



Liberté • Égalité • Fraternité  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PRÉFET DU LOIRET

Direction départementale des territoires



# Probabilité d'occurrence de l'aléa karstique dans le Val de Bou

\* \* \*

## RECOMMANDATIONS

\* \* \*

## Commune de Mardié



*Crédit photo : © /Cerema*

## Table des matières

1 - Implantation d'un projet – portée des préconisations constructives.....	3
2 – Recommandations pour constructions neuves ou extensions.....	3
2.1 – Réaliser une étude de sol.....	3
2.2 - Rigidification et adaptation du système de fondation.....	4
2.3 - Renforcement de la structure du bâti.....	5
3 - Recommandations pour l'amélioration des sols en fonction des résultats des études de sols...	6
3.1 - Amélioration du sol support par injection des sols en zones bâties.....	6
3.2 - Renforcement du sol par géotextiles ou géogrilles pour les zones non bâties.....	7
4. - Synthèse des recommandations.....	8
5 - Impact de ces recommandations sur le coût de la construction.....	9

# Réduction de la vulnérabilité du bâti neuf dans le Val de BOU

## Probabilité d'occurrence de l'aléa karstique

Les présentes **recommandations** font suite à l'étude d'occurrence de l'aléa karstique dans le Val de Bou produite par le CEREMA fin 2017.

### 1 - Implantation d'un projet – portée des préconisations constructives

La connaissance de l'aléa effondrement du sol lié à un événement d'origine karstique reste très difficile à établir à l'échelle de la parcelle. Les recherches et études basées sur des recensements d'effondrements passés et sur des hypothèses géologiques éprouvées (position relative par rapport à la Loire ou à d'anciens paléo-chenaux) amènent toutefois des connaissances intéressantes permettant aux communes de privilégier certaines zones d'urbanisation par rapport à d'autres. Ainsi, la démarche menée pour le Val de Bou mérite d'être citée et a abouti à une carte d'aléa basée sur la seule probabilité d'occurrence du phénomène.

Cette cartographie a permis à la Direction Départementale des Territoires du Loiret d'élaborer un Porter à Connaissance sur les Communes de Chécy, Bou et Mardié avec un ensemble de recommandations en fonction de la probabilité d'occurrence d'un effondrement karstique.

L'étude du CEREMA a identifié quatre niveaux d'aléa qui sont les suivants ; **Faible ; Moyen ; Fort et Très fort.**

Les recommandations constructives qui vont suivre s'appliquent plus particulièrement à la construction des maisons individuelles ou extensions réalisées couramment sans plan de ferrailage prenant en compte l'apparition de fontis. Elles ont pour objectif de **réduire l'endommagement** prévisible de la construction à la survenance d'un fontis ponctuel dont l'ouverture correspond au maximum à deux mètres (85% des cas). **Elles ne permettent pas à la structure de rester intacte** mais doivent permettre l'évacuation du bien et d'éviter les sur-accidents.

L'essentiel des recommandations constructives listées ci-dessous est issu d'un ouvrage<sup>1</sup> édité en 2011 par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) dans le cadre d'une étude visant des effondrements de type minier. D'autres recommandations sont issues d'échanges avec des professionnels de la maçonnerie travaillant dans la région Centre / Val de Loire et du Document Technique Unifié (DTU-20.1).

### 2 – Recommandations pour constructions neuves ou extensions

#### 2.1 – Réaliser une étude de sol

Cette recommandation ne s'applique pas dans la zone d'aléa faible.

---

<sup>1</sup> Guide de dispositions constructives pour le bâti neuf situé en zone d'aléa de type fontis de niveau faible – CSTB, 2011

**Dans toutes les autres zones d'aléa karstiques**, la réalisation d'une étude de sol visant soit à prouver l'absence de risque d'effondrement au droit de la parcelle considérée soit à adapter le projet à la présence des vides (G2 AVP ou G2 PRO selon NFP 94-500) est fortement recommandée.

## 2.2 - Rigidification et adaptation du système de fondation

Vis-à-vis des fondations, **dans toutes les zones d'aléa karstiques**, il est recommandé :

- de répartir de façon homogène les charges sur les fondations.

Vis-à-vis des fondations, **dans toutes les zones d'aléa karstiques à l'exception de l'aléa faible**, il est recommandé :

- de pratiquer une surlargeur aux semelles de l'ordre de 2 mètres (illustration 1) ;
- de réaliser des fondations superficielles de type semelles filantes, organisées en forme de caisson dont la maille maximale est de 5m x 5m (illustration 2) et fondées sur un même niveau (sans décrochement vertical – illustration 3) ;

Vue en coupe

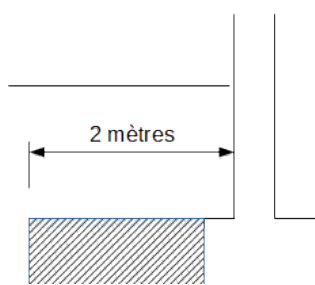


Illustration 1: Réalisation d'une surlargeur des fondations

Vue en plan

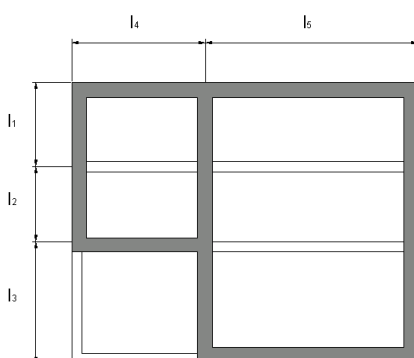
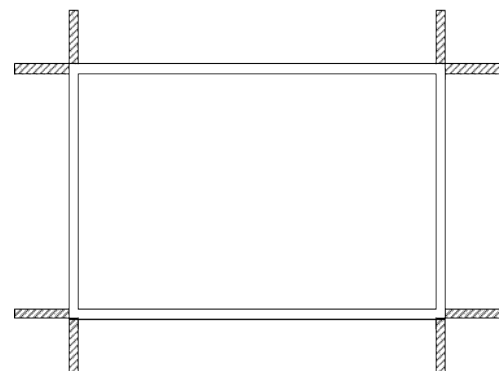


Illustration 2: Exemple de plan de masse identifiant les "caissons" formés par les semelles filantes

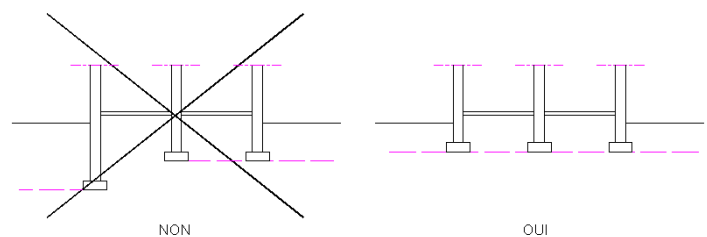


Illustration 3: Niveau d'assise des fondations

- de réaliser un ensemble homogène semelle-mur de soubassement en béton armé de sorte de créer une poutre en T renversé avec une rigidification classique pour la

région (2 cadres de 6 HA8<sup>2</sup>) (solution améliorée de l'illustration 4). Il est également possible d'utiliser la solution préfabriquée pour réaliser le soubassement (inclusion d'une longrine en Béton Armé préfabriquée dans le soubassement au-dessus de la semelle) ;

- À défaut d'armer le soubassement, une rigidification de la semelle (solution courante de l'illustration 4) est également possible avec un mode opératoire classique pour le soubassement et l'insertion de barres métalliques supplémentaires dans la semelle (section d'armature de plus de 9cm<sup>2</sup> à atteindre).

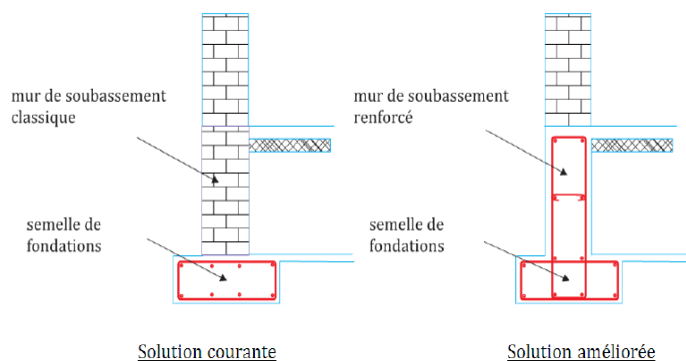


Illustration 4: Système de fondation en "T inversé"

**Dans toutes les zones d'aléa karstiques à l'exception de l'aléa faible**, il est recommandé :

- dans le cas de fondations isolées (situation à éviter autant que faire ce peut), que celles-ci soient reliées aux autres fondations par des pontages permettant de redistribuer les charges au sol.

**Dans toutes les zones d'aléa karstiques**, il est recommandé :

- que le plancher bas soit réalisé en éléments préfabriqués de poutrelles en béton armé ou précontraint et entrevous associés à une dalle de compression coulée en place et armée par un treillis soudé. **La réalisation de dallage sur terre-plein est à proscrire.**

### 2.3 - Renforcement de la structure du bâti

En termes de renforcement de la structure du bâti, nous rappellerons ici les spécifications élémentaires du DTU 20.1 en termes de positionnement des chaînages verticaux et horizontaux.

**Dans toutes les zones d'aléa karstiques**, il est recommandé :

- de réaliser des chaînages verticaux au moins dans les angles saillants et rentrants des maçonneries, ainsi que de part et d'autre des joints de fractionnement du bâtiment. Ces armatures doivent être ancrées par retour d'équerre dans les

2 2 cadres de 6 aciers hautes adhérences de diamètre 8 millimètres

planchers ou les chaînages horizontaux. Les recouvrements sont établis pour assurer la continuité.

- de réaliser les chaînages horizontaux : les murs en maçonnerie porteuse et en maçonnerie de remplissage sont ceinturés au niveau du plancher bas du rez-de-chaussée ou du dallage, à chaque étage, au niveau des planchers, ainsi qu'en couronnement des murs libres en tête, par un chaînage horizontal en béton armé, continu, fermé. Ce chaînage ceinture les façades et les relie au droit de chaque refend.

**Dans toutes les zones d'aléa karstiques à l'exception de l'aléa faible**, il est recommandé :

- de renforcer les chaînages verticaux et horizontaux avec les recommandations suivantes :

Type de chaînage	Construction à un niveau (R+1)	Construction à deux niveaux (R+2)
Vertical	<b>3 HA10 *</b>	3 HA14
Horizontal	<b>3 HA10 *</b>	3 HA14

*\* Pour une construction typique à un seul niveau, la recommandation consiste donc à ajouter une barre de HA10 en plus de l'habituelle armature de chaînage (2HA10).*

Les chaînages sont préconisés sur la base de 3 armatures pour être utilisés dans des réservations de blocs de maçonnerie de diamètre 15cm en respectant les 3cm d'enrobage nécessaires.

### **3 - Recommandations pour l'amélioration des sols en fonction des résultats des études de sols**

Ces recommandations ne s'appliquent pas dans la zone d'aléa faible.

#### **3.1 - Amélioration du sol support par injection des sols en zones bâties**

La méthode la plus efficace consiste à injecter du coulis ou un produit à base de liant hydraulique, dans les terrains de surface non cohésifs sur une certaine épaisseur. L'objectif est de créer une couche de terrain renforcée, suffisamment cohérente pour faire « barrage » à la propagation de la perturbation provenant du sous-sol (phénomène de suffosion).

En pratique, il s'agit de définir une maille systématique de sondages (par exemple une maille carrée de 2,50m) et de procéder sur une épaisseur donnée (qui doit être définie par une étude spécifique) à une injection sous pression des sols par un coulis.

Ces opérations d'injections sont sensibles et doivent faire l'objet d'un suivi topographique précis en surface pour éviter tout désordre au bâti avoisinant et aux réseaux enterrés.

La mise en œuvre de cette méthode est assez coûteuse (de l'ordre de 250 €/m<sup>2</sup> HT et hors installation de chantier) mais, elle est probablement celle qui amènera le meilleur compromis coût / sécurité. Elle peut s'appliquer à la fois sur des zones déjà construites et sur des zones non-bâties.

### 3.2 - Renforcement du sol par géotextiles ou géogrilles pour les zones non bâties

Le rôle d'une géo-grille mise en place au sein d'une zone de fontis potentiel consiste à supporter les éléments le surplombant en s'appuyant sur l'effet d'arche et à éviter toute déformation inadmissible susceptible de mettre en péril les usagers des terrains sus-jacents. L'objectif est d'éviter une rupture brutale de la surface en « amortissant » le phénomène sous la forme d'un affaissement.

Cette solution est envisageable pour protéger des zones (illustration 5) dont la vocation d'être non bâties (espace verts, parcs, parkings, routes...). Elle est estimée à environ 110€ du mètre carré. Elle est donc plus économique qu'une solution de renforcement par injection.



*Illustration 5: Mise en place d'une géo-grille dans un parc paysager du Val de Marne*

On notera toutefois la limite technique que constitue l'enfouissement de la géo-grille entre 50 et 80cm sous le terrain naturel vis-à-vis des réseaux existants et futurs. Enfin, il est rappelé que cette technique n'est pas adaptée pour protéger des espaces bâtis.

#### 4. - Synthèse des recommandations

Recommandations (CSTB-2011/CEREMA)	Aléas de probabilité d'effondrement			
	Faible	Moyen	Fort	Très Fort
Réaliser une étude de sol (type G2AVP ou G2PRO)	Non	Oui	Oui	Oui
Répartir de façon homogène les charges sur les fondations	Oui	Oui	Oui	Oui
Réaliser une surchargeur de la semelle de fondation en patte d'oie	Non	Oui	Oui	Oui
Réaliser les fondations de types semelles filantes organisée en caissons (mailles 5m x 5m) sans décrochement vertical	Non	Oui	Oui	Oui
Réaliser les soubassements semelle-mur en Béton Armé ou préfabriqué pour créer une poutre en T inversé	Non	Oui	Oui	Oui
A défaut de la solution améliorée (T inversé) insertion de barres métalliques supplémentaires dans la semelle de la solution courante	Non	Oui	Oui	Oui
En cas de fondations isolées (à éviter), réaliser une liaison entre les fondations (pontage) pour redistribuer les charges	Non	Oui	Oui	Oui
Réaliser le plancher du rez-de-chaussée sur vide sanitaire en poutrelles et entrevous associés à une dalle de compression coulée en place	Oui	Oui	Oui	Oui
Réaliser des chaînages verticaux au moins dans les angles saillants et rentrants des maçonneries, ainsi que de part et d'autres des joints de fractionnement. Ces armatures doivent être ancrées par retour d'équerre dans les planchers ou chaînages horizontaux	Oui	Oui	Oui	Oui
Réaliser des chaînages horizontaux aux niveaux des planchers et des couronnements des murs libres en tête	Oui	Oui	Oui	Oui
Renforcement des chaînages horizontaux et verticaux	Non	Oui	Oui	Oui



## 5 - Impact de ces recommandations sur le coût de la construction

**Pour une construction neuve type d'environ 112 mètres carrés** au sol dont les plans sont simples (forme rectangulaire de 8 mètres par 14) et présentant un seul niveau<sup>3</sup>, les surcoûts de construction impliqués par les recommandations sont estimés.

Pour tout autre type de construction l'impact de l'application de ces recommandations doit être chiffré finement.

Les informations qui concernent les prix doivent être entendues comme indicatives, car elles sont issues de diverses sources (devis professionnels, entreprises spécialisées, base de données de prix de la construction, coût moyen constaté...) et sont donc soumises aux variations du marché.

Recommandations en zone d'aléa	Conséquences	Surcoût / construction classique (HT)
Étude géotechnique visant à s'assurer de l'absence de cavité souterraine au droit du projet	Étudier le sol du projet par réalisation de sondages de reconnaissance et donner des recommandations spécifiques vis-à-vis des cavités souterraines	environ 3 500,00 €
Amélioration du sol support par injection	Renforcer les sols du projet en injectant du coulis sous pression	environ 250 € / m <sup>2</sup> hors installation de chantier.
Renforcement du sol par géotextiles ou géogrilles	Renforcer les sols du projet en intercalant une grille « parachute » dans le sol	environ 110 € / m <sup>2</sup>
Adaptation des semelles filantes et du soubassement	Réalisation de caissons de 5 × 5m) Ajout de 16 ml de semelles et soubassement	<i>Surcoût incorporé dans les deux lignes à suivre</i>
	Semelles en T inversé, soubassement en BA	<b>Non chiffré *</b>
	Semelles traditionnelles (pas de modification du soubassement) avec renforcement du ferrailage	Entre 2 500 et 3 000 €
Dalle sur vide sanitaire		pas de surcoût
Renforcement de la structure	Renforcement du chaînage vertical	environ 110 €
	Renforcement du chaînage horizontal	environ 280 €

\* car difficilement réalisable pour des projets simples

3 Attention au niveau habitable obligatoire au-dessus des PHEC en zone inondable

Hypothèses prises en compte pour le calcul des surcoûts :

- maison rectangulaire de 8 mètres sur 14 mètres,
- soubassement de 80cm de profondeur,
- semelles filantes de 50cm de large sur 30cm de profondeur.

Au global, il apparaît que si les recommandations minimales (hors amélioration des sols par injection ou géogrid) sont mises en œuvre pour la construction d'un pavillon simple type, le coût global de celui-ci sera majoré de 7 100€ à 7 700€ HT.