



VU  
Pour être annexé à mon arrêté en  
date de ce jour, 01 AOUT 2011  
Alençon, le : Le Préfet,  
*Signé*  
Bertrand MARECHAUX,

# Plan de Prévention des Risques Miniers Bassin ferrifère de LA FERRIÈRE-AUX-ÉTANGS

Communes de BANVOU, LA COULONCHE, LA FERRIÈRE-AUX-ÉTANGS

Pièce n°4

## Règlement Annexe 3

Cahier des charges pour l'étude d'une  
construction hors typologie

Octobre 2010

# SOMMAIRE

<b>1.DOMAINE D'APPLICATION.....</b>	<b>3</b>
1.1CONTEXTE.....	3
1.2DÉFINITION DE L'AFFAISSEMENT MINIER.....	3
1.3OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....	4
<b>2.HYPOTHÈSES GÉNÉRALES .....</b>	<b>6</b>
2.1ANALYSE DES SOLLICITATIONS.....	6
2.2EFFET DE LA DÉFORMATION HORIZONTALE DU SOL SUR LE BÂTI.....	7
2.3EFFET DE LA COURBURE DU TERRAIN SUR LE BÂTI.....	7
2.3.1Augmentation des contraintes de sol.....	8
2.3.2Décollement des fondations.....	8
2.4EFFET DE LA PENTE DU TERRAIN SUR LE BÂTI.....	9
2.4.1Augmentation des contraintes de sol.....	9
2.4.2Traction dans les façades.....	10
2.5COMBINAISONS D' ACTIONS À RETENIR POUR LES CALCULS.....	10
<b>3.DISPOSITIONS GÉNÉRALES DE CONSTRUCTIBILITÉ – RECOMMANDATIONS DE CONCEPTION.....</b>	<b>11</b>
3.1IMPLANTATION .....	11
3.2VOISINAGE.....	11
3.3FORMES, FONDATIONS ET SUPERSTRUCTURE.....	11

# 1. Domaine d'application

## 1.1 Contexte

Les problèmes posés par les risques d'affaissement minier dans le bassin minier de LA FERRIÈRE-AUX-ETANGS ont conduit l'Etat à engager l'élaboration d'un Plan de Prévention des Risques Miniers (PPRM), outils opérationnel permettant de gérer le risque minier.

Ce document constitue la base d'un outil d'aide à la décision pour les maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre et les acteurs de la construction en général, dans le cas de conception d'un ouvrage sortant de la typologie définie dans les PPRM.

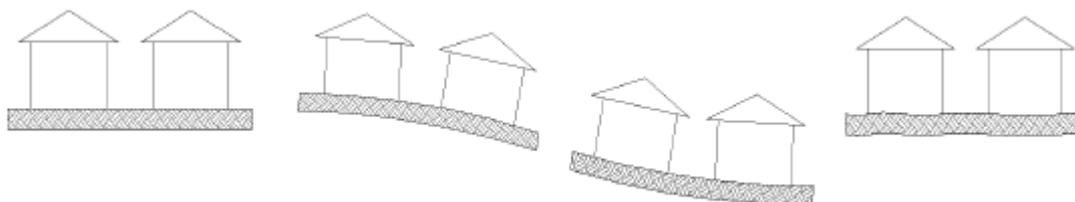
Des études particulières reposant sur des hypothèses plus larges sont en effet envisageables dans la mesure où elles sont effectuées par des bureaux d'études spécialisés, sur la base du présent document.

## 1.2 Définition de l'affaissement minier

Le phénomène d'affaissement minier en surface peut être résumé en quatre phases successives :

- dans un premier temps on observe les bâtiments avant déformation ;
- dans un deuxième temps on remarque que la partie du sol s'est incurvée avec un centre de courbure vers le bas (formation convexe dite « en dôme ») et la distance entre les constructions s'agrandit ;
- dans un troisième temps, apparaît une formation du sol incurvé avec un centre de courbure vers le haut (formation concave dite « en cuvette ») et la distance entre les constructions diminue ;
- dans un dernier temps, les contraintes du sol se compensent pour trouver leur équilibre et les constructions reviennent à une position proche de l'horizontale.

Les figures ci-après illustrent ce phénomène.



En fin d'affaissement, le bâti se trouve sur l'une de ces quatre configurations. A moins de prévoir la position finale exacte du bâti par rapport à la cuvette définitive, l'analyse du bâti doit tenir compte successivement des quatre configurations.

La déformation horizontale, nettement plus prépondérante que la mise en pente dans le dimensionnement du bâtiment, se traduit par un allongement ou un raccourcissement du sol, qui induit des efforts de traction ou de compression dans les fondations de la construction. L'incurvation du sol provoque une courbure du sol d'assise. Ce phénomène sollicite particulièrement les pans de murs de contreventement au niveau de la superstructure.

### 1.3 Objectifs de l'étude

Les bâtiments étudiés sont supposés respecter les règles de l'art de la construction : les Normes Françaises – Documents Techniques Unifiés (et les Avis Techniques) régissant notamment les modes de mise en œuvre de techniques de construction et les règles usuelles de conception et de calculs (BAEL ou EC2 pour les structures en béton armé, CM 66 ou EC5 modifiées pour les structures métalliques et CB 71 ou EC3 pour les structures en bois).

Les effets prévisibles en surface des affaissements miniers éventuels sont fournis par GEODERIS sous forme de tableaux et de cartes. Ces documents permettent de définir :

- la pente maximale du sol due à l'affaissement,
- la courbure,
- la déformation horizontale du sol due à l'affaissement.

Les hypothèses de travail considèrent que les affaissements sont de type progressif et qu'ils n'exigent pas d'analyse dynamique de la structure.

L'étude doit déterminer le niveau d'endommagement en fonction de l'échelle de sinistralité suivante :

sécurité des occupants assurée car absence de risque de chutes d'éléments porteurs ou d'équipements	{	N 1	→	Fissures d'aspect
		N 2	→	Fissures légères dans les murs
		N 3	→	Portes coincées et canalisations rompues
sécurité des occupants menacée	{	N 4	→	Poutres déchaussées et murs bombés
		N 5	→	Planchers et murs désolidarisés et instables

Du niveau N1 à N3, les désordres prévisibles ne provoquent aucun effondrement.

A partir du niveau N4, des effondrements sont possibles et menacent la sécurité des occupants.

**L'étude est chargée de limiter au niveau N3 les impacts prévisibles sur le bâti**

Cette étude, menée par le Bureau d'étude de l'opération, devra définir :

- ***les matériaux utilisés,***

En infrastructure, en superstructure et en éléments du second œuvre.

En particulier, valeur caractéristique du béton, nuance des aciers, classe des bois utilisés, etc...

- ***les principes et règles de conception,***

Type du plancher bas et types de fondations retenus (semelles isolées, superficielles, radier...).

Description des éléments porteurs (murs, poteaux-poutres, planchers).

Règles de calculs utilisées (BAEL 91, EC 5...).

Autres.

- ***le contexte géologique,***

Pente du terrain

Type de sol.

Connaissance sur la présence d'eau (nappe phréatique, ruisseau...).

Autres.

- ***les points dérogeant à la typologie des PPRM,***

Type d'ouvrage hors typologie.

Dimensions en plan importantes ou sortant de la forme rectangulaire.

Fondations profondes.

Autres.

- ***les principes architecturaux et techniques permettant d'améliorer qualitativement le comportement vis-à-vis des affaissements miniers,***

Fractionnement de la structure du bâtiment.

Principes de contreventement.

Protection vis-à-vis des ouvrages voisins.

Traitement de l'interface sol/soubassement.

Appréciation de la ductilité d'ensemble.

Autres.

- ***Synthèse des points précédents,***

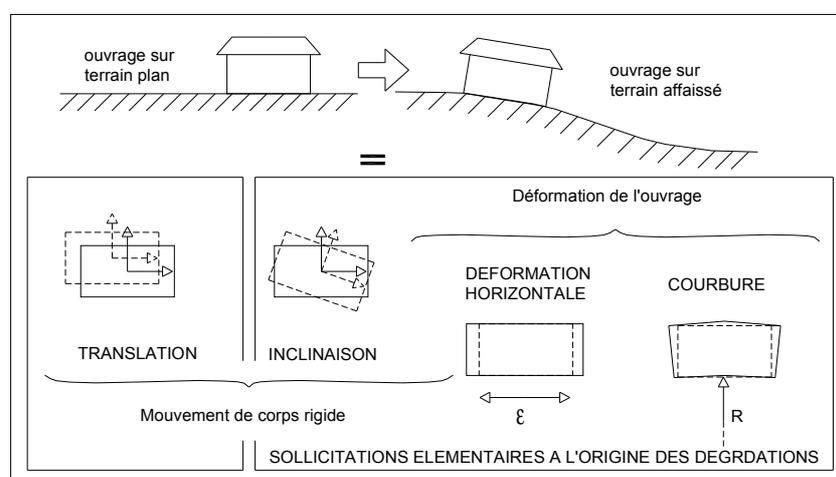
Conclusion sur l'appréciation de limitation des désordres au niveau N3.

**Sur la base de cette synthèse, l'auteur de l'étude atteste que la construction ne dépassera pas le niveau d'endommagement N3 (absence de risque pour les occupants) en cas d'affaissement minier.**

## 2. Hypothèses générales

### 2.1 Analyse des sollicitations

Chaque type de bâtiment peut être étudié en fonction de trois sollicitations, dépendantes de la pente prévisible de l'affaissement. Elles se caractérisent par **l'inclinaison** d'ensemble, la **déformation** horizontale du sol et la **courbure** du terrain.



*Décomposition des sollicitations sur le bâti*

Les niveaux d'endommagement peuvent être reliés à la variation de longueur du bâtiment (en %, ou cm/m) par le tableau suivant :

Niveau d'endommagement	Variation de longueur du bâtiment	Importance du dommage
N1	jusqu'à 0,1 %	très léger ou négligeable
N2	0,1 à 0,2 %	léger
N3	0,2 à 0,3 %	appréciable
N4	0,3 à 0,4 %	sévère
N5	au-delà de 0,4 %	très sévère

*Niveaux d'endommagement en fonction du changement de longueur du bâtiment*

Nota : d'autres valeurs peuvent être retenues, en fonction des dimensions et des matériaux constituant l'ouvrage étudié.

## 2.2 Effet de la déformation horizontale du sol sur le bâti

La valeur de déformation horizontale  $\varepsilon$  du sol se déduit directement de la pente prévisible par la relation suivante :

$$3 \times p (\%) = \varepsilon (\text{mm/m})$$

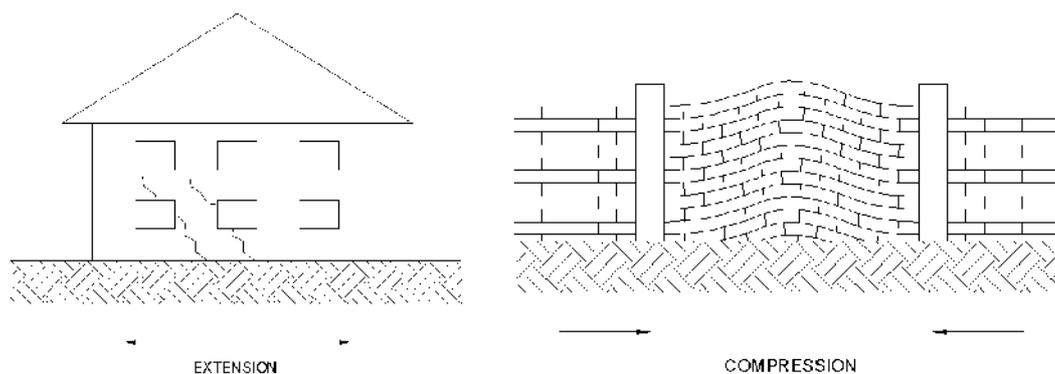
A titre d'exemple, une pente de 10 % correspond à une déformation horizontale de  $10 \times 3 = 30 \text{ mm/m}$ .

Les déformations horizontales induites par l'affaissement peuvent être traduites en effort de traction ou de compression au droit des fondations et des murs d'infrastructure.

Au droit des fondations, l'effort maximum de glissement est égal à  $F = \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot P$ , avec comme paramètres :

- le coefficient  $\mu$  de frottement sol/fondation,
- le poids  $P$  du bâtiment (charges permanentes et d'exploitation).

Au-delà, le sol glisse sous les fondations, sans augmentation de  $F$ .



*Illustration des effets des déformations horizontales du sol sur le bâti*

Afin de s'affranchir des efforts dus à la déformation du sol et de maintenir les types de bâtiment en niveau d'endommagement N1 ou N2, les fondations doivent être dimensionnées et ferrillées afin de résister à la force  $F$ .

## 2.3 Effet de la courbure du terrain sur le bâti

L'affaissement du terrain a pour conséquence une incurvation du sol d'assise du bâtiment, ce qui provoque des déformations importantes des planchers et des fissures obliques dans les murs intérieurs et façades :

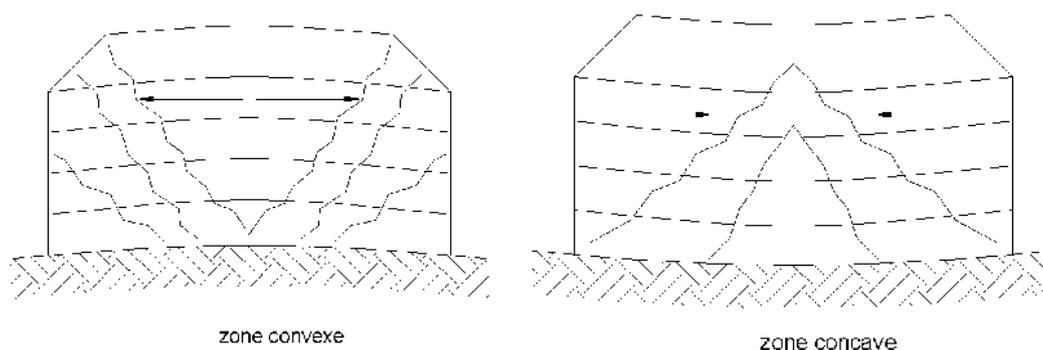


Illustration des effets de l'incurvation du sol sur le bâti

### 2.3.1 Augmentation des contraintes de sol

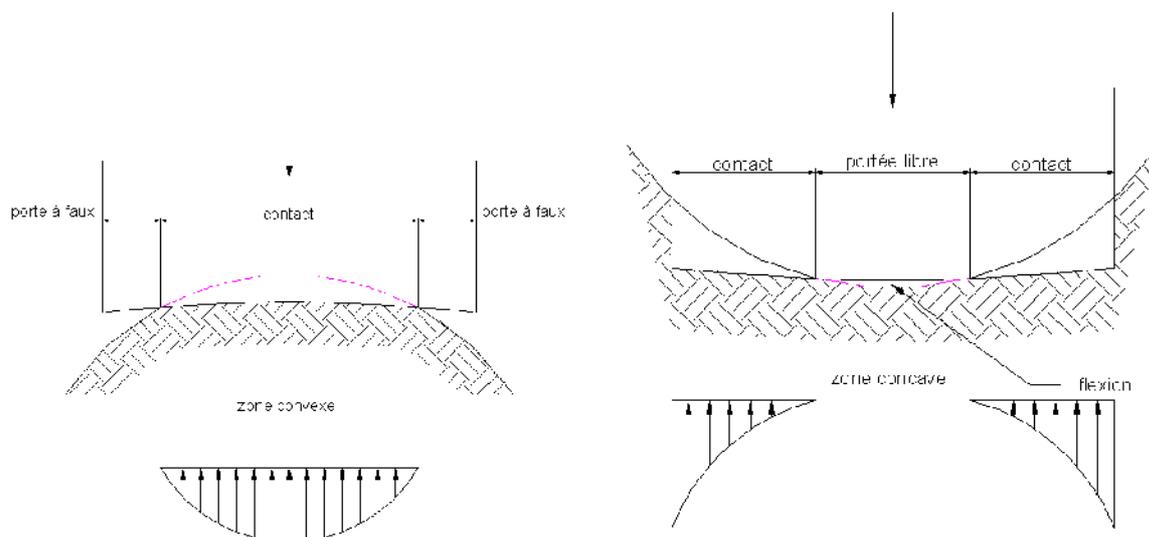
Si le bâtiment n'est pas suffisamment souple pour suivre la courbure du terrain, ses fondations vont se décoller partiellement de leurs assises, provoquant ainsi une augmentation des contraintes là où les fondations sont encore en contact avec le sol.

Cet effet se cumule avec une perte de raideur du sol dans les zones d'extension (en haut de cuvette). Il en résulte un tassement généralisé important du bâtiment qu'il est possible d'estimer par connaissance du taux de contrainte dans le sol, et en estimant la perte de raideur du terrain. A défaut de valeur précise, on peut estimer que la raideur du terrain peut diminuer de 80 % maximum dans les zones d'extension.

### 2.3.2 Décollement des fondations

Une fois le tassement du sol estimé, on constate que le contact entre le sol et les fondations n'est pas entièrement rétabli. Les fondations sont alors soumises à des moments de flexion très importants, fonction de la longueur du décollement, et maximum lorsque la fondation se trouve en porte-à-faux.

De tels efforts ne sont pas compatibles avec les dimensions et le ferrailage des fondations. Il convient alors de concevoir des pans de contreventement suffisamment ductiles en superstructure.



Variation des contraintes sous les fondations, selon l'incurvation du sol

Le calcul du rayon de courbure minimal peut être estimé par la formule suivante :

$$R_{\min} = K.H^2/A_m \quad [m]$$

Avec  $K = 0,05$  à  $0,3$  en fonction du type d'exploitation,  
 $H$ , profondeur de l'exploitation [m],  
 $A_m$ , affaissement maximal au centre de la cuvette [m].

Finalement, le niveau d'endommagement et la déformation verticale prise par l'ouvrage peuvent être reliés par le tableau suivant :

Niveau d'endommagement	Déformation verticale de la fondation	
	<i>bâtiment peu ductile</i>	<i>bâtiment ductile</i>
N1	jusqu'à 1/500	jusqu'à 1/500
N2	de 1/500 à 1/400	de 1/500 à 1/300
N3	de 1/400 à 1/200	de 1/300 à 1/100
N4	de 1/200 à 1/100	de 1/100 à 1/50
N5	au-delà de 1/100	au-delà de 1/50

*Niveaux d'endommagement en fonction de la déformation verticale des fondations*

Nota : d'autres valeurs peuvent être retenues, en fonction des dimensions, des matériaux et des types de liaisons réalisés dans l'ouvrage étudié.

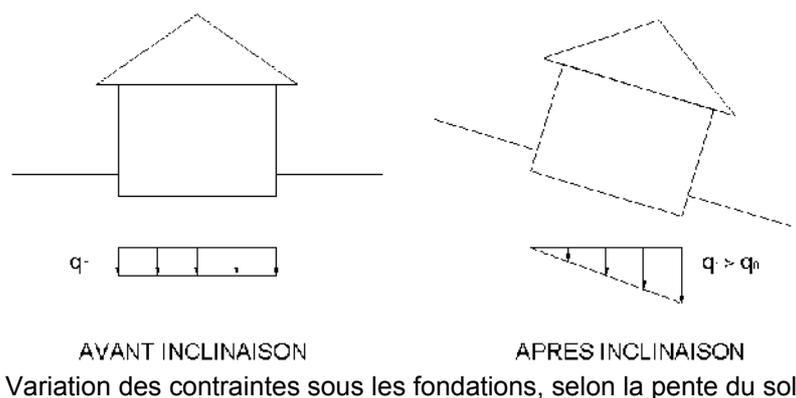
## 2.4 Effet de la pente du terrain sur le bâti

L'affaissement du terrain a pour conséquence une inclinaison généralisée du bâtiment, que l'on ne peut pas négliger pour des valeurs de pentes élevées, et qui provoque deux phénomènes : l'augmentation des contraintes de sol et la mise en traction des façades.

### 2.4.1 Augmentation des contraintes de sol

L'inclinaison d'une charge verticale centrée sur une fondation provoque une redistribution des contraintes du sol : celles-ci seront plus élevées du côté de l'inclinaison, plus faible du côté opposé.

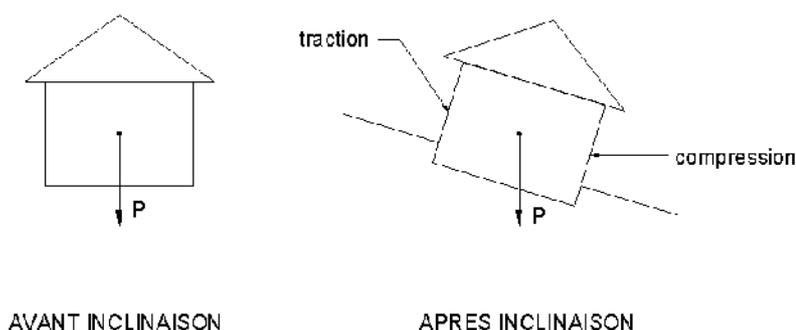
Il convient donc de s'assurer que l'augmentation des contraintes ne risque pas de provoquer un poinçonnement du sol, qui peut entraîner le basculement de l'ouvrage.



### 2.4.2 Traction dans les façades

En dehors des phénomènes d'affaissements, le poids du bâtiment permet de maintenir les façades comprimées. Lorsque le bâtiment s'incline, les façades sont plus comprimées du côté de l'inclinaison et peuvent être soumises à des tractions du côté opposé.

Il convient donc de s'assurer que les façades soient dimensionnées pour supporter une traction généralisée, ou de vérifier que la résultante des efforts ne sorte pas du « tiers central ».



Modification des efforts dans les façades, selon la pente du sol

## 2.5 Combinaisons d'actions à retenir pour les calculs

L'action due à l'affaissement est considérée comme accidentelle.

Les combinaisons d'actions à retenir pour les calculs de sollicitations sont issues de l'EN 1990 et relèvent des considérations suivantes :

- 1 – Les actions dues aux charges permanentes sont prises en totalité (coefficient=1).
- 2 – Les actions dues aux affaissements sont prises en totalité (coefficient=1).
- 3 – Les actions dues à la neige sont affectées d'un coefficient de 0,20.
- 3 – Les actions dues aux charges d'exploitation sont prises avec leur valeur quasi-permanente, c'est-à-dire affectées d'un coefficient  $\psi_2$ , qui dépend du type d'ouvrage :
  - Bâtiment de stockage :  $\psi_2 = 0,80$ .
  - Bâtiment d'habitation ou de bureaux :  $\psi_2 = 0,30$ .
  - Établissement recevant du public :  $\psi_2 = 0,60$ .
  - Autres destinations :  $\psi_2 = 0,60$ .

### **3. Dispositions générales de constructibilité – Recommandations de conception.**

Les recommandations suivantes proviennent des études typologiques et peuvent servir de guide pour les études au cas par cas.

#### **3.1 Implantation**

Le phénomène d'affaissement minier modifie, par nature, l'organisation originelle du sol. C'est pourquoi une topographie accidentée et un relief de terrain accusé peuvent avoir des conséquences amplifiées sur les constructions environnantes.

Prescription :

La construction ne doit pas être implantée à proximité d'un rebord de crête ou de pied de talus (ou d'une falaise) dont la pente est supérieure à

$$(30 - p) \%,$$

où p, en %, est la pente prévisible maximale de l'affaissement soit 10% pour le bassin minier de LA FERRIÈRE-AUX-ETANGS.

A défaut du respect de ces mesures d'implantation, une justification de stabilité des sols doit être fournie.

#### **3.2 Voisinage**

Dans le cas d'ouvrages accolés, on doit prévoir un vide entre chacun, que l'on appelle joint d'affaissement.

La largeur des joints dépend du type de la construction et doit prendre en compte la pente (ou le rayon de courbure) et le raccourcissement de la distance d'isolement entre les bâtiments lors de la formation « en cuvette ».

La largeur du joint doit être suffisamment large pour éviter tout contact avec un ouvrage voisin.

#### **3.3 Formes, fondations et superstructure**

- Afin d'éviter toute amplification d'impact des affaissements miniers, le bâtiment doit avoir une forme aussi compacte que possible. Des analyses tridimensionnelles peuvent justifier d'un comportement satisfaisant d'un bâtiment dont la géométrie en plan est complexe. Rappelons cependant qu'une bonne conception et la présence de joints de fractionnement sont de toute évidence un bon moyen pour augmenter la robustesse des ouvrages.

- Dans la mesure du possible, les charges seront réparties au mieux sur l'ensemble des fondations et la contrainte du sol sera la plus homogène possible. Les fondations doivent être dimensionnées au plus juste vis-à-vis de la contrainte de calcul du sol.
- Il convient de concevoir des pans de contreventement suffisamment ductiles afin de résister aux sollicitations dues aux affaissements miniers, en particulier celles dues à la courbure du terrain. Ainsi, la répartition des pans de contreventement doit être la plus homogène possible. Dans le cas contraire, il convient de justifier le bâtiment à la torsion d'ensemble.