaissances actuelles et reconnues sur les phénomènes d'affaissements miniers et à formaliser des pistes de recherche qui nécessitent encore un travail important avant d'aboutir. Ces propositions ont pour objectif d'essayer d'appliquer la méthodologie issue du domaine sismique aux phénomènes d'affaissements miniers. Il nous faut pour cela définir des classes de vulnérabilité (semblables à la Figure 3), des courbes de vulnérabilité (semblables au tableau 2) et une variable caractéristique de l'intensité du phénomène. Les Figures 7 et 8 et le tableau 3 synthétisent ces propositions que nous explicitons.

La Figure 7 montre une répartition des ouvrages au sein de 4 classes de vulnérabilité. Davantage de classes ne nous semble pas approprié compte tenu des données disponibles, déjà insuffisantes pour permettre une caractérisation précise des ces 4 classes. La justification de la répartition des structures dans ces quatre classes repose sur les arguments suivants :

- Les ouvrages ont été bâtis en prenant en compte, ou non, des dispositifs para-affaissements. On définit par dispositif para-affaissement, les solutions constructives ou préventives visant à permettre à l'ouvrage de résister aux efforts induits par l'affaissement ou de s'en accommoder.
- Les ouvrages n'ayant pas fait l'objet de mesures préventives seront généralement incapables de s'accommoder des mouvements du terrain. C'est pourquoi, tout renforcement de type chaînage devient un élément favorable en augmentant résistance et ductilité de l'ouvrage.
- Les ouvrages en béton armé contiennent, par nature, des renforcements qui nous conduisent à les considérer moins vulnérables que des maçonneries.

La variation des structures au sein des différentes classes de dégradabilité dépend de leur état actuel de conservation, de leur qualité de mise en œuvre, ainsi que de facteurs aggravants dont on peut citer, de manière non exhaustive (NCB 1975, Kratzsch 1983, Kwiatek 1998, Neuhaus 1969...) :

- l'importance de ses dimensions (en plan) ;
- l'hétérogénéité en plan ou en élévation de ses éléments structuraux ;
- l'éventualité d'une interaction avec une autre construction accolée ou proche ;
- une résistance insuffisante des parties enterrées de l'ouvrage...

La définition d'une grandeur caractéristique de l'intensité du phénomène est liée aux résultats de l'analyse de données effectuée sur le bassin ferrifère lorrain. La mise en évidence de la variable LIEU, statistiquement plus pertinente que la déformation horizontale, théoriquement satisfaisante et concrètement plus pratique, conduit à justifier l'existence de 5 zones (Figure 8 : propositions de zones de sollicitation.). Cependant, cette grandeur ne permet pas, à elle seule, de caractériser entièrement l'intensité de l'affaissement. La donnée de la déformation horizontale maximale du terrain est indissociable de la définition des 5 zones précédentes.

La répartition des dégradations du bâti appartenant à une même classe de dégradabilité (tableau 3) repose sur les résultats de l'analyse de données pour les classes A et B, puisque la quasi totalité des constructions étudiées étaient en briques ou moellons avec ou sans renforcements. En revanche, la répartition proposée pour les deux autres classes C et D (en italique), n'est qu'une extrapolation. Ce tableau ayant été élaboré à partir des données observées dans le bassin ferrifère lorrain, il correspond donc à des affaissements caractérisés par une déformation horizontale maximale du terrain d'environ 10^{-2} à $1,5 \cdot 10^{-2}$. Il est envisageable de proposer qu'une la valeur de la déformation

horizontale maximale différente aboutisse au décalage de l'attribution d'une construction à une classe de dégradabilité vers la classe directement adjacente (plus résistante ou moins résistante).

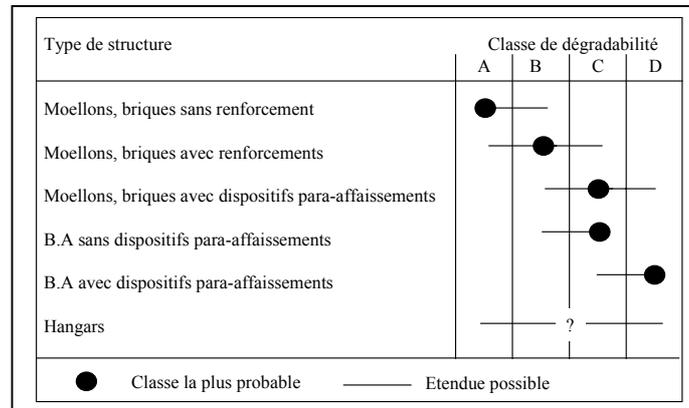


Figure 7 : propositions de répartition des types de structures au sein de classes de dégradabilité (pour une déformation horizontale maximale du terrain de l'ordre de 10^{-2}).

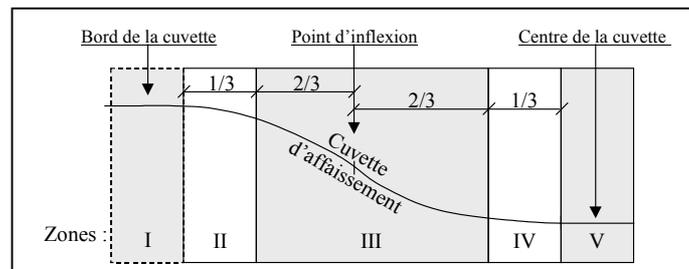


Figure 8 : propositions de zones de sollicitation.

tableau 3 : propositions de répartitions des dégradations selon la classe de dégradabilité et la zone de sollicitation.

Zone	Classe de dégradabilité							
	A		B		C		D	
	niveau	quantité	niveau	quantité	niveau	quantité	niveau	quantité
I	1	beaucoup	1	quelques	1	quelques	1	quelques
II	1	quelques	2	beaucoup	1	la plupart	1	beaucoup
	2	beaucoup						
III	3	quelques	3	quelques	2	beaucoup	2	quelques
	2	la plupart						
IV	2	quelques	3	quelques	2	beaucoup	2	quelques
	3	beaucoup						
V	à définir	à définir	à définir	à définir	à définir	à définir	à définir	à définir

Quantités : quelques = 0 à 20 % ; beaucoup = 20 à 60 % ; la plupart = 60 à 100 %
Niveau des dégradations : 1 = architecturales ; 2 = fonctionnelles ; 3 = structurelles

5. Conclusions

Il existe un intérêt majeur à comparer diverses approches pour la prévision des dégradations des structures soumises à des phénomènes géotechniques tels que les affaissements miniers et les séismes. Les méthodes utilisées vis-à-vis des phénomènes sismiques présentent l'intérêt de prendre

en compte explicitement les incertitudes liées au classement des structures au sein d'une typologie ainsi que les incertitudes sur les dégradations possibles.

A partir d'une synthèse des méthodes traditionnellement proposées pour la prévision des dégradations des structures et d'une analyse de données réalisée sur les récents affaissements miniers lorrains, une méthode est proposée qui transpose l'approche sismique au cas des phénomènes d'affaissements miniers.

Cette proposition est une voie de recherche dont un certain nombre d'aspects appelle à être davantage exploré et justifié. Dans l'immédiat, elle permet d'insister sur la nécessité de prendre en compte les incertitudes inhérentes aux terrains et aux constructions.

6. Bibliographie

- Bhattacharya S. et Singh M.M. (1984).-*Proposed criteria for subsidence damage to buildings*. Rock mechanics in productivity and protection, 25st Symposium on rock mechanics, pp.747-755.
- Boscardin M.D., Cording E.J. (1989).- *Building response to excavation-induced settlement*. Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 115, N°1.
- Deck O., Al Heib M., Homand F, Gueniffey Y et Wojtkowiak F (2002). *Méthode de prévision des dégradations des structures bâties en zone d'affaissement minier*. Revue Française de Géotechnique, accepté et à paraître (fin 2002)
- Deck O. (2002). *Etude des conséquences des affaissements miniers sur le bâti*. Thèse de l'INPL.
- Dzegniuk B. et Hejmanowski R. (2000).- *Evaluation of the damage hazard to building objects on the mining areas considering the deformation course in time*. International congress of the international society for mine surveying, septembre 2000, Cracovie, Pologne
- European Macroseismic Scale (1998). Cahier du centre européen de géodynamique et de séismologie, vol. 15, éditeur G. Grünthal.
- Geddes J.D. (1984).- *Structural design and ground movements*. Ground movement and their effects on structures, Surrey University Press.
- Plans de Prévention des Risques Naturels (PPRN, 1997).- *Guide général*. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. Ministère de l'équipement, des transports et du logement. 1997.
- Kratzsch H.(1983).- *Mining Subsidence Engineering*, Springer-Verlag.
- Kwiatek J. (1998).- *Protection des constructions sur les terrains miniers (traduction du polonais)*. Titre original "Ochrona obiektow budowlanych na terenach gorniczych". Publication du G.I.G., Katowice, 1998.
- National Coal Board (1975).- *Subsidence engineer's handbook*.
- Neuhaus E. H. (1965).- *A.B.C. de la construction des maisons d'habitation en zones d'affaissements miniers*. Editions Eyrolles, traduit par SOOTS.
- Petit D. (2000).- *La maîtrise des séquelles techniques à long terme des exploitations minières*. In Les techniques de l'industrie minière, n°5 (mars 2000), pp.5-107.
- Spence R.J.S., Coburn A.W. et Pomonis A. (1992). *Correlation of ground motion with building damage : the definition of a new damage-based seismic intensity scale*. Earthquake Engineering, 10 WCEE, Madrid, pp. 551-556.
- Triplett T., Lin G., Kane W., Benett R. (1992).-*The effects of ground subsidence on various types of linear foundations*. COMA, Symposium on construction over mined areas, Pretoria, South Africa, Mai 1992, pp. 99-106.
- Wagner H., Schumann E.H.R. (1991).- *Surface effects of total coal-seam extraction by underground mining methods*. J.S. Afr. Inst. Min. Metall., Vol. 91, No. 7, Juillet 1991, pp.221-231.

Yuo L., Peng S. S. et Dutta D. ().- *Some mitigative measures for prediction of surface structures affected by ground subsidence*. 3rd Subsidence workshop due to underground mining, pp. 129-138.