

CONSTRUCTIBILITÉ DANS LES BASSINS SALIFÈRES MEURTHE-ET-MOSELLAN ET MOSELLAN

**Étape 1 : Examen des conditions d'applicabilité des guides de
constructibilité existants du CSTB, établis pour les zones ferrifères, aux
constructions nouvelles des zones salifères**

Site : Varangéville (54)

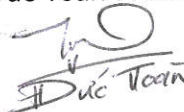
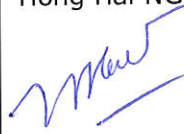
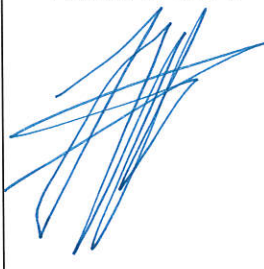

Demandeur de l'étude

DDT 54
Place des Ducs de Bar
CO n°60025
54035 NANCY Cedex

Référence

26054802

CSTB-DSSF-rapport d'étude v(1)

Auteur(s)	Vérificateur	Approbateur	Version	Date
Duc Toan PHAM  Hong Hai NGUYEN 	Ménad CHENAF 	Stéphane HAMEURY 	V1.0	07/04/2015



Direction Sécurité, Structures et Feu

Division Expertise, Avis Réglementaires, et Recherche

☎ : 01.64.68.83.28

📠 : 01.64.68.85.23

@ : mara.tan@cstb.fr

CONSTRUCTIBILITÉ DANS LES BASSINS SALIFÈRES MEURTHE-ET-MOSELLAN ET MOSELLAN

**Étape 1 : Examen des conditions d'applicabilité des guides de
constructibilité existants du CSTB, établis pour les zones ferrifères, aux
constructions nouvelles des zones salifères**

Site : Varangéville (54)

Version	Date	Principales modifications effectuées	Partie modifiée
V1.0	07/04/2015	Création	/

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT

SIÈGE SOCIAL > 84 AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2
TÉL. (33) 01 64 68 82 82 | FAX. (33) 01 60 05 70 37 | SIRET 775 688 229 000 27 | www.cstb.fr

ÉTABLISSEMENT PUBLIC À CARACTÈRE INDUSTRIEL ET COMMERCIAL | RCS MEAUX 775 688 229 | TVA FR 70 775 688 229

MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA-ANTIPOLIS

SOMMAIRE

1 - CONTEXTE ET PERIMETRE DE L'ETUDE	4
2 - MÉTHODOLOGIE	4
3 - ANALYSE DES ALEAS MOUVEMENTS DE TERRAIN	5
3.1 - SOLLICITATIONS SUR LE BATI EN CAS D'AFFAISSEMENT	5
3.2 - COMPARAISON DES ALEAS MOUVEMENTS DU TERRAIN	5
4 - ANALYSE DE L'ETAT DES LIEUX DU BATI EXISTANT	8
4.1 - ZONE D'AFFAISSEMENT POTENTIEL 1	9
4.2 - ZONE D'AFFAISSEMENT POTENTIEL 2	10
4.3 - ZONE D'AFFAISSEMENT POTENTIEL 6	11
4.4 - ZONE D'AFFAISSEMENT POTENTIEL 7 ET 8	15
4.5 - ZONE D'AFFAISSEMENT POTENTIEL 9	16
4.6 - ZONE D'AFFAISSEMENT POTENTIEL 10	19
4.7 - ZONE D'AFFAISSEMENT POTENTIEL 11	23
4.8 - ZONE D'AFFAISSEMENT POTENTIEL 12	25
4.9 - ZONE D'AFFAISSEMENT POTENTIEL 13	27
4.10 - SYNTHÈSE DES RELEVÉS IN SITU	29
5 - RÉCAPITULATIF SUR LA TYPOLOGIE À RETENIR ET COMPARAISON À CELLE QUI AVAIT ÉTÉ RETENUE POUR LE BASSIN FERRIFÈRE NORD- LORRAIN	30
6 - CONCLUSIONS.....	32
7 - RÉFÉRENCES	33

1 - CONTEXTE ET PERIMETRE DE L'ETUDE

L'objectif de cette étude est d'identifier les principes constructifs permettant, pour les types de bâti neuf constatés dans la commune de Varangéville, de limiter les désordres à des niveaux suffisamment faibles pour, d'une part, ne pas porter atteinte à la sécurité des personnes, et dans la mesure du possible d'autre part, permettre la remise en état des bâtiments dans des conditions économiquement supportables au regard du coût de reconstruction à neuf.

Compte tenu du fait que plusieurs études ont déjà été effectuées par le CSTB entre 2002 et 2009 sur des problèmes similaires, en l'occurrence pour le bassin ferrifère Nord-Lorrain, la DDT 54 souhaite qu'un examen préalable soit effectué par le CSTB, en vue de vérifier si les conditions de constructibilité définies lors des études précitées, ne seraient pas applicables en l'état au bâti du site de Varangéville.

L'étude, objet du présent rapport, porte sur l'analyse des conditions d'applicabilité des guides de constructibilité existants du CSTB aux constructions nouvelles sur le site de Varangéville en Meurthe-et-Moselle. Le but est d'établir les conditions techniques de constructibilité sur un site susceptible d'être impacté par des mouvements de sol, dus au caractère salifère de ces derniers.

2 - MÉTHODOLOGIE

Pour répondre à la question ainsi posée, l'étude est conduite en trois étapes successives:

La *première étape* consiste à *analyser des aléas mouvements de terrain*. À ce titre, les aléas du bassin ferrifère Nord-Lorrain seront comparés avec ceux de Varangéville pour lesquels le risque d'effondrement progressif ou brutal est à appréhender, chaque type d'exploitation de la mine générant un type d'affaissement particulier.

La *deuxième étape* vise à *faire un état des lieux du bâti existant* à partir duquel une typologie de constructions neuves peut être prononcée. Cette typologie sera proposée en se basant, d'une part sur des visites de terrain et, d'autre part, sur la typologie de constructions neuves qui a été établie préalablement par le CSTB pour les études de constructibilité dans le bassin ferrifère nord-lorrain.

La *troisième étape* et *dernière étape* consiste finalement à *combinaison* les résultats de l'étape 1 et ceux de l'étape 2 afin d'analyser la possibilité de reprendre les règles d'urbanisme, voire de constructibilité énoncées dans le bassin ferrifère nord-lorrain.

3 - ANALYSE DES ALEAS MOUVEMENTS DE TERRAIN

3.1 - Sollicitations sur le bâti en cas d'affaissement

En cas d'affaissement minier, différents effets plus ou moins prévisibles peuvent se produire. Du point de vue des mouvements en surface au voisinage d'une structure, l'impact des exploitations souterraines est comparable qu'il s'agisse des mines de fer en Lorraine et de sel à Varangéville. Lors d'un *affaissement progressif*, le mouvement d'un bâtiment peut être décomposé selon deux mouvements de corps rigides *de translation* et *de rotation*, et deux déformations, une engendrée par la déformation horizontale du sol et l'autre due à la courbure du terrain (voir par exemple la figure 3.1.1 présentée par Geddes [1], citée par Deck *et al.* [2]).

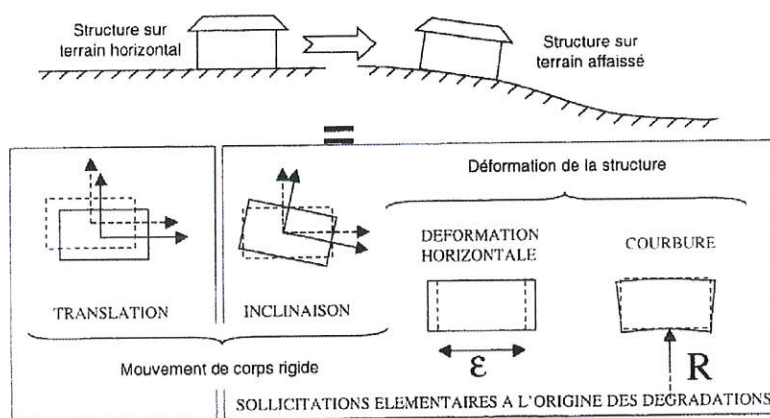


Figure 3.1.1 : Décomposition des sollicitations sur le bâti [1]

Il est essentiel de noter que chaque type d'exploitation minière génère un type d'affaissement particulier. Néanmoins, dans l'hypothèse où cet affaissement est caractérisé par les quatre mouvements élémentaires de la figure 3.1.1, les conséquences sur le bâti ne dépendent donc pas fondamentalement de la nature des travaux souterrains. Deux types d'exploitations différentes, tels que les mines de fer ou de sel, influencent uniquement l'amplitude des mouvements en surface du terrain en cas d'affaissement progressif. Au contraire, un comportement différent de l'interaction sol-structure peut être engendré par la différence de lithologie des terrains superficiels [2].

3.2 - Comparaison des aléas mouvements du terrain

La connaissance préalable de l'intensité des mouvements de terrain contribue à une meilleure compréhension des phénomènes physiques pouvant être à l'origine des désordres de la structure durant l'affaissement du sol. Le comportement d'un bâtiment dépend notamment de la nature des aléas parmi lesquels on distingue deux caractères principaux, progressif ou brutal. Le dernier caractère peut en effet avoir un impact compte tenu des éventuels effets dynamiques induits, ce qui conduit à une rupture brutale ou plus précisément, un effondrement instantané. En conséquence, la durée totale écoulée entre le début et la fin du processus d'affaissement est un paramètre important.

Pour le cas du bassin ferrifère Lorrain, un nombre suffisant de piliers a été laissé afin d'assurer la stabilité de l'excavation à long terme après l'exploitation des mines à proximité des zones urbanisées. L'origine de la rupture des piliers est multiple, soit le sous-dimensionnement des piliers, soit la mauvaise superposition des piliers dans le cas de couches exploitées superposées, etc., mais l'affaissement est progressif. À titre indicatif, 90% de l'affaissement se produit dans la région concernée en quelques heures ou quelques jours.

En ce qui concerne les mines de sel de la commune de Varangéville, les travaux réalisés par Geoderis ont permis d'établir une carte d'aléas des mouvements de terrain au droit des anciens quartiers en cas d'ennoyage par de l'eau ou de la saumure, l'aléa en condition de *mine sèche* n'a pas été retenu [3]. L'arrivée d'eau dans les vieux quartiers de la mine, provoque un effondrement brutal en surface du sol. Ce phénomène s'est développé dans le quartier 8 et a conduit à l'apparition d'un effondrement brutal en 1873, les terrains étant descendus pendant 2s, avec un abaissement de 3,3m sur une surface globalement circulaire de 80m de rayon [3]. Les paramètres relatifs à l'aléa mouvements de terrain en cas d'ennoyage par de l'eau ou de la saumure, sont rappelés dans le tableau 1 ci-dessous quartier par quartier.

Tableau 1: Estimation des pentes et des déformations maximales par quartier de Varangéville

Quartier	Profondeur d'exploitation $H(m)$	Affaissement maximal $A_m(m)$	Pente maximale $\rho_{max}(\%)$	Déformation horizontale maximale $\varepsilon_{max}(mm/m)$
1	135	3	12	35
2	100	3	15	45
3	175	3	9	27
4	200	3	8	23
5	197,5	3	8	23
6	142,5	3	11	33
7	80	1,5	9	28
8	162,5	1	4	10
9	177,5	3	10	30
10	147,5	3	11	33
11	175	3	10	30
12	135	3	12	35
13	177,5	3	10	30

On observe, sur ce dernier tableau, la très grande amplitude de la pente maximale, allant de 8% à 15%, à l'exception du quartier 8 effondré en 1873. L'affaissement maximal est de 3m, sauf les cas des zones 7 et 8. Il a été conclu par ailleurs dans le rapport de Geoderis que le phénomène d'effondrement brutal et généralisé du terrain concerne l'ensemble des quartiers 1 à 13, à l'exception du quartier 8 déjà effondré où l'affaissement est progressif [3]. Les caractéristiques de l'aléa affaissement progressif définies par Geoderis en 2014 sur le site de Varangéville sont comparables à celles de ce même type d'aléa défini dans le bassin ferrifère lorrain.

On note que les aléas mouvements de terrain en cas d'ennoyage par de l'eau douce ou de la saumure susceptibles d'être traduits par des effets dynamiques sur les bâtiments nous amènent à introduire des modèles de type interaction sol-structure. Cependant, lorsque les affaissements sont de grandes amplitudes et soudains, rien de tel n'apparaît dans la littérature. Il est très difficile, voire impossible, de limiter les désordres dans de telles conditions. En effet, il s'agit là de phénomènes imprévisibles sans surveillance, et dont la manifestation est la disparition du sol supportant la construction. Un tel niveau de sévérité ne permet à aucune disposition constructive connue de prémunir une construction quelconque contre l'effondrement brutal, et la mise en danger des occupants.

Bien que l'effondrement par ennoyage de la mine de sel soit brutal, il a été conclu dans le rapport de Geoderis [3] que le délai du processus entre l'intrusion de liquide et la manifestation en surface du phénomène est suffisamment long pour permettre le fonctionnement efficace d'un système d'alerte. En pratique, il est possible de concevoir un dispositif de surveillance des arrivées d'eau permettant ainsi l'alerte qui déclenchera l'évacuation des personnes menacées. Dans la mesure où le début de l'ennoyage pourra être observé, on disposera alors du temps nécessaire pour prendre les dispositions nécessaires et organiser l'évacuation de la zone menacée. La sécurité des personnes n'est donc pas menacée mais l'ennoyage de la mine de sel occasionnerait des dégâts matériels importants dus à l'effondrement.

4 - ANALYSE DE L'ETAT DES LIEUX DU BATI EXISTANT

Pour se faire, des déplacements in situ ont été effectués avec prises de photographies et notes de terrain. Cette étape est en effet *exclusivement visuelle*, toutes les constatations ont été effectuées à partir de la voie publique, c'est-à-dire sans pénétrer dans les constructions.

La carte (figure 4.1.0) des aléas mouvements de terrain liés aux vieux quartiers de la mine de sel de Varangéville est concernée par 13 zones d'affaissement potentiel dont les trois zones 3, 4 et 5 ne contiennent pas une seule construction entière et la zone 8 est déjà effondrée. Ces zones d'affaissement couvrent environ 80% des bâtiments de la commune, parmi lesquels environ 70% sont des maisons individuelles, le reste étant composé d'habitations collectives et de bâtiments industriels ou d'activité d'agricole.

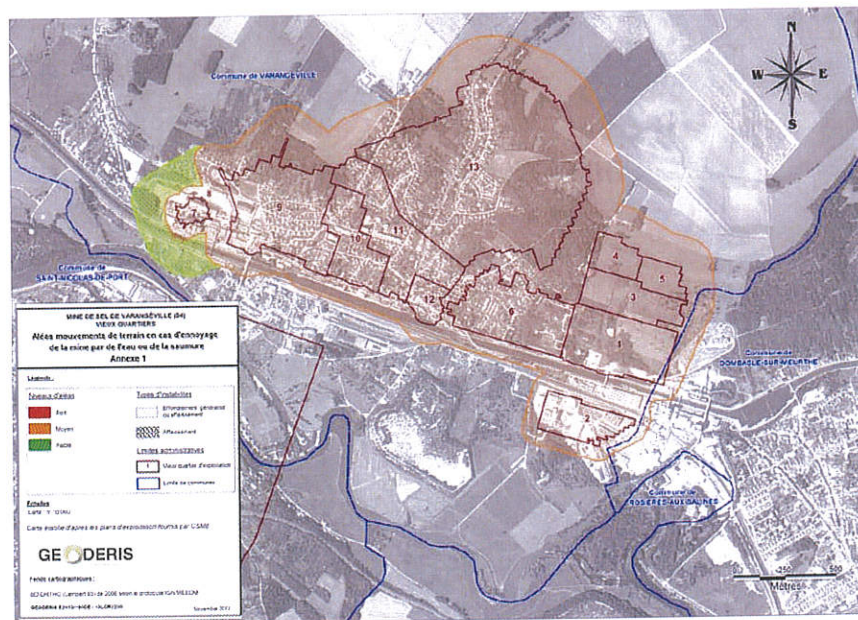


Figure 4.1.0 : Carte d'aléas mouvements de terrains associés aux vieux quartiers de Varangéville en cas d'envoyage par de l'eau douce ou de la saumure [3]¹

¹ Les quartiers sont identifiés de la même manière en cas de mine sèche ou en cas d'envoyage par de l'eau douce ou de la saumure. On adopte la dernière carte pour faciliter la localisation des quartiers, l'étude restant toujours dans les conditions de mine envoyée.

4.1 - Zone d'affaissement potentiel 1

Cette zone contient très peu de construction. Elle est située en périphérie Est de la ville, à une distance d'environ 2km du centre. On observe sur la zone deux bâtiments d'activité sur un seul niveau, le premier (figure 4.1.1) étant un bâtiment ancien de faible volume et le second (figure 4.1.2) étant un bâtiment assez récent à ossature métallique.



Figure 4.1.1 : Bâtiment d'activité de faible volume



Figure 4.1.2 : Bâtiment d'activité de grand volume

4.2 - Zone d'affaissement potentiel 2

Cette zone contient peu de construction également. Elle est située en périphérie Sud-Est de la ville, à une distance d'environ 3km du centre. Sur la zone, on observe que des bâtiments à usage industriel. Ces bâtiments sont en général de forme complexe et de grandes dimensions.

La figure 4.2.1 est un exemple de bâtiment industriel de très grande longueur. Il est en métal, et sans étage surélevé.



Figure 4.2.1 : Bâtiment industriel de grande longueur

Les figures 4.2.2 et 4.2.3 représentent l'ensemble des constructions industrielles dont la forme est plus complexe que celle de l'exemple précédent. Les structures sont pour la plupart en acier avec une très faible proportion de bâtiments en béton armé ou en maçonnerie.



Figure 4.2.2 : Constructions industrielles de forme complexe



Figure 4.2.3 : Constructions industrielles de forme complexe

On rappelle que les zones d'affaissement potentiel 3, 4 et 5 ne contiennent aucune construction entière. L'analyse qui suit concerne donc les zones d'affaissement potentiel de 6 à 13.

4.3 - Zone d'affaissement potentiel 6

La plupart des bâtiments observés sur la zone sont des maisons individuelles à structures maçonnées, à simple rez-de-chaussée (figure 4.3.1) ou avec un sous-sol partiel (figure 4.3.2) ou encore de forme complexe en « L » (figure 4.3.3).



Figure 4.3.1 : Maison individuelle récente de forme compacte



Figure 4.3.2 : Maison individuelle relativement récente avec sous-sol partiel



Figure 4.3.3 : Maison individuelle récente avec une irrégularité en plan

On constate également sur la zone des maisons de conception récente sur deux niveaux et sans sous-sol (figures 4.3.4 et 4.3.5). Ces dernières sont à ossature en béton armé et elles disposent de grandes ouvertures, notamment le garage intégré.



Figure 4.3.4 : Maison individuelle récente sur deux niveaux avec garage intégré



Figure 4.3.5 : Maison individuelle récente sur deux niveaux avec garage intégré

Les figures 4.3.6 et 4.3.7 représentent des maisons individuelles relativement récentes et jumelées, chaque bloc de deux constructions étant isolé des autres. Chaque maison possède trois niveaux, un rez-de-chaussée, des combles aménagés et un sous-sol partiel. Elles sont toutes à ossature en béton armé.



Figure 4.3.6 : Maisons individuelles récentes jumelées



Figure 4.3.7 : Maisons individuelles récentes jumelées

On observe sur une des rues de la zone des bâtiments accolés les uns aux autres et assez anciens (figures 4.3.8 à 4.3.10). Ces bâtiments se situent sur un terrain accidenté à pente importante.



Figure 4.3.8 : Maisons individuelles en bande



Figure 4.3.9 : Maisons individuelles en bande



Figure 4.3.10 : Maisons individuelles en bande

On rappelle que la grande longueur de cet ensemble de bâtiments est un point critique face au risque d'affaissement. Ce risque est encore amplifié par les décalages existants entre les planchers des constructions successives.

4.4 - Zone d'affaissement potentiel 7 et 8

La zone 8 s'est effondrée en 1873 et la zone 7 est incluse dans la zone 8. On observe sur les deux zones très peu de constructions, dont une maison ancienne (figure 4.4.1) et des constructions industrielles (figures 4.4.2 et 4.4.3). Ces dernières sont des ouvrages singuliers de forme complexe et de grande hauteur et elles sont essentiellement en métal ou en béton fortement armé.



Figure 4.4.1 : Maison individuelle ancienne



Figure 4.4.2 : Constructions industrielles



Figure 4.4.3 : Constructions industrielles

4.5 - Zone d'affaissement potentiel 9

La zone contient un grand nombre de maisons individuelles anciennes (voir figures 4.5.1 et 4.5.2) :



Figure 4.5.1 : Maison individuelle ancienne



Figure 4.5.2 : Maison individuelle ancienne

On trouve également des maisons anciennes jumelées (figures 4.5.3 à 4.5.5) construites sur un terrain accidenté de pente importante, chaque maison possédant deux niveaux, un rez-de-chaussée avec des combles,



Figure 4.5.3 : Maisons individuelles anciennes jumelées



Figure 4.5.4 : Maisons individuelles anciennes jumelées



Figure 4.5.5 : Maisons individuelles anciennes jumelées

ou encore des maisons relativement anciennes dont les formes sont assez identiques (figures 4.5.6 et 4.5.7).



Figure 4.5.6 : Maisons individuelles relativement anciennes de forme identique



Figure 4.5.7 : Maisons individuelles relativement anciennes de forme identique

En dehors des maisons individuelles, on constate sur la zone des constructions en acier à usage industriel (figure 4.5.8).



Figure 4.5.8 : Constructions industrielles à ossature métallique

4.6 - Zone d'affaissement potentiel 10

Cette zone se situe au centre de la commune. Elle contient plusieurs maisons d'ancienneté très différente. Soit anciennes (figures 4.6.1 et 4.6.2),



Figure 4.6.1 : Maison individuelle ancienne



Figure 4.6.2 : Maisons individuelles anciennes



Figure 4.6.3 : Maison individuelle ancienne

soit récentes (figures 4.6.4 à 4.6.6)



Figure 4.6.4 : Maison individuelle récente



Figure 4.6.5 : Maison individuelle récente



Figure 4.6.6 : Maison individuelle récente

On trouve également des maisons construites sur un terrain accidenté de pente importante (figures 4.6.7 et 4.6.8)



Figure 4.6.7 : Maisons individuelles sur terrain de pente importante



Figure 4.6.8 : Maisons individuelles sur terrain de pente importante

ou encore un bâtiment d'activité (figure 4.6.9).



Figure 4.6.9 : Bâtiment d'activité

En dehors des maisons d'habitation, la zone contient des bâtiments recevant du public (figures 4.6.10 et 4.6.11)



Figure 4.6.10 : Bâtiment recevant du public



Figure 4.6.11 : Bâtiment recevant du public

et une école maternelle (figure 4.6.12).



Figure 4.6.12 : École maternelle

4.7 - Zone d'affaissement potentiel 11

Cette zone contient en particulier des bâtiments d'habitations collectives (figures 4.7.1 à 4.7.4) dont la conception est moderne et offre probablement une ductilité supérieure aux maisons individuelles. Leur structure est généralement en béton armé avec une toiture lourde, cette dernière étant aussi en béton armé. Les ouvertures sont nombreuses mais restent relativement petites.



Figure 4.7.1 : Grand bâtiment d'habitation collectif



Figure 4.7.2 : Grand bâtiment d'habitation collectif



Figure 4.7.3 : Grand bâtiment d'habitation collectif



Figure 4.7.4 : Grand bâtiment d'habitation collectif

En dehors de ces bâtiments, cette zone contient aussi des maisons individuelles anciennes dont l'état est dégradé (figures 4.7.5)



Figure 4.7.5 : Maisons anciennes dégradées

et anciennes (par exemple de la figure 4.7.6)



Figure 4.7.6 : Maisons anciennes

ou maisons individuelles récentes sur deux niveaux (figures 4.7.7 et 4.7.8).



Figure 4.7.7 : Maison individuelle récente sur deux niveaux



Figure 4.7.8 : Maison individuelle récente sur deux niveaux

4.8 - Zone d'affaissement potentiel 12

La plupart des bâtiments observés sur la zone sont des maisons individuelles récentes bien entretenues sur deux niveaux (figures 4.8.1 à 4.8.3)



Figure 4.8.1 : Maison individuelle récente sur deux niveaux



Figure 4.8.2 : Maison individuelle récente sur deux niveaux



Figure 4.8.3 : Maison individuelle récente sur deux niveaux

parmi lesquelles certaines sont construites sur un terrain accidenté de pente importante (figures 4.8.4 et 4.8.5).



Figure 4.8.4 : Maison individuelle récente sur un terrain de pente importante



Figure 4.8.5 : Maisons sur un terrain de pente importante

4.9 - Zone d'affaissement potentiel 13

Cette zone représente environ 30% de la surface totale affectée par le risque d'affaissement du terrain. Elle se situe à la périphérie Nord de la commune et contient un nombre de maisons individuelles important (figure 4.9.1 à 4.9.7).



Figure 4.9.1 : Maison individuelle sur deux niveaux sans sous-sol



Figure 4.9.2 : Maison individuelle récente sur deux niveaux sans sous-sol avec une toiture complexe



Figure 4.9.3 : Maison individuelle sur deux niveaux avec garage intégré



Figure 4.9.4 : Maison individuelle sur deux niveaux avec garage intégré sur un terrain accidenté



Figure 4.9.5 : Une rue de la zone



Figure 4.9.6 : Deux maisons récentes accolées



Figure 4.9.7 : Grande maison individuelle

4.10 - Synthèse des relevés in situ

Après l'analyse du bâti existant dans la commune de Varangéville, il est possible de classer les constructions selon sept types de bâtiments représentatifs, à savoir :

1. La maison individuelle ancienne,
2. La maison individuelle récente,
3. Le bâtiment d'habitation collectif ou grande maison individuelle,
4. Le petit établissement recevant du public,
5. Le bâtiment commercial ou industriel ancien,
6. Le bâtiment commercial ou industriel récent,
7. Les bâtiments singuliers (principalement les bâtiments industriels de grandes dimensions).

On constate que cette typologie correspond à celle qui avait été établie et retenue pour les précédentes études pour la région Nord-Lorraine.

On rappelle que le cadre de cette étude concerne des constructions neuves. L'observation sur les bâtiments récents existants nous conduit à bâtir une typologie dans laquelle les bâtiments sont à ossature en béton ou à ossature métallique.

5 - RÉCAPITULATIF SUR LA TYPOLOGIE À RETENIR ET COMPARAISON À CELLE QUI AVAIT ÉTÉ RETENUE POUR LE BASSIN FERRIFÈRE NORD-LORRAIN

Les cinq types de bâtiments qui avaient été retenus pour représenter les constructions neuves dans le bassin nord lorrain sont rappelés comme suit.

Type 1 - Bâtiment à rez-de-chaussée, à ossature en béton avec façade ouverte.

- Murs en blocs de béton et charpente traditionnelle.
- Mur de façade ouvert.
- Bâtiment à simple rez-de-chaussée sans sous-sol.
- Surface au sol : largeur 4 m – longueur 8 m.

Exemple d'usage: annexe, garage, abri.

Type 2 - Bâtiment à rez-de-chaussée et un étage partiel, à ossature en béton.

- Murs porteurs en béton armé, remplissage de murs en blocs de béton. Ossature sans éléments fragiles tels que murs rideau, grands porte-à-faux, éléments très élancés.
- Dimensions régulières et vastes (hauteur de mur supérieure à 3 m, nombreuses ouvertures...).
- Bâtiment sur un seul niveau (rez-de-chaussée de grande hauteur), plus une partie à deux niveaux (rez-de-chaussée et un étage de hauteur courante) et sans sous-sol.
- Surface au sol : largeur 12 m – longueur 20 m.

Exemple d'usage : salle des fêtes, cantine, petit ERP.

Type 3 - Bâtiment à rez-de-chaussée et un étage, à ossature en béton.

- Murs chaînés en blocs de béton et charpente traditionnelle. Ossature sans éléments fragiles tels que grandes trémies, grands balcons, éléments très élancés.
- Dimensions standard (hauteur de mur inférieure à 3 m, petites ouvertures...).
- Surface au sol : largeur 9 m – longueur 14 m.

- Bâtiment de forme compact, sans sous-sol et sur deux niveaux (rez-de-chaussée et combles).

Exemple d'usage : maison individuelle.

Type 4 - Bâtiment à rez-de-chaussée et trois étages, à ossature en béton.

- Façades en blocs de béton chaînés, refends en béton armé et charpente traditionnelle ou toiture terrasse inaccessible. Ossature sans éléments fragiles tels que grandes trémies, grands balcons, éléments très élancés.
- Dimensions standard (hauteur d'étage inférieure à 3 m, petites ouvertures...).
- Surface au sol : largeur 15 m – longueur 25 m.
- Bâtiment de forme compact sur quatre niveaux : rez-de-chaussée et trois étages, sans sous-sol.

Exemple d'usage : bâtiment d'habitation collectif, bureaux.

Type 5 - Bâtiment à rez-de-chaussée, à ossature métallique.

- Structure porteuse de type portique métallique et façades en bardage métallique. Ossature régulière et ne comportant pas d'éléments fragiles (grands porte-à-faux, éléments très élancés...).
- Revêtements de sol non fragiles, pas d'exigence particulière pour la planéité du plancher bas du rez-de-chaussée.
- Bâtiment sur un seul niveau (rez-de-chaussée).
- Dimensions : largeur 18 m – longueur 30 m – hauteur 5 m.
- (ou largeur 15 m – longueur 18 m – hauteur 12 m)
- Bâtiment de forme compact.

Exemple d'usage : entrepôt, bâtiment d'activité.

On constate que la typologie qui a été retenue pour les constructions neuves dans le bassin ferrifère nord-lorrain représente qualitativement l'ensemble des bâtiments récents existants constatés lors des visites in situ.

6 - CONCLUSIONS

En résumé, on constate que :

- Le phénomène d'effondrement brutal et généralisé du terrain concerne l'ensemble des quartiers 1 à 13, à l'exception du quartier 8 déjà effondré où l'affaissement est progressif.
- Les niveaux d'aléas ne dépassent pas, pour la zone d'affaissement progressif (le quartier 8), ceux qui avaient été retenus pour l'étude du bassin ferrifère nord-lorrain.
- La typologie du bâti dans la commune de Varangéville, correspond à celle qui avait été retenue pour l'étude du bassin ferrifère nord-lorrain.

En conclusion de ce qui précède, pour le cas de l'affaissement progressif (quartier 8), il est possible d'appliquer sans modification les règles de constructibilité qui avaient été établies pour le bassin ferrifère nord-lorrain. Les constructions neuves sortant de la typologie visée doivent être étudiées au cas par cas.

Au contraire, dans le cas d'effondrement brutal et généralisé (quartiers 1 à 13, à l'exception du quartier 8), phénomène imprévisible sans surveillance, aucune dispositions constructives connues à ce jour ne permettent d'assurer la sécurité des personnes en cas de réalisation de ce phénomène.

Remarque :

Dans les conditions de mine sèche, le risque d'affaissement vient du fait que le sel a un comportement visqueux qui occasionne le phénomène de fluage, le sel se déformant au cours du temps sous charge constante jusqu'à la fermeture totale des vides [3]. À titre d'information, les valeurs de mise en pente au bout d'une durée de 100 ans sont les suivantes :

Tableau 2: Valeur de mise en pente au bout de 100 ans, par quartier [3]²

Quartiers	Valeur de mise en pente
1, 7, 9, 10	<1%
2	<0,2%
3, 11, 12	<0,3%
4, 5, 6	<0,6%
13	<3%

² L'aléa d'affaissement par fluage relié au quartier 8 n'est pas retenu du fait que ce dernier est effondré déjà en 1873.

On note que l'intensité de l'aléa a été évaluée de manière sécuritaire sur une durée de 100 ans [3], l'affaissement étant progressif. Celle-ci a été qualifiée de « très limitée » à « limitée », ce qui conduit Geoderis à ne pas retenir d'aléa significatif. Néanmoins, par retour d'expérience, une première étude effectuée par le CSTB en 2002 sur les zones d'affaissements progressifs montre un endommagement du bâti important, même avec des pentes faibles. Par exemple, pour les maisons individuelles, le coût des réparations est supérieur de 15% au coût global de la construction neuve pour des pentes supérieures à 0,8%. De ce point de vue, et en tenant compte des intensités qui se produiront sur une durée d'une centaine d'années par exemple, des dispositions constructives spécifiques sont nécessaires, notamment pour le quartier 13 ayant une mise en pente allant jusqu'à 3%.

7 - REFERENCES

- [1] **Geddes J.D.** - " Structural design and ground movements. Ground movement and their effects on structures " - *Surrey University Press* - 1984.
- [2] **Deck O., Al Heib M., Homand F., Gueniffey Y., Wojtkowiak F.** - " Méthodes de prévision des dégradations des structures bâties en zone d'affaissement minier " - *Revue française de Géotechnique*, 15-33. <ineris-00961864>.- 2002.
- [3] **Geoderis** - " Mine de sel de Varangéville. Évaluation des aléas mouvements de terrain associés aux quartiers anciens " - *Rapport E2013/190DE - 13LOR2230* - 27/01/2014.