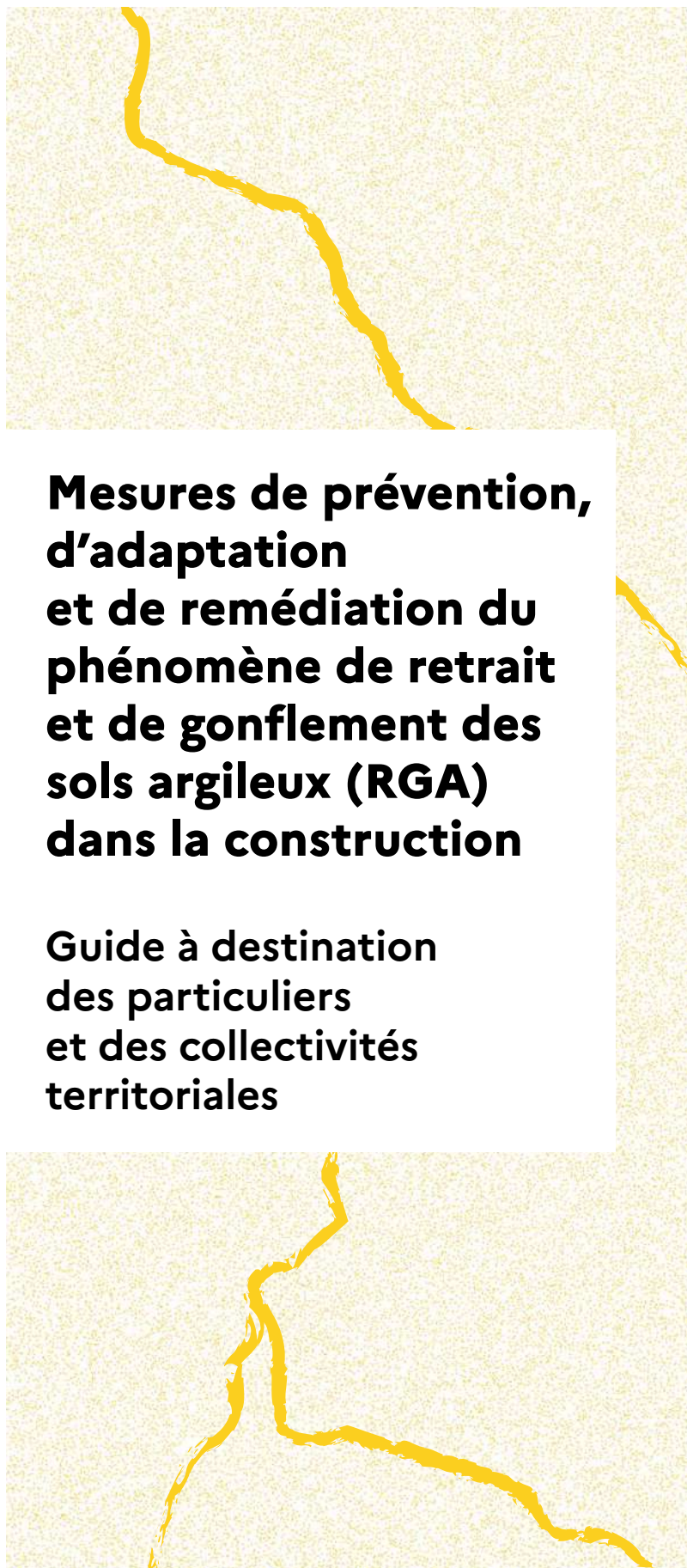




GOUVERNEMENT

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Mesures de prévention, d'adaptation et de remédiation du phénomène de retrait et de gonflement des sols argileux (RGA) dans la construction

**Guide à destination
des particuliers
et des collectivités
territoriales**

REMERCIEMENTS

Ce guide a été élaboré dans le cadre de la mesure 5 « protection de la population des désordres sur les bâtiments liés au retrait-gonflement des argiles » du Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC 3) porté par le Gouvernement.

Il vise à promouvoir la compréhension et la diffusion des solutions de prévention dites horizontales du phénomène de retrait-gonflement des argiles (RGA) dans la construction, lorsqu'elles sont adaptées.

L'élaboration de ce guide a été initiée par la **Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature** (DGALN) du ministère de la Transition écologique et a été pilotée par la Direction de l'Habitat, de l'Urbanisme et des Paysages (DHUP).

Le groupe de rédaction du guide était constitué des membres suivants :

Lamine IGHIL AMEUR (Cerema) ;

Duc Toan PHAM (CSTB) ;

Omar AL MANSOURI (CSTB).

SUIS-JE CONCERNÉ PAR CE GUIDE ?

Ce guide est destiné aux particuliers propriétaires et aux collectivités territoriales propriétaires de maisons individuelles principalement situées en zones d'exposition moyenne et forte au RGA, non sinistrées ou présentant quelques désordres précoces (quelques microfissures ou fissures dont l'ouverture est inférieure à 1 mm).

Il traite prioritairement les maisons individuelles car ce sont les constructions les plus vulnérables au

phénomène de retrait-gonflement des argiles du fait de leurs fondations superficielles.

Dans la mesure du possible, il est recommandé de rassembler et de conserver l'ensemble des documents et informations relatives à la construction en sa possession, tels que les plans y compris des fondations et éventuelles préconisations géotechniques associées, réseaux VRD (voiries et réseaux divers) et études géotechniques existantes.

OBJET DU GUIDE

Ce guide vise à apporter aux particuliers et aux collectivités territoriales les clés de compréhension du phénomène de retrait et de gonflement des sols argileux et de la démarche globale de prévention de ce phénomène, pour choisir en priorité les solutions dites horizontales les plus pertinentes à mettre en œuvre et adaptées à chaque construction concernée.

En cas d'apparition de premiers désordres, le recours aux solutions dites verticales peut être complémentaire des solutions horizontales.

La démarche de réalisation de travaux de prévention et d'adaptation du phénomène de retrait-gonflement des argiles dans l'habitat individuel existant et neuf comprend plusieurs étapes successives qui doivent être suivies par le maître d'ouvrage (propriétaire occupant de la maison individuelle, collectivité territoriale) :

1. S'INFORMER sur l'exposition de la construction concernée (*parties 1 et 2 du guide*). Pour obtenir une information relative à l'exposition au RGA, le maître d'ouvrage peut :

a. Consulter le site du ministère en charge de la transition écologique : <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/sols-argileux-seche-resse-construction> ;

b. Consulter le site gouvernemental : www.georisques.gouv.fr et faire une recherche par adresse postale pour savoir à quels risques naturels et technologiques une zone est exposée et ainsi mieux connaître les risques près de chez soi ;

c. Si la commune est couverte par un Plan de Prévention des Risques de retrait-gonflement des argiles, le consulter en mairie, à la préfecture du département ou sur le site de la Direction Départementale des Territoires (et de la Mer) – DDT(M).

2. FAIRE DIAGNOSTIQUER la vulnérabilité de la construction concernée par rapport au phéno-

mène de retrait-gonflement des argiles en déroulant une méthodologie adaptée (*partie 3 du guide*) ;

3. SÉLECTIONNER - À L'AIDE D'UN PROFESSIONNEL - LES MESURES de prévention et d'adaptation horizontales en premier lieu puis éventuellement les mesures verticales, les plus pertinentes au vu de l'exposition identifiée, du diagnostic établi, de la situation de la construction et de l'économie du projet (*parties 4 et 5 du guide*) ;

4. FAIRE RÉALISER LES TRAVAUX par un ou plusieurs professionnels qualifiés (bureaux d'études techniques spécialisés en RGA, hydrologue-hydrogéologue, bureaux d'études géotechnique, entreprises spécialisées en gestion des eaux et de l'assainissement, en environnement, professionnels de la construction intervenant sur les fondations, la structure du bâti) (*parties 4 et 5 du guide*).

QUAND REALISER LES TRAVAUX ?

La prise en compte de la temporalité pour réaliser les travaux est déterminante pour la réussite des solutions hydriques déployées :

- Les travaux de suppression des arrivées d'eau (drains, descentes d'eaux pluviales, fuites) doivent être réalisés en fin de période sèche, à la fin de l'été ;
- Les dispositifs de confinement des argiles (membranes, écrans anti-racines) doivent être

posés en fin de période humide, avant le printemps.

Il convient également de tenir compte des spécificités locales du terrain : variabilité latérale des argiles, présence de nappes d'eau souterraines, effets de pente ou d'accumulation d'eau, présence de pièges à eau anthropiques.

NOMENCLATURE DES FICHES SOLUTIONS

SOLUTIONS DE PRÉVENTION ET D'ADAPTATION DITES HORIZONTALES

Fiche 1 - Collecter et évacuer les eaux avec raccordement à un réseau étanche ; **p.21**

Fiche 2 - Installation et entretien des ouvrages de collecte des eaux pluviales séparés du réseau de drainage déporté ; **p.22-23**

Fiche 3 - Installation d'un dispositif de drainage périphérique déporté ; **p.24-25**

Fiche 4 - Pose d'écran anti racines (EAR) ; **p.26-27**

Fiche 5 - Entretien de la végétation ; **p.28**

Fiche 6 - Imperméabilisation horizontale du pourtour de la maison (drainée et non drainée) ; **p.29-30**

SOLUTIONS DE REMÉDIATION DITES VERTICALES

Fiche 7 - Mise en place de plots jointifs réalisés par phases alternées ; **p.32**

Fiche 8 - Mise en place de plots discontinus reliés ou non par une longrine ; **p.33**

Fiche 9 - Mise en place de micropieux et minipieux ; **p.34**

Fiche 10 - Confortement de sols par injections de matériaux sous les fondations ; **p.35**

Fiche 11 - Réduction des frottements latéraux ; **p.36**

Fiche 12 - Protection contre le soulèvement sous les fondations ; **p.37**

Fiche 13 - Remplacement d'un dallage par un plancher ; **p.38**

Fiche 14 - Rigidification de la structure ; **p.39-40**

Fiche 15 - Réalisation de joints de rupture ; **p.41**

Fiche 16 - Réparation des fissures ; **p.42**

SOMMAIRE

INTRODUCTION	6
1. LE PHÉNOMÈNE DE RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES	7
1.1 Qu'est-ce que le phénomène de RGA ?	7
1.2 Carte d'exposition au RGA	8
2. LA SINISTRALITÉ SÉCHERESSE ET RÉHYDRATATION DES SOLS	9
2.1 Impacts du phénomène de RGA sur le bâti	9
2.1.1 Conséquences de la mauvaise gestion des eaux	11
2.1.2 Conséquences de la présence de végétation	12
2.1.3 Apparition et aggravation des dommages en l'absence d'une prise en charge	13
2.2 Impacts du changement climatique sur la sinistralité sécheresse et réhydratation des sols	14
3. LA DÉMARCHE DE PRÉVENTION ET D'ADAPTATION DU RGA	15
3.1 Cas des maisons existantes	15
3.2 Cas des constructions neuves	18
3.3 Mesures de prévention et d'adaptation du bâti	18
4. SOLUTIONS « HORIZONTALES » DE PRÉVENTION ET D'ADAPTATION DU RGA	20

5• SOLUTIONS « VERTICALES » DE RÉMÉDIATION AU RGA	31
5.1 Intervention sur les fondations	32
5.1.1 Réalisation d'une reprise en sous œuvre	32
5.1.2 Dispositions constructives propres à limiter l'effet du retrait-gonflement des sols argileux sur les structures	36
5.1.3 Cas des dallages	38
5.2 Intervention sur la structure de l'habitation	39
6• LES TABLEAUX RÉCAPITULATIFS DES SOLUTIONS DE PRÉVENTION ET D'ADAPTATION	44
6.1 Solutions dites horizontales	44-45
6.2 Solutions dites verticales	46-47
7• CONCLUSIONS	49
ANNEXE : RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET DOCUMENTS ASSOCIÉS AUX MESURES DE PRÉVENTION ET D'ADAPTATION DU RGA	51

INTRODUCTION

Depuis 2015, la France connaît des sécheresses de plus en plus fréquentes, précoces et intenses en termes de sinistralité et de coût des dommages associés, imputables aux effets du changement climatique. L'urgence est aujourd'hui à la fois d'adapter le bâti existant, de prendre en compte les nouvelles règles et dispositions constructives pour les bâtiments neufs soumis à la Loi ELAN depuis 2020 et de réaliser les études et reconnaissances de sols nécessaires, basées sur un diagnostic de vulnérabilité de la maison, l'identification des facteurs de prédisposition et des facteurs déclenchant les sinistres RGA, pour bien intégrer le bâtiment dans son environnement proche et mieux bâtir à l'avenir.

Les maisons individuelles construites sur des sols argileux sont particulièrement sensibles aux phénomènes de retrait et de gonflement. Elles peuvent subir des dommages structurels tels que des fissurations des murs, des distorsions de portes ou fenêtres, des dislocations de dallages et de cloisons et, parfois, des ruptures de canalisations enterrées. Les techniques classiques de confortement des fondations sont souvent lourdes à mettre en œuvre, coûteuses et ne traitent pas des causes ayant conduit aux sinistres. En France, une maison sur deux est potentiellement vulnérable au phénomène de sécheresse. Le confortement et la prise en compte des recommandations techniques sont essentiels pour réduire la vulnérabilité au RGA et les dommages consécutifs.

Dans la problématique du RGA, il faut considérer la construction qu'est la maison individuelle, le sol sensible à ce phénomène mais surtout l'environnement proche de la maison. Bien que souvent peu évoqué, l'environnement proche caractérisé par la gestion des eaux et de la végétation autour de la

maison est à prendre en considération car il joue un rôle central dans les dommages subis par la construction.

Aujourd'hui, le bâti exposé peut être identifié grâce aux cartographies du Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM). Dans le cas où une habitation est exposée moyennement ou fortement au RGA, des dispositions relatives à son environnement proche peuvent être très rapidement mises en place pour réduire sa vulnérabilité et l'adapter, notamment à travers des solutions dites horizontales et des procédés existants.

Ce guide a été conçu pour que le lecteur puisse le plus aisément possible, accéder à une information claire, structurée et illustrée sur les mesures de prévention et d'adaptation horizontales pouvant être mises en œuvre pour réduire la vulnérabilité d'une maison individuelle implantée en zone d'exposition au RGA. Les mesures de remédiation verticales pouvant intervenir en complémentarité, elles sont également présentées dans ce guide.

Afin de détailler la démarche globale de prévention et d'adaptation d'une maison individuelle vis-à-vis du RGA, ce guide aborde successivement les sujets suivants :

- La description du phénomène de retrait et de gonflement des argiles ;
- Son impact en termes de sinistralité ;
- L'importance et les principes généraux de la prévention du RGA ;
- Les solutions techniques de prévention et d'adaptation dites horizontales ;
- Les solutions techniques de remédiation dites verticales.

Important :

Avant de mettre en œuvre des solutions retenues, il est essentiel de procéder à une évaluation approfondie du sol en présence pour caractériser la présence d'argiles, de l'environnement proche et de l'état de la construction par un bureau d'étude spécialisé en structure et/ou en géotechnique. Ce bureau d'étude devra établir un diagnostic précis de l'état des lieux de la construction et de son environnement et proposer des solutions techniques adaptées.

1.

LE PHÉNOMÈNE DE RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES

1.1 QU'EST-CE QUE LE PHÉNOMÈNE DE RGA ?

Le retrait-gonflement des argiles (RGA) est un phénomène qui se produit dans les sols contenant des fractions argileuses sensibles aux variations de leur teneur en eau en fonction des conditions météorologiques de sécheresse et de précipitations. Par ailleurs, le phénomène de RGA dépend de la nature minéralogique du sol argileux et de l'environnement proche dans lequel il se produit.

- Avec les précipitations, lorsque la teneur en eau augmente dans un sol argileux, le volume de ce sol augmente, on parle alors de « gonflement des argiles » ;

- À l'inverse, pendant la période de sécheresse, le sol se dessèche et cela se traduit à la fois par l'évaporation de l'eau (baisse de la teneur en eau du sol) et une diminution du volume du sol argileux qui se rétracte, on parle alors de « retrait des argiles ».

Ces variations de volume de sol sont lentes mais elles peuvent atteindre une amplitude assez importante pour endommager les bâtiments localisés sur ces terrains (cf Fig.1).

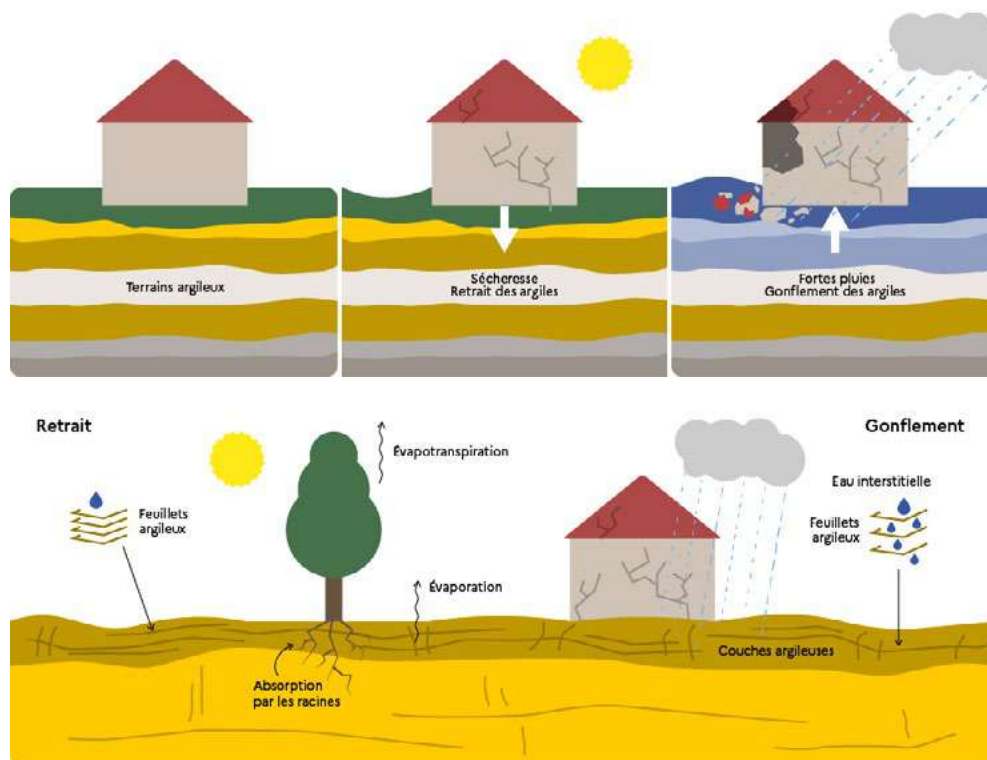


Figure 1 : Mécanisme de fonctionnement du phénomène de retrait-gonflement des sols argileux.

1.2 CARTE D'EXPOSITION AU RGA

La carte d'exposition au RGA a été réalisée en s'appuyant sur deux sources de données :

- **La carte de susceptibilité au RGA**, établie par le BRGM qui a identifié les formations argileuses a priori sujettes au phénomène à partir de la carte géologique de la France au 1/50 000 et les a hiérarchisées selon un degré de susceptibilité croissant (Géorisques, 2024). D'après cette cartographie, **24 % du territoire est en zone de susceptibilité moyenne ou forte**. La susceptibilité d'une maison au RGA résulte d'une hiérarchisation fondée sur trois critères (nature des argiles, composition minéralogique, comportement géotechnique). Elle définit la possibilité pour une maison d'être affectée par un sinistre induit par le RGA en un point donné du territoire métropolitain (SDES, 2021).
- **Les données actualisées et homogénéisées de la sinistralité effectivement observée**, collectées par la Mission Risques Naturels (MRN). La prise en compte de la sinistralité observée dans

le nouveau zonage de l'exposition au RGA (voir fig.2) montre **un net accroissement des zones d'exposition moyenne ou forte au RGA**.

Depuis fin août 2019, la carte d'exposition du territoire au RGA (Fig. 2) remplace la carte de l'aléa retrait-gonflement des argiles de 2013, à l'échelle départementale sur l'ensemble du territoire national et requalifie l'exposition de certains territoires. En effet, **48% du territoire métropolitain est situé en zone d'exposition moyenne ou forte**.

Cette carte présente la situation globale de l'exposition du territoire métropolitain. À l'échelle de la parcelle, la situation réelle peut s'avérer plus ou moins favorable et doit être étudiée spécifiquement.

Cette carte a pour objectif d'identifier les zones exposées au phénomène RGA où s'appliquent les dispositions réglementaires introduites par l'article 68 de la loi ELAN¹, portant évolution du logement, de l'aménagement et du numérique.

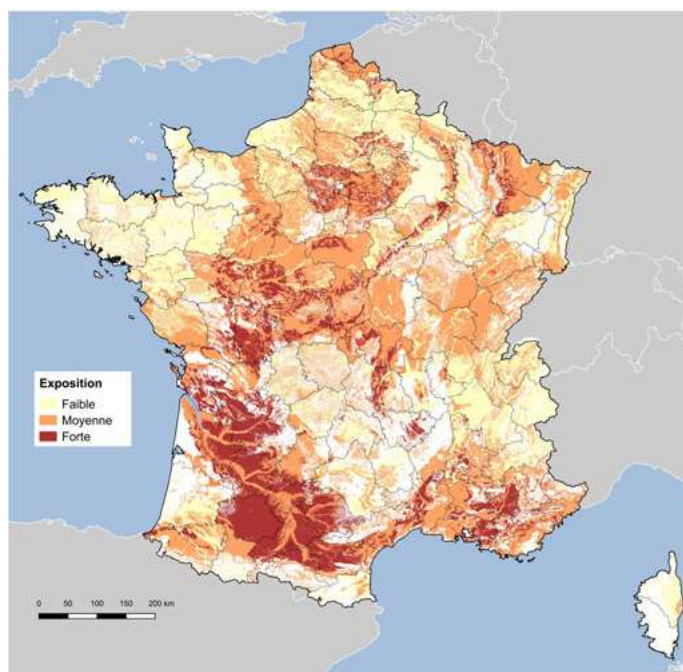


Figure 2 : Cartographie de l'exposition du territoire au phénomène de RGA (© BRGM 2019), disponible sur le site : [Géorisques.gouv.fr](https://www.georisques.gouv.fr) à l'adresse suivante : <https://www.georisques.gouv.fr/cartes-interactives#/>

Important :

La cartographie de l'exposition du territoire métropolitain au phénomène RGA est en cours de mise à jour et devrait être disponible fin 2025.

¹ <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000037639478>

2.

LA SINISTRALITÉ SÉCHERESSE ET RÉHYDRATATION DES SOLS

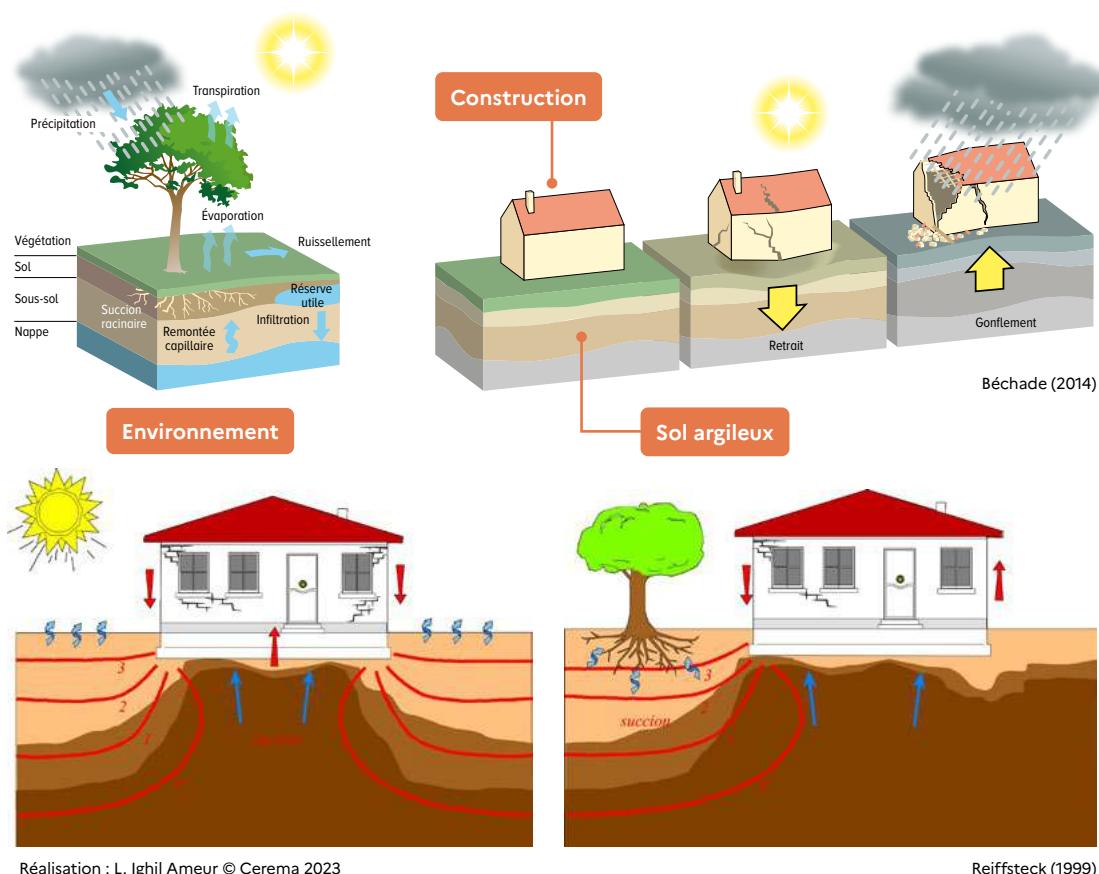
2.1 IMPACTS DU PHÉNOMÈNE DE RGA SUR LE BÂTI

L'analyse des effets du phénomène de RGA sur les maisons individuelles requiert la prise en compte :

- De l'ensemble **des facteurs de prédisposition** : la structure de la maison, la nature des argiles, la pente du terrain, la présence de végétation et la météorologie locale ;

- De l'ensemble **des facteurs sinistrants** : les réseaux enterrés fuyards, le défaut de drainage en terrain en pente, la succion de la végétation et absence d'écran anti racines, l'absence de protection des remblais par une géomembrane et la présence de pièges à eaux anthropiques.

La figure 3 représente quelques-uns de ces facteurs et des dommages induits pour les maisons (Béchade, 2014 et Reiffsteck, 1999).



Réalisation : L. Ighil Ameur © Cerema 2023

Reiffsteck (1999)

Figure 3 : Impacts du RGA et des facteurs de l'environnement proche sur les maisons individuelles.

Les maisons individuelles construites le plus souvent sur des fondations superficielles sont **les plus vulnérables au phénomène de RGA** et aux déformations volumiques induites du sol de fondation :

- D'abord, **les saisonnalités**, avec une survenance devenue très variable, provoquent la dessiccation et le retrait des couches superficielles du sol pendant la période de sécheresse. Puis, une saturation marquée par le gonflement des sols argileux pendant la période de précipitations, parfois ponctuelles et très intenses ;
- De plus, la présence de la végétation à proximité des fondations accentue **la succion du sol par l'action racinaire** pouvant atteindre 5 m de profondeur ;
- Par ailleurs, **une mauvaise gestion des eaux** autour de la maison peut être préjudiciable, où une infiltration indésirable au droit des fondations peut provoquer la plastification du sol et son enfoncement.

2.1.1 Conséquences de la mauvaise gestion des eaux

Les sols argileux sont sensibles aux variations de la teneur en eau lorsqu'ils sont soumis aux cycles de sécheresse et de précipitations. Une mauvaise gestion des eaux pluviales peut entraîner des dommages sur une maison individuelle construite sur des sols argileux très plastiques. La figure 4 illustre plusieurs exemples de mauvaise gestion des eaux :

- Un exemple lié au ruissellement (Fig. 5a et b) où la façade faisant face (en rouge) a tendance à s'enfoncer avec des conséquences visibles en termes de blocage des portes et d'enfoncement de la façade (Fig. 5c et d) ;

- Un second exemple au travers d'un pourtour composé de matériaux drainants permettant l'infiltration des eaux de pluie jusqu'à stagnation durant l'hiver (Fig. 5e1) et une fissuration de dessiccation de plusieurs centimètres durant l'été (Fig. 5e2) ;
- Un troisième exemple lié au mauvais entretien des conduites d'eau qui peut causer des fuites et un déversement dans le sol à proximité immédiate ou sous la maison de quantités d'eau non négligeables (5f).



Figures 4 : Conséquences de la mauvaise gestion de l'eau sur terrain argileux (crédits photos 5b à 5d et 5e2 ©L. Ighil Ameur ; crédit photo 5e1 ©Debenne, 2022, crédit photos 5f ©AF Bechade).

2.1.2 Conséquences de la présence de végétation

Le rôle de la végétation dans le contexte d'un terrain argileux est souvent prépondérant. Le sol sous les constructions constitue un réservoir d'eau à faible profondeur pour la succion des racines des arbres et arbustes. Un déséquilibre hydrique se produit alors dans le sol en termes de teneur en eau qu'il est d'autant plus difficile à rééquilibrer dans le cas de sols argileux très peu perméables.

Les variations de la teneur en eau induisent des déformations volumiques de retrait du sol lorsqu'il s'agit d'une dessiccation sous l'effet de la sécheresse. Ainsi, la présence d'un arbre trop proche des fondations d'une maison induit un tassement du sol et une certaine reptation du sol vers l'arbre.

Les fondations d'une maison se trouvant dans la zone d'influence géotechnique (ZIG) de cet arbre subiront une double distorsion : verticale et horizontale, en particulier dans le cas d'une semelle filante (fondation superficielle assurant le transfert et la répartition des charges supportées par la maison dans le sol) où des fissures en escalier peuvent apparaître sur les façades impactées (Fig. 5).

En termes de distance d'action de la végétation vis-à-vis de la construction, il est généralement admis que les racines peuvent s'étendre jusqu'à 1,5 fois la hauteur de l'arbre à maturité. Les racines peuvent atteindre 4 à 5 m de profondeur en fonction des essences, de l'intensité et de la fréquence des besoins en eau de l'arbre, en particulier pendant une sécheresse.

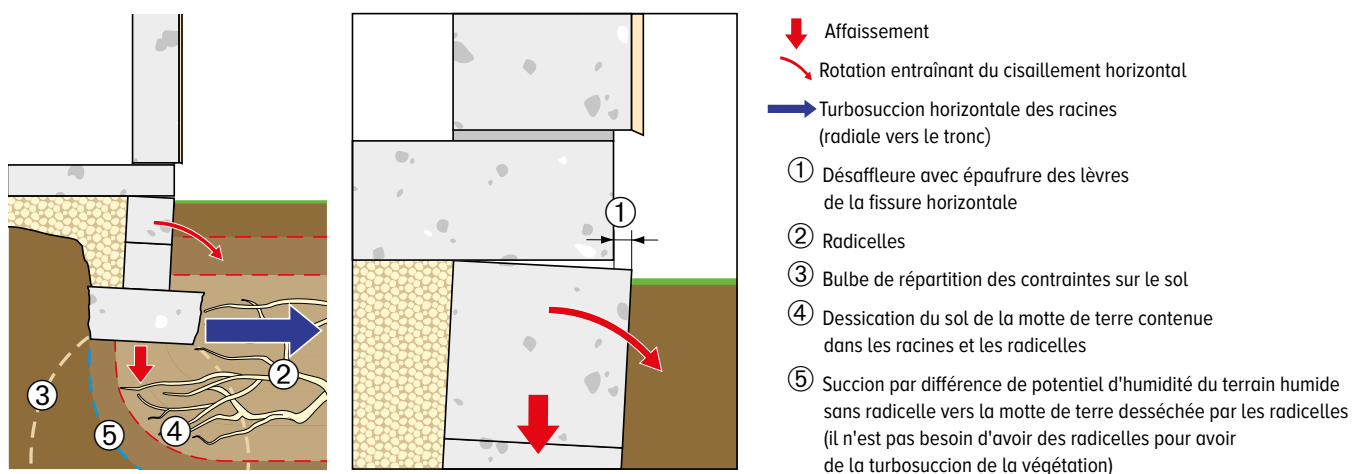
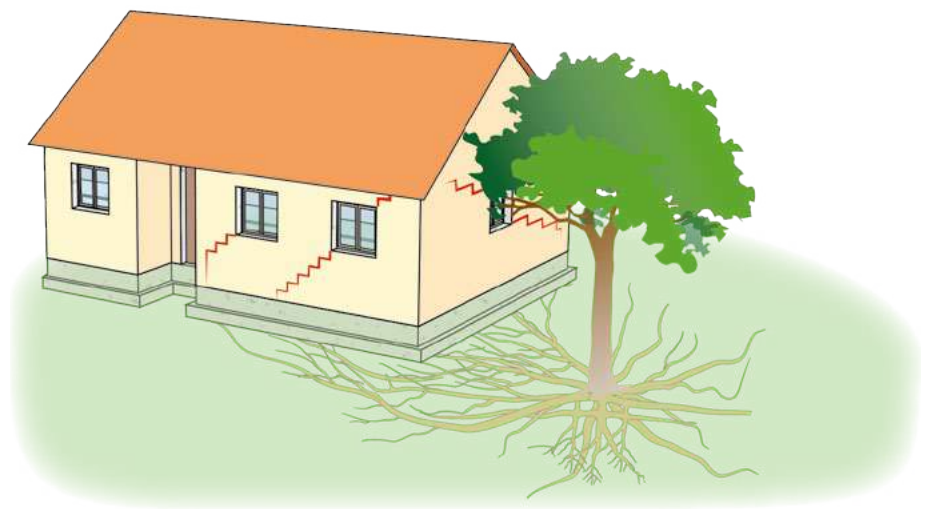


Figure 5 : Conséquences de la présence de végétation à proximité d'une maison (Béchade et al. 2014)

2.1.3 Apparition et aggravation des dommages en l'absence d'une prise en charge

Les fissures dues à la sécheresse et à la réhydratation des sols sont caractéristiques avec des formes particulières, souvent localisées proches des zones de faiblesse (ouvertures de fenêtres et de portes par exemple). Elles sont la conséquence de déformations du sol provoquées via divers modes illustrés sur la Fig. 6 :

- a. Mode de déformation provoqué par un retrait périphérique du sol sous la maison ;
- b. Mode de déformation provoqué par un retrait localisé du sol induit par la présence d'un arbre ;
- c. Mode de déformation provoqué par le tassement d'un mur de façade.

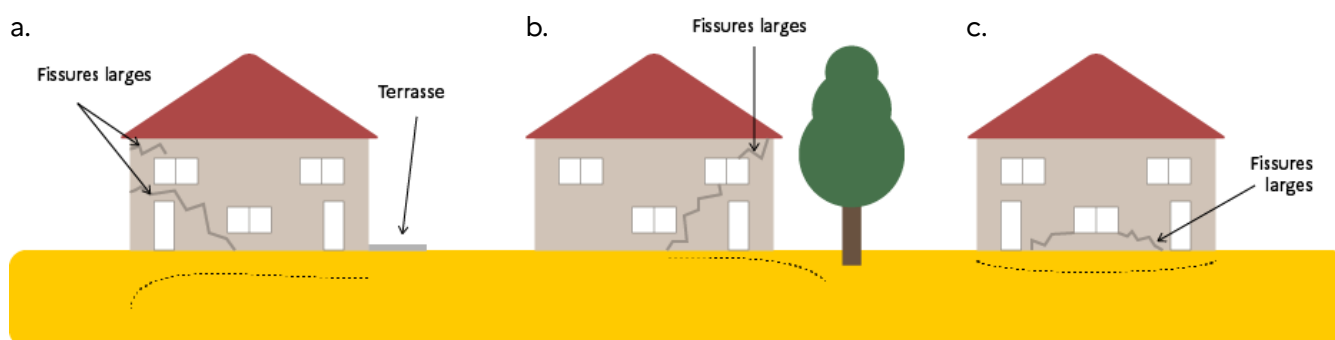


Figure 6 : Modes d'apparition des fissures liés au RGA (Ifsttar et Ineris, 2017).

La Fig. 7 illustre un exemple concret d'une maison construite en 1998 sur terrain argileux et achetée par sa propriétaire actuelle en 2010 : les premières fissures de quelques millimètres sont apparues en 2015 puis elles se sont aggravées durant les six années de sécheresses récurrentes et intenses jusqu'en 2020 avec des ouvertures de l'ordre de centimètres.

Cette aggravation est la conséquence directe de l'absence d'une prise en charge à travers un diagnostic des facteurs de l'environnement proche, en termes de végétation et de gestion de l'eau, et de la non réalisation des travaux nécessaires pour y remédier. C'est désormais la stabilité de la structure de la maison qui est atteinte et menacerait de s'effondrer.



© N. Debenne

Figure 7 : Aggravation de la fissuration d'une maison sous l'effet des sécheresses de 2015 à 2020.

2.2 IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA SINISTRALITÉ SÉCHERESSE ET RÉHYDRATATION DES SOLS

Sur la dernière décennie, l'augmentation constatée de la fréquence et de l'intensité des épisodes de sécheresse (notamment estivales) a conduit à une augmentation de la vulnérabilité du bâti et des sinistres dus au RGA. Par ailleurs, le contraste plus marqué hiver/été avec le changement climatique conduit à des dessiccations estivales plus importantes et des épisodes pluvieux plus intenses.

Les désordres cumulés nécessitent des travaux lourds et coûteux. La part du coût lié au RGA dans le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles ne représentait que de 25 à 35 % entre 2010 et 2016. Elle a atteint 70 % pour les cinq dernières années soit environ 1,5 Md€ par an (source : CCR).

Les dégâts sécheresse indemnisés par les assureurs sont chiffrés à 13,8 Md€ entre 1989 et 2019. La nouvelle projection de France Assureurs (2021) aboutit au triplement de la charge moyenne annuelle à hauteur de 43 Md€ entre 2020 et 2050 et estime à 17,2 Md€ la part de l'effet du changement climatique sur cette même période.

La Caisse Centrale de Réassurance (CCR) a publié en septembre 2023 une étude sur les conséquences du changement climatique sur le coût des catastrophes naturelles en France à horizon 2050.

Elle estime que la sinistralité due à la sécheresse et à la réhydratation des sols devrait augmenter de +40 % à l'horizon 2050 sous l'effet du changement climatique et +60 % en intégrant l'évolution des enjeux assurés.

² <https://www.ccr.fr/-/etude-climat-ccr-2023>

3.

LA DÉMARCHE DE PRÉVENTION ET D'ADAPTATION DU RGA

Développer une politique de prévention du phénomène RGA devient important dans le contexte de l'expansion du phénomène et du coût croissant de la sinistralité consécutive à la sécheresse et à la réhydratation des sols. Les travaux préventifs et d'adaptation vis-à-vis du RGA peuvent non seulement réduire la sinistralité future (construction neuve) mais sont tout aussi nécessaires et urgents pour adapter et réduire la vulnérabilité du bien aujourd'hui exposé.

Pour définir précisément les travaux préventifs adéquats, chaque projet de construction neuve ou de travaux sur une maison existante doit être étudié à l'échelle de sa parcelle, afin de définir la solution technique la plus pertinente en matière d'impact positif pour réduire la vulnérabilité du bâti et d'impact économique des mesures de prévention.

3.1 CAS DES MAISONS EXISTANTES

Plus d'une maison existante sur deux est construite sur un terrain argileux avec une exposition moyenne ou forte au RGA. **Chaque propriétaire a aujourd'hui la possibilité de vérifier si son bien est exposé au RGA en consultant le site gouvernemental Géorisques³.**

En fonction de sa situation, un diagnostic RGA approfondi réalisé par un professionnel qualifié sur le sujet est nécessaire (expert en assurance, bureau d'études structure ou géotechnique).

Dans le cas où des travaux préventifs et d'adaptation illustrés sur la figure 8 sont applicables, une mise en œuvre sans délai permet d'éviter l'apparition ou l'aggravation d'éventuels sinistres sur la structure de la maison. Attendre qu'un arrêté Cat-Nat sécheresse et réhydratation des sols soit favorable à sa commune et que l'expertise sécheresse soit confirmée, c'est laisser les dommages s'aggraver pendant ce temps (plusieurs mois de procédure).

Important :

La réalisation de travaux de prévention, d'adaptation et de remédiation (traitement des fissures et ravalement par exemple, en cas de présence de désordres existants) nécessite **impérativement** de réaliser un **diagnostic de vulnérabilité de la construction**, avant l'engagement de tous travaux. Ne pas réaliser un tel diagnostic ferait porter une lourde responsabilité au maître d'ouvrage, au maître d'œuvre et aux entreprises chargées des travaux, compte tenu des désordres qui seraient susceptibles d'intervenir.

³ www.georisques.gouv.fr. Le propriétaire peut rechercher son bien en renseignant son adresse postale.

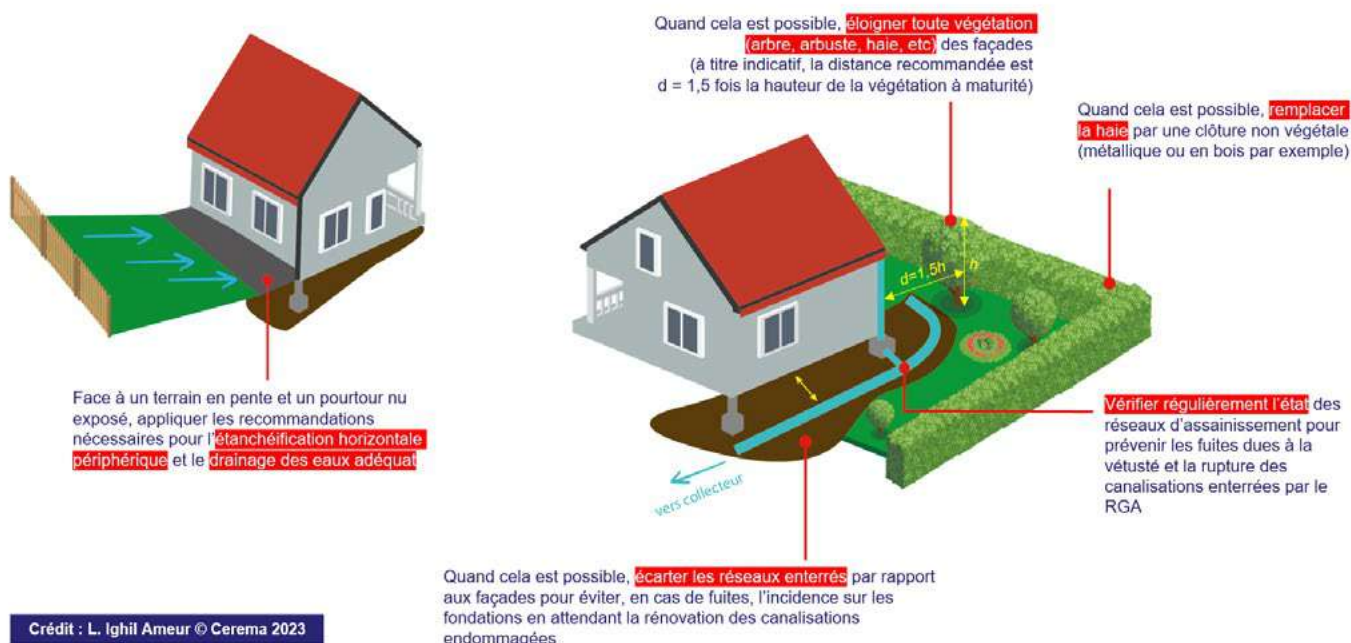


Figure 8 : Comment réduire la vulnérabilité de sa maison exposée au RGA face à la sécheresse ?

Dans le cas de la figure 8, afin de réduire la vulnérabilité de la maison exposée au RGA, les travaux préventifs et d'adaptation peuvent être essentiellement :

- Quand cela est possible, **supprimer toute végétation trop proche des façades** (à titre indicatif, la distance de sécurité $d = 1,5$ fois la hauteur d'un arbre à maturité) ;
- Quand cela est possible, **remplacer la haie par une clôture non végétale** (métallique ou en bois par exemple) ;
- **Vérifier régulièrement l'état des réseaux d'assainissement** (prévenir les fuites dues à la vétusté et la rupture des canalisations enterrées) ;
- Quand cela est possible, par prévention, **écarter les réseaux enterrés par rapport aux façades** pour éviter, en cas de fuites, l'incidence sur les fondations en attendant la rénovation des canalisations endommagées ;
- Face à un terrain en pente et un pourtour nu exposé, appliquer les recommandations disponibles pour l'imperméabilisation horizontale périphérique et le drainage des eaux par un dispositif adéquat raccordé en aval à un exutoire adapté (noue filtrante, puits drainant, réseau collectif...)⁴.

⁴ Consulter la plaquette de l'Agence Qualité Construction : <https://qualiteconstruction.com/wp-content/uploads/2024/05/Plaquette-Fondations-Superficielles-Maison-Individuelle-AQC.pdf>

LE DIAGNOSTIC RGA DE SA MAISON

Faire réaliser le diagnostic de son bien exposé au RGA par un professionnel qualifié (expert en assurance, bureau d'études structure ou géotechnique) est indispensable aujourd'hui pour mieux caractériser le risque à l'échelle de la parcelle et mettre en œuvre des mesures de prévention et d'adaptation appropriées et optimales à moindre coût.

Le diagnostic RGA se base sur 4 étapes clés à suivre dans l'ordre, synthétisées dans le tableau ci-après (issues du guide CSTB « la pathologie des fondations superficielles » de 2021).

Le professionnel réalisant le diagnostic RGA du bien pourra également se référer au rapport méthodologique portant sur un diagnostic pour l'adaptation des habitations au RGA avant dommages, réalisé par la Mission Risques Naturels en 2023⁵. Ce rapport propose une méthodologie de diagnostic qui s'applique à des maisons individuelles existantes exposées au RGA et non sinistrées.

Étape	Description
Avant la première visite de la construction	• Collecter et analyser les documents et renseignements généraux de la maison et de son environnement : situation du terrain (site georisques.fr), documents de la construction (étude de sol si existante)
Visites d'expert : 5 premiers constats	• Relevé des désordres apparents • Recueil des données sur l'environnement • Recueil des données sur le type de structure et les aménagements extérieurs, notamment les niveaux de fondations • Recueil des données géotechniques sur les sols de fondation • Recueil des données sur les ouvrages périmétriques essentiels (trottoirs, terrasse, drain, écran anti-racines, dispositifs de stockage des eaux de toiture...)
Investigations et analyse des faits	• Vérifier la perméabilité du sol argileux • Vérifier l'étanchéité des regards et des canalisations • Vérifier la présence de racines • Si nécessaires, investigations approfondies (sondages géotechniques, essais en laboratoire)
Diagnostic final - Analyse des risques	• Classification des dommages • Analyse des fissures • Causes et origines des dommages provenant de facteurs de prédispositions et des facteurs sinistrants • Recommandations de mise en œuvre des solutions horizontales (gestion des eaux, gestion de la végétation, imperméabilisation périphérique de la maison) au cas par cas

⁵ <https://www.mrn.asso.fr/wp-content/uploads/2023/11/rapport-gonflement-vf.pdf>

3.2 CAS DES CONSTRUCTIONS NEUVES

L'article 68 de la loi portant évolution du logement, de l'aménagement et du numérique (ELAN) a créé un dispositif réglementaire visant à mieux encadrer toute construction de maisons neuves situées sur un terrain argileux d'aléa moyen ou fort (articles R.132-3 à R.132-8 du Code de la Construction et de l'Habitation).

L'objectif de cette mesure réglementaire est de réduire le nombre de sinistres liés à ce phénomène en imposant **la réalisation d'études de sol préalable à la construction** dans les zones d'exposition au RGA moyenne et forte et la mise en œuvre de **techniques particulières de construction**.

Ce dispositif applicable depuis le 1^{er} octobre 2020 a permis :

- D'imposer au vendeur d'un terrain nu à bâtir de faire réaliser une étude géotechnique dite préalable⁶ qui doit être annexée à la promesse de vente ou à l'acte authentique de vente ;

- De donner le choix au constructeur, soit de suivre les recommandations de l'étude géotechnique dite de conception⁶ fournie par le maître d'ouvrage ou celle que le constructeur fait réaliser en accord avec le maître d'ouvrage, soit de suivre les techniques particulières de constructions définies par voie réglementaire⁷.

Le ministère en charge de la transition écologique a publié en novembre 2021 une plaquette technique intitulée « Construire en terrain argileux : la réglementation et les bonnes pratiques » (MTECT, 2021).⁸

3.3 MESURES DE PRÉVENTION ET D'ADAPTATION DU BÂTI

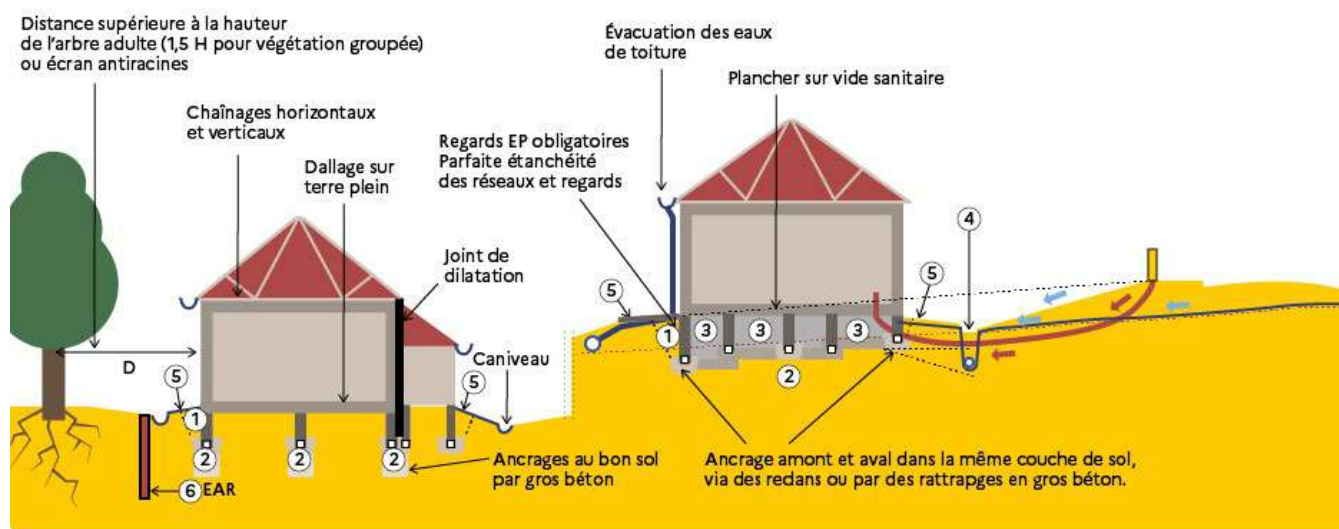
Pour réduire la vulnérabilité d'une maison au phénomène RGA, il convient de s'intéresser en priorité à son environnement proche pour notamment mieux gérer les eaux et la végétation autour des fondations. Ces domaines d'actions sont souvent peu traités alors qu'ils ont un impact majeur dans l'apparition et le développement de dommages subis par la construction.

Les mesures de prévention et d'adaptation du bâti au RGA sont représentées sur la figure 9.

⁶ Arrêté du 22 juillet 2020 définissant le contenu des études géotechniques à réaliser dans les zones exposées au phénomène de mouvement de terrain différentiel consécutif à la sécheresse et à la réhydratation des sols, <https://www.legifrance.gouv.fr/jorff/id/JORFTEXT000042211476/>

⁷ Arrêté du 22 juillet 2020 relatif aux techniques particulières de construction dans les zones exposées au phénomène de mouvement de terrain différentiel consécutif à la sécheresse et à la réhydratation des sols, <https://www.legifrance.gouv.fr/jorff/id/JORFTEXT000042238448/>

⁸ https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/construire_en_terrain_argileux_reglementation_et_bonnes_pratiques.pdf



▣ Soignez les assemblages des ferrailages.

➡ Circulations d'eau de ruissellement et épidermique sur le toit des argiles.

➡ Les raccordements sont vecteurs d'arrivées d'eaux sinistrantes.

- ① Remblais perméables interdits : déchets de chantier, drain de pied, sable, aménagement de surface sans imperméabilisation (cailloux, calcaire...)
- ② Rattrapage du bon sol obligatoire par gros béton, pour ne pas multiplier les rangs de parpaings piège à eau.
- ③ En terrain en pent, rigidification de l'infrastructure par une poutre échelle.
- ④ Dispositif de drainage amont, déporté de 1,50 m de la façade, séparé du réseau des EP, avec regard de visite et de sédimentation : L'altitude du collecteur drainant rigide est fonction de la lithologie, de la profondeur des circulations d'eaux épidermiques et de la présence ou non de la tranchée des raccordements.
- ⑤ Membrane d'imperméabilisation, trottoir ou géomembrane.
- ⑥ Profondeur de l'écran anti racines en fonction de la lithologie, de la pente du terrain et de l'essence de l'arbre ou de l'arbuste. Profondeur de 2 à 5 m.

Figure 9 : Synthèse des mesures de prévention et d'adaptation du bâti au phénomène RGA (guide CSTB, 2021)

Information :

Les fiches descriptives détaillant ces principales solutions de prévention et d'adaptation, ainsi que les solutions de remédiation du bâti post-diagnostic RGA, sont présentées dans les parties 4 et 5 du guide.

4.

SOLUTIONS « HORIZONTALES » DE PRÉVENTION ET D'ADAPTATION DU RGA

Les solutions de prévention et d'adaptation dites horizontales sont à rechercher en priorité car elles permettent d'agir sur les causes responsables du RGA et de l'apparition de sinistres. Elles consistent à intervenir sur la première tranche de sol (1,5 m d'épaisseur) et à confiner les argiles. Les 5 principales mesures de prévention horizontales sont représentées sur la figure 10 :

1. L'étanchéité parfaite des réseaux d'eau enterrés ;
2. La gestion des eaux, avec notamment le drainage déporté en amont des constructions en terrain en pente, séparatif des eaux pluviales ;
3. La gestion de la végétation proche, avec notamment la pose d'écran anti-racines ;
4. L'imperméabilisation du sol au droit des fondations sur le pourtour de la maison ;
5. La suppression des pièges à eau anthropiques.

Ces solutions ont comme principaux avantages d'être :

- Plus robustes pour stabiliser la teneur eau du sol sous les fondations de la maison ;
- Moins coûteuses à mettre en œuvre que les solutions de remédiation dites verticales ;
- Plus facilement mises en œuvre en étant moins invasives ;
- Plus durables si elles sont régulièrement entretenues.

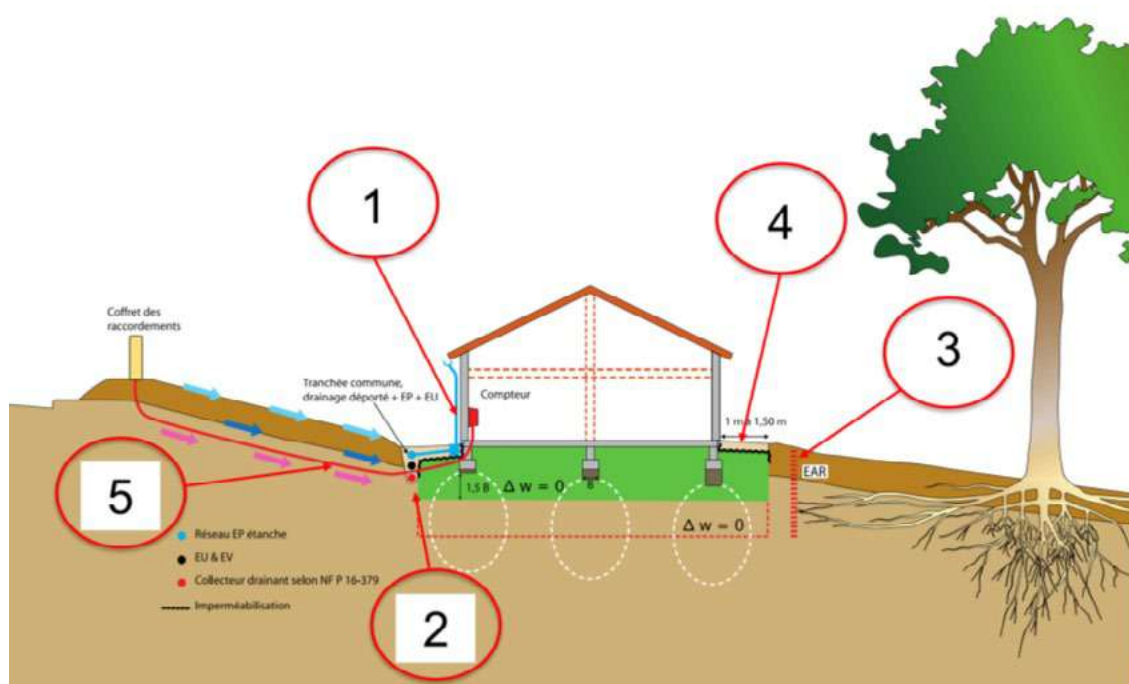


Figure 10 : Schéma de synthèse des 5 principales mesures horizontales de prévention du RGA (source : Bechade).

COLLECTER ET ÉVACUER LES EAUX AVEC RACCORDEMENT À UN RÉSEAU ÉTANCHE

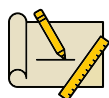
Pour quel objectif visé ?

Stabiliser la teneur en eau du sol sous l'habitation dans son environnement proche

Type d'action

Gestion des eaux autour de la construction

Qui contacter ?



Architecte



Bureau d'études géotechnique



Hydrologue-
Hydrogéologue



Bureau d'études structure

Quel est l'objectif des travaux ?

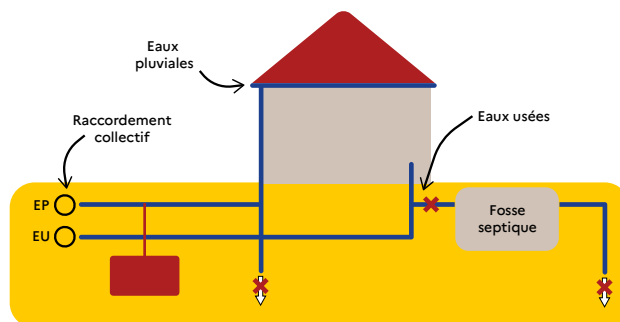
Ce dispositif vise, lorsque l'assainissement s'effectue de façon autonome, à débrancher les filières existantes (puits perdu, fosse septique + champ d'épandage, etc.) et à diriger les flux d'eaux usées (EU) à traiter jusqu'au réseau collectif (« tout à l'égout » ou réseau séparatif).

La gestion des eaux pluviales (EP) (ruissellement des eaux de toitures, terrasses, etc.) collectées pourra se faire soit par rejet au réseau d'eaux pluviales existant et séparatif, soit par infiltration à distance dans des dispositifs dédiés (noue, fossé, puits) et en aucun cas dirigées vers les drains périphériques déportés de la maison et conçus pour gérer et évacuer les apports d'eau souterraines ou accidentels et les eaux de ruissellement.

Avant toute mise en œuvre de travaux en lien avec l'infiltration des eaux pluviales à la parcelle, il est indispensable de faire réaliser par un professionnel, un essai de la perméabilité du sol de type Porchet.

En quoi consistent les travaux ?

Schéma de principe du raccordement à un réseau étanche existant selon selon Ifsttar et CSTB (2017)



- Le raccordement des eaux usées EU et pluviales EP au réseau collectif séparatif doit être privilégié, sans préjudice des directives sanitaires en vigueur.
- Le raccordement nécessite l'accord préalable du gestionnaire de réseau.
- Le branchement à un réseau collectif d'assainissement implique pour le particulier d'être assujéti à une redevance d'assainissement comprenant une part variable (assise sur le volume d'eau potable consommé) et le cas échéant une part fixe.
- Veiller à étancher les systèmes de collecte des eaux usées et des eaux pluviales.

Estimation du coût des travaux : entre 2 et 5 k€ HT (MRN, 2023).

Points de vigilance

- En l'absence de réseau collectif dans l'environnement proche du bâti ou de l'impossibilité de se raccorder à ce réseau dans le PLU et du nécessaire maintien de l'assainissement autonome, il convient de respecter une distance minimale suffisante entre le bâtiment et le(s) point(s) de rejet (à examiner avec l'autorité responsable de l'assainissement) ;
- Veiller au bon entretien de la cuve enterrée qui doit être accessible afin de prévenir tout risque de défaillance (rupture ou fuite) ;
- Utilisation raisonnée de l'eau en période de sécheresse (si présence d'un puits proche de la maison, ne pas pomper entre mai et octobre).

INSTALLATION ET ENTRETIEN DES OUVRAGES DE COLLECTE DES EAUX PLUVIALES SÉPARÉS DU RÉSEAU DE DRAINAGE DÉPORTÉ

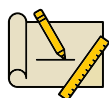
Pour quel objectif visé ?

Stabiliser la teneur en eau du sol sous l'habitation dans son environnement proche

Type d'action

Gestion des eaux autour de la construction

Qui contacter ?



Architecte



Bureau d'études géotechnique



Hydrologue-
Hydrogéologue



Bureau d'études structure

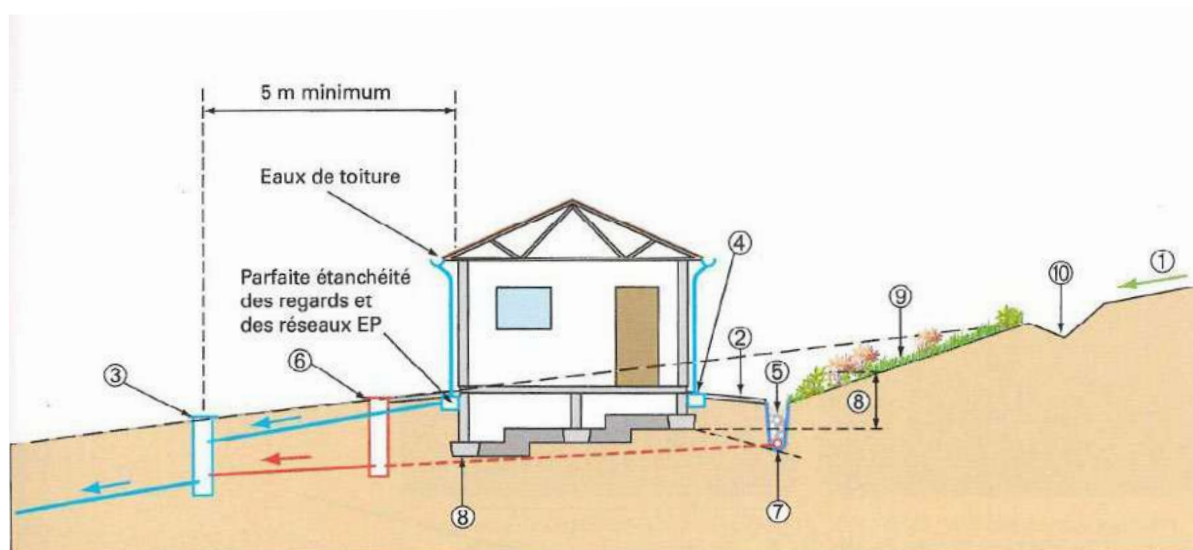
Quel est l'objectif des travaux ?

Les aménagements mal pensés sont sinistrants en terrains argileux et peuvent créer des pièges à eau : remblais perméables, trottoirs et terrasse en contre pente, drain de pied de façade. Il convient donc de supprimer ces pièges à eau par la mise en place d'ouvrages et dispositifs de gestion et de collecte des eaux pluviales, séparés du réseau de drainage déporté des fondations.

Ces dispositifs visent à mieux gérer les écoulements souterrains et superficiels en les éloignant des fondations de la maison. Ils permettent de limiter les désordres causés par l'humidité sur les fondations.

En quoi consistent les travaux ?

Schéma de principe : selon Guide CSTB (2021).



- ① Pente du terrain
- ② Trottoir de protection 1 à 1,5 m avec joints de fractionnement
- ③ Collecteur vertical des eaux de drainage et des eaux pluviales en aval de la construction (ou fossé, solution compensatoire, réseau EP du lotissement)
Les réseaux EP et drainage restent séparatifs sur 5 m minimum
- ④ Regards et réseau de collecte des EP parfaitement étanches
- ⑤ Tranchée drainante dont les matériaux filtrants remontent jusqu'à la surface
- ⑥ Regard de visite du collecteur drainant
- ⑦ Collecteur drainant type CR4 ou CR8 conforme à la norme NF P 16-379
- ⑧ Ancrage dans la couche du bon sol portant
- ⑨ Protection mécanique du talus et/ou végétalisation rase
- ⑩ Noue de collecte des eaux de ruissellement des eaux amont du talus

Plusieurs dispositifs sont envisageables :

- En terrain argileux, des gouttières sont obligatoires et l'emploi de chaînes en guise de descentes d'eaux pluviales est à proscrire ;
- Descentes d'eau :
 - Si inexistantes, installer des gouttières pendantes et des descentes d'eau pour collecter les eaux de pluie et les renvoyer soit (lorsque le terrain le permet) vers un espace végétalisé pour infiltration à la parcelle mais éloigné de la maison (pas d'infiltration des EP en pied de façades) (coût 1000 € HT), soit dans un regard en pied de chute raccordé au réseau d'assainissement ;
 - Si existantes, raccorder les descentes d'eau pluviales gravitairement, à un réseau d'évacuation des EP ;
- Installer un regard de visite au droit du drain pour permettre son contrôle et son entretien (1500 € HT). Les regards de visite du réseau d'eaux pluviales qui fuient doivent être refaits ;
- Le collecteur drainage/EP doit être implanté à au moins 5 m de toute construction, en aval de la construction sur un terrain en pente et être isolé des matériaux fins argileux par un géotextile (coût 1000 € HT) ;
- Si le terrain est en pente, installer un caniveau à grille drainant de type noue, en amont de la maison afin de collecter les eaux de ruissellement. Ce caniveau doit être évacué de sorte de ne pas alimenter les éventuels drains périphériques de la maison (1000 € HT) ;

- Les réservoirs de collecte des eaux pluviales pour l'arrosage sont en général équipés d'un système de trop-plein fermé et raccordé aux conduites d'évacuation vers le réseau ou vers le(s) point(s) de rejet, afin d'éviter un déversement direct sur le sol proche de la construction (si le dispositif est trop proche du bâti) (500 € HT) ;
- Si trop proche de la maison, combler un dispositif de stockage des EP par remplissage de sable (500 - 1000 € HT).

Estimation du coût des travaux : entre 500 et 1500 € HT selon le dispositif mis en place (MRN, 2023).

Points de vigilance

Le réseau de drainage des eaux superficielles et de ruissellement est impérativement séparatif des eaux pluviales.

Pour assurer la durabilité et l'efficacité de ces dispositifs de gestion des eaux (gouttières, réseaux, regards de visite, pompe à chaleur...) leur bon entretien régulier par le propriétaire et les gestionnaires de réseaux est indispensable, avec des coûts d'entretien estimés à 500 € HT / an.

INSTALLATION D'UN DISPOSITIF DE DRAINAGE PÉRIPHÉRIQUE DÉPORTÉ

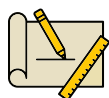
Pour quel objectif visé ?

Stabiliser la teneur en eau du sol sous l'habitation dans son environnement proche

Type d'action

Gestion des eaux autour de la construction

Qui contacter ?



Architecte



Bureau d'études géotechnique



Hydrologue-
Hydrogéologue



Bureau d'études structure

Quel est l'objectif des travaux ?

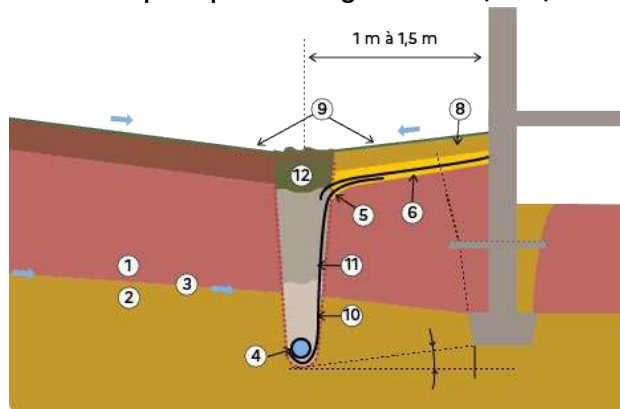
La maison fait barrage aux écoulements d'eau dans un terrain en pente (dès 3%). Les arrivées d'eau provenant des terrains environnants (ruissellement, eaux souterraines) contre la maison provoquent une hydratation accidentelle des argiles pouvant engendrer une instabilité des fondations.

Le dispositif consiste à créer un réseau de drains (ou tranchées drainantes) périmétrique pour collecter et évacuer les eaux de drainage superficielles.

Ce dispositif contribue également à supprimer les pièges à eau anthropiques susceptibles d'être générés (tranchée de raccordements en pied de façade, bande stérile en pied de façade, condensats des Pompe à chaleur, déchets de chantier, pose des réseaux au voisinage des fondations...).

En quoi consistent les travaux ?

Schéma de principe selon le guide CSTB (2021)



- ① Terrain perméable
- ② Terrain imperméable
- ③ Circulations d'eaux épidermiques
- ④ Collecteur drainant type drain routier. Pente de 0,3 cm à 1 cm/m
- ⑤ Géomembrane ou membrane d'imperméabilisation pente 5 % avec retour vertical
- ⑥ Fond de forme du terrassement 5 % avec lits de sable
- ⑦ Géotextile anticontaminant
- ⑧ Remblai matériaux d'origine ou aménagement
- ⑨ Forme de noue pour collecte des eaux superficielles
- ⑩ Cailloux 30/60
- ⑪ Gravier 5/15
- ⑫ Gravier de finition isolé de la terre végétale par une géogrid

Implantation du drain :

- Le réseau de drainage des eaux de ruissellement est constitué de drains (pour les eaux superficielles) ou de tranchées drainantes (pour les eaux profondes, lorsque le terrain est en pente) remplies d'éléments plus ou moins grossiers protégés du terrain par un géotextile. En fond de fouille, le drain de collecte et d'évacuation est de type « drain routier » répondant à une exigence de résistance à l'écrasement.
- Le drain est éloigné de la construction à une distance minimale d'1 m à 1,5 m du bâtiment et raccordé en aval du bâtiment, à un collecteur amenant les eaux à l'exutoire : noue filtrante, puits d'infiltration, réseau collectif ... Ces précautions sont nécessaires afin d'éviter tout impact du drainage sur les fondations.
- Le drain est associé soit à une membrane d'imperméabilisation en amont, soit un trottoir étanche ou une géomembrane.
- La profondeur d'implantation du drain est fonction de la nature et de la pente du terrain. Il doit être implanté selon une pente pour permettre l'écoulement gravitaire des eaux récoltées.

Composition du drain :

- Il est préférable de recouvrir le dernier décimètre de la tranchée drainante avec du gravier 5/15, plus perméable que le sable.
- Un géotextile protège les matériaux drainants et le collecteur de particules fines argileuses.
- Le réseau de drainage est équipé d'un clapet anti retour pour éviter la diffusion par le drain des eaux de toiture, si le réseau EP se met en charge.

Estimation du coût des travaux : entre 1,5 et 10 k€ HT (Ifsttar et Ineris, 2017) selon la profondeur et l'exutoire, pour une longueur d'une dizaine de mètres.

Points de vigilance

- Il est interdit d'implanter un drain en pied de façade car cela constituerait un piège à eau. En effet, un drain de pied de mur mal positionné, mal constitué, peut accentuer les déséquilibres hydriques et déclencher des désordres. La vigilance sur l'implantation, la constitution, la profondeur et la pente du drain est essentielle ;
- L'entretien du drain est à faire régulièrement par curetage mécanique ou par eau sous pression. Pour cela, l'installation de regards de visite du drain est obligatoire ;
- Il est nécessaire de faire vérifier par un professionnel que l'exutoire (noue filtrante, puits d'infiltration, réseau collectif ...) permet d'évacuer le surplus d'eau provenant de la tranchée drainante ;
- En cas de pente, il suffit que le tracé profite de la pente pour assurer que l'écoulement contourne la construction et soit évacué vers le collecteur en aval de celle-ci ;
- La mitoyenneté constitue la principale limite d'utilisation de cette solution. Il convient de se rapprocher de son voisin pour convenir d'une solution acceptée par chacune des parties.

POSE D'ÉCRAN ANTI RACINES (EAR)

Pour quel objectif visé ?

Stabiliser la teneur en eau du sol sous l'habitation dans son environnement proche

Type d'action

Gestion de la végétation et l'action racinaire

Qui contacter ?


Bureau d'études
géotechnique


Bureau d'études
spécialisé en
environnement


Hydrologue-
Hydrogéologue

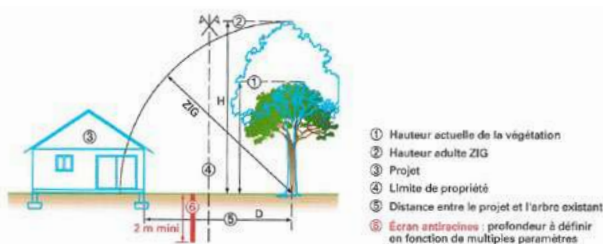
Quel est l'objectif des travaux ?

La succion de la végétation est responsable d'importantes variations de la teneur en eau du sol au droit des fondations, pouvant entraîner l'apparition de désordres sur la maison. Cette succion des racines peut être neutralisée par l'implantation d'un écran anti-racines (EAR), à au moins 2 m de profondeur, qui va faire barrage au développement des racines en direction de la maison. Les fissures se referment alors complètement.

La mise en place d'un écran anti racines permet donc d'extraire le bâti de la zone d'influence géotechnique de la végétation (ZIG) présente à ses abords.

En quoi consistent les travaux ?

Schéma de principe selon : selon guide CSTB (2021)



La zone d'influence géotechnique de la succion de la végétation est allongée en aval à 1,5 fois la hauteur de l'arbre.

Il existe trois types d'écrans anti-racines pouvant être mis en place selon plusieurs paramètres à prendre en compte : l'agressivité de la végétation (*), l'accès pour les engins de chantier, la pente et la nature du terrain et la limite de propriété.

La technique retenue est aussi fonction de la distance entre l'écran et la maison et de la profondeur de succion des racines. Celle-ci est en général d'1,5 m pour une haie et peut aller jusqu'à 5 m pour un arbre. Pour chaque technique, la fouille fait 30 cm de largeur :

- Le film polyester étanche ou la géomembrane descendus à 2,5 m de profondeur avec remblaiement de la fouille par les déblais extraits. On prendra soin de protéger la coupure capillaire par un plastique alvéolé ;
- La solution traditionnelle est de remplir la fouille de gros béton. Les terres d'excavation sont à évacuer ;
- Un écran en palplanches métalliques pouvant être descendues jusqu'à 4 ou 5 m de profondeur selon le cas. Cette solution onéreuse est à réserver aux cas extrêmes (essence d'arbre très consommatrice d'eau située à une distance de la construction inférieure à la moitié de la hauteur de l'arbre à maturité) ;

La profondeur de l'EAR doit être dimensionnée en fonction des paramètres influençant la profondeur de succion des racines : la hauteur et l'essence de l'arbre, le type de racines, la nature des couches de sol, la possibilité de réhydratation profonde. Un sondage carotté intact ou à la minipelle est alors nécessaire.

Estimation du coût des travaux : entre 1,5 et 30 k€ HT (MRN, 2023).

Points de vigilance

- L'écran anti-racines doit pouvoir présenter des garanties de pérennité suffisantes, notamment vis-à-vis de l'étanchéité et de la résistance. Un soin particulier doit être porté sur les matériaux utilisés (caractéristiques de la géomembrane par exemple) ;
- Il est recommandé de faire appel à un professionnel pour déterminer la longueur et la profondeur de l'EAR et son positionnement ;
- Dans le cas où des arbres d'une propriété voisine peuvent causer des désordres sur la construction en question, la pose d'un écran anti-racines est à privilégier ;
- L'entretien régulier de la végétation par le propriétaire est essentiel pour assurer la pérennité et l'efficacité du dispositif.

(*) Cutler et Richardson (1989) ont synthétisé les principales essences ayant causé des désordres aux bâtiments en zone urbaine en Angleterre (Figure ci-dessous). Dans ce tableau, plusieurs paramètres ont été répertoriés : (1) la hauteur maximale de l'essence, (2) la distance maximale du désordre, (3) la distance en dessous de laquelle 50% des désordres ont été constatés, (4) le pourcentage de désordres liés à l'essence en question, (5) le pourcentage de l'essence dans la population et enfin (6) le coefficient d'agressivité défini comme étant le rapport entre le pourcentage de désordres liés à l'essence sur le pourcentage de l'essence dans la population.



	chêne	peuplier	frêne	faux acacia	marronnier	tilleul	saule	aubépine	hêtre	platane	pommier/poirier	érable	cerisier prunier	bouleau	cyprés	sorbier/cornier alisier	orme	troène	rosier	buisson ardent
Hauteur maximale en zone urbaine (mètres)	16-23	25-28	14-23	18-20	12-15	16-24	15-25	10	20	25-30	8-12	10-24	6-12	12-14	15-25	8-12	17-25			
Distance maximale du désordre (mètres)	30	30	21	12,4	23	20	40	11,5	15	15	10	20	11	10	20	11	25			
Distance en dessous de laquelle 50 % des désordres ont été constatés (mètres)	9,5	11	6	7	7,5	6	7	5	6	5,5	4	6	3	4	2,5	5	8			
% de désordres liés à l'essence considérée	11,5	8,7	7,5	3	3	8,2	5,7	4,6	1	11	5,7	8,3	6	2	3	2	2	0,8	0,7	0,35
% de l'essence dans la population	2,1	3	3	1,8	2,2	6,4	4,5	3,5	1	13,7	7,1	13,9	14,7	4,9	10	9,4	-			
Coefficient d'agressivité *	5,5	2,9	2,5	1,7	1,4	1,3	1,3	1,3	1	0,8	0,8	0,6	0,4	0,4	0,3	0,2	-			

* Le coefficient d'agressivité est le rapport du % de désordres liés à l'essence sur le % de l'essence dans la population globale.

Statistiques anglaises relatives aux désordres sur des bâtiments dus à la végétation (Cutler et Richardson, 1989) cité dans (Ministère de l'environnement, 1993)

En France, ce sont les **chênes, les peupliers, les saules et les cèdres** qui paraissent les plus préjudiciables pour les constructions se trouvant dans la zone d'action de leurs racines (la ZIG).

ENTRETIEN DE LA VÉGÉTATION

Pour quel objectif visé ?

Stabiliser la teneur en eau du sol sous l'habitation dans son environnement proche

Type d'action

Gestion de la végétation et l'action racinaire

Qui contacter ?



Paysagiste - Entreprise spécialisée en gestion de la végétation

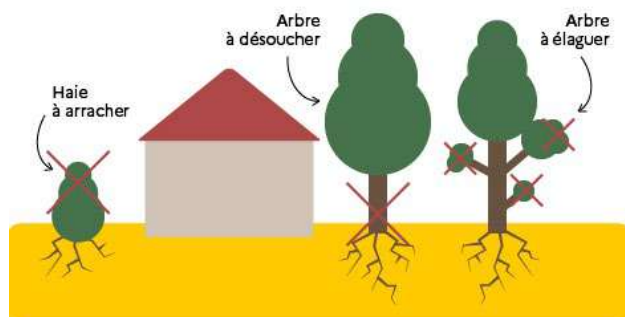
Quel est l'objectif des travaux ?

La présence de végétation trop proche de la maison est le second facteur causant des sinistres, après les hydratations accidentelles. En effet, lorsque les racines sont observées contre et/ou sous les fondations, cela signifie que le mouvement du sol est déjà très avancé. A ce moment-là, l'élagage curatif de l'arbre ou arbuste sinistrant n'a plus d'utilité.

Il convient donc de prévenir cette situation en interdisant toute plantation, toute conservation d'arbre ou arbuste à une distance de la maison inférieure à 1,5 fois leur hauteur à maturité, sauf mise en place d'un écran anti-racines d'une profondeur minimale de 2 m.

En quoi consistent les travaux ?

Schéma de principe selon MTE (2021)



Plusieurs techniques d'entretien courant de la végétation sont envisageables :

- Le dessouchage d'un arbre isolé avec un ratio hauteur de l'arbre / distance de la maison > 1 permet de supprimer l'action racinaire de dessiccation et montre une efficacité durable du moment que les racines sont supprimées.
- Tailler préventivement les haies arbustives chaque année afin de supprimer les repousses de la haie et limiter les besoins en eau de la végétation. Si des racines sont trouvées à proximité des fondations, la haie doit être supprimée ou un écran anti-racines mis en place.
- Arracher les racines permet de supprimer l'action racinaire sur la teneur en eau du sol et la dessiccation des argiles.
- L'élagage consiste à couper certaines branches d'un arbre pour en limiter le développement.
- Le débroussaillage consiste **sur une profondeur d'au moins 50 mètres** autour de son habitation, à réduire la quantité de végétaux et à créer des discontinuités dans la végétation restante. Il s'agit de couper la végétation herbacée, les buissons et les arbustes.

Estimation du coût des travaux : entre 1000 et 3000 € HT (MRN, 2023) selon la ou les techniques utilisées.

Points de vigilance

- Certaines techniques ont une efficacité limitée à la période de leur mise en œuvre et doivent donc être répétées régulièrement pour être durables (couper les racines, l'élagage et le débroussaillage notamment).
- Le dessouchage et l'élagage peuvent ne pas être adaptés à toutes les configurations (zone boisée, arbre des voisins). L'élagage curatif n'a pas d'influence sur la succion racinaire.
- Couper les racines peut entraîner un risque d'altération de la végétation et de stabilité des arbres.
- L'entretien de la végétation est à répéter régulièrement, plusieurs fois par an si nécessaire.

IMPERMÉABILISATION HORIZONTALE DU POURTOUR DE LA MAISON

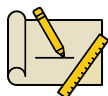
Pour quel objectif visé ?

Stabiliser la teneur en eau du sol sous l'habitation dans son environnement proche

Type d'action

Limiter l'évaporation / évapotranspiration périphérique

Qui contacter ?



Architecte



Bureau d'études géotechnique



Hydrologue-
Hydrogéologue



Bureau d'études structure

Quel est l'objectif des travaux ?

Le dispositif consiste à entourer la construction d'un système imperméable le plus large possible (1 m à 1,50 m selon la vulnérabilité de la construction), pour protéger sa périphérie immédiate de l'évaporation et éloigner les eaux de ruissellement du pied des façades. Si le terrain est plat (ou d'une pente inférieure à 3%), les eaux de ruissellement seront éloignées de la construction pour protéger les fondations des variations de teneur en eau des argiles.

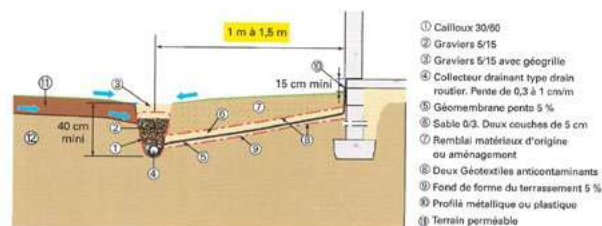
Cette imperméabilisation périmétrique peut être réalisée par la pose soit d'une géomembrane, soit d'un trottoir en béton.

- La géomembrane est une membrane souple, imputrescible et constituée d'un produit d'étanchéité. Cette barrière physique permet de maîtriser et de stabiliser la teneur en eau des sols argileux sous les fondations en limitant les échanges d'eau dus à l'évaporation estivale et d'éloigner les eaux de ruissellement du pied des fondations.
- Le trottoir en béton est une barrière physique étanche d'au moins 1 m de largeur.

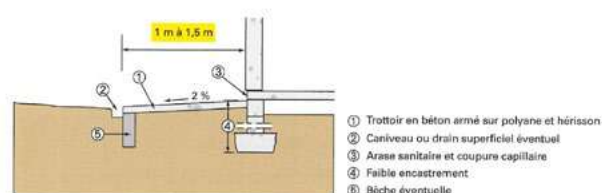
La limitation des échanges d'eau à travers la surface du sol est l'un des moyens efficaces pour empêcher ou tout au moins retarder le retrait ou gonflement des sols sous les fondations. Elle peut permettre de réduire les techniques particulières de construction applicables aux constructions sur les terrains sensibles ou très sensibles.

En quoi consistent les travaux ?

Solution drainée type géomembrane selon guide CSTB, 2021



Solution drainée ou non de type trottoir en béton, selon guide CSTB, 2021



- La géomembrane est posée en position plane, sur toute la périmétrie de la maison et déroulée sur un lit de sable avec une pente de 5 %.
- Elle doit être raccordée aux façades par un système de couvre-joint, et être protégée par deux couches de géotextile ou une protection plastique alvéolaire sur laquelle peut être mis en œuvre un revêtement adapté à l'environnement (pavés, etc).
- La légère pente donnée au dispositif permet d'éloigner les eaux du bâtiment qui doivent être reprises par un réseau d'évacuation étanche.
- Il est recommandé que le relevé de la géomembrane soit au-dessus des terres avec des dispositions permettant d'éloigner les eaux de ruissellement provenant de la façade en cas de pluie.
- En bout de l'imperméabilisation (à 1,5 m de distance de la maison), une retombée de 20 cm est recommandée.
- On veillera à une parfaite étanchéité entre le trottoir en béton et le mur de la maison par un cordon de mastic colle, à renouveler si nécessaire.
- Lorsque la maison est construite en limite de propriété, une autorisation devra être demandée au voisin pour installer le trottoir chez lui, ou mettre en œuvre une géomembrane ou une membrane d'im-

perméabilisation plus discrète. En cas de refus, il faut revenir aux méthodes traditionnelles de reprise en sous-œuvre ou d'amélioration de sol.

Estimation du coût des travaux : entre 2 et 10 k€ HT (MRN, 2023).

Points de vigilance

- La solution trottoir imperméable drainé ou non drainé devra faire l'objet d'une étude particulière, la nécessité du drain étant fonction de la nature des sols au-dessous et au-dessus de la membrane, de leur sensibilité à l'eau, du contexte géomorphologique et de la largeur du dispositif.
- Une difficulté peut se poser lorsque l'une des façades est située en limite de propriété (nécessitant un accord avec le propriétaire mitoyen). L'impossibilité de disposer l'étanchéité sur tout le contour de la construction est de nature à favoriser les désordres et il est alors préférable d'abandonner cette solution.
- En cas de réalisation d'une étanchéité autour de la construction, afin d'éviter un assèchement du sol dommageable sous la construction par évaporation par le vide sanitaire, il conviendra de veiller à ce que celui-ci soit normalement ventilé (par exemple, pour 100 m² de surface de plancher, 4 orifices de ventilation avec une section de ventilation de 125 cm² chacun suffisent).

5.

SOLUTIONS « VERTICALES » DE REMÉDIATION AU RGA

Les solutions dites verticales de remédiation au RGA peuvent venir en complémentarité après la **réalisation de mesures horizontales**. Elles permettent de traiter les conséquences du mouvement du sol avec la rigidification de la construction, en intervenant sur deux catégories d'ouvrages :

- Intervention sur les fondations ;
- Intervention sur la structure de la maison.

En comparaison aux solutions dites horizontales, les solutions verticales sont en général

- Plus coûteuses à mettre en place ;
- Nécessitent des travaux lourds, complexes à réaliser sur une maison existante et parfois longs ;
- Durables.

Par ailleurs, les interventions en site occupé sont toujours très délicates et contraignantes en termes d'accessibilité par exemple.

Les solutions de remédiation dites verticales retenues dans ce guide correspondent principalement à celles recommandées dans le guide « Retrait et gonflement des argiles – analyse et traitement des désordres créés par la sécheresse », Ifsttar et Ineris (2017) et le guide « la pathologie des fondations superficielles » du CSTB (2021). Il convient de se référer à ces guides pour des plus amples informations sur les mesures de remédiation.

Pour toutes les solutions verticales présentées ci-après, la réalisation d'une étude de la structure de la maison par un bureau d'études structure par exemple, est un préalable indispensable avant toute mise en œuvre soignée de travaux.

Enfin, chacune des solutions est généralement à mettre en œuvre sur la totalité de la maison avec les conséquences d'usage qui en découle. Toutefois, il se peut que seules les zones sinistrées nécessitent une intervention. Dans ce cas, les méthodes présentées ci-après peuvent être appliquées de manière localisée.

La reprise en sous-œuvre consiste à renforcer ou modifier les fondations existantes pour améliorer la stabilité de l'ensemble de la construction. Les techniques de reprise en sous-œuvre diffèrent en fonction des besoins, allant de l'approfondissement des fondations à leur renforcement.

MISE EN PLACE DE PLOTS JOINTIFS RÉALISÉS PAR PHASES ALTERNÉES

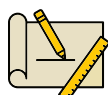
Pour quel objectif visé ?

Intervention sur les fondations

Type d'action

Réaliser une reprise des fondations en sous-œuvre

Qui contacter ?



Architecte



Bureau d'études
géotechnique



Bureau d'études
structure

Quel est l'objectif des travaux ?

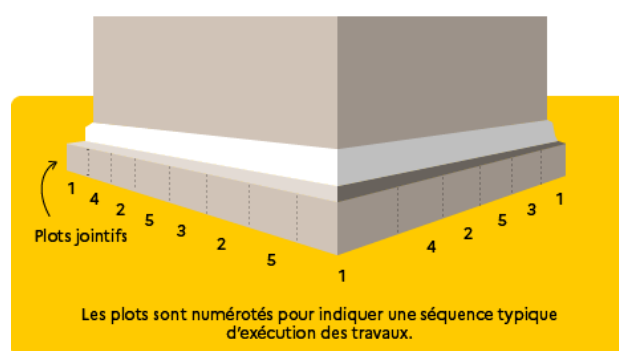
Cette méthode consiste à créer des blocs de béton armé (plots) qui prolongent les fondations existantes. Ces plots sont coulés en alternance pour éviter tout affaissement durant le chantier.

Cette méthode permet le renforcement et l'approfondissement des fondations de la maison lorsque celles-ci ont souffert à cause notamment de déformations de terrains argileux.

Cette technique permet donc d'agir sur la maison sans avoir à la démolir.

En quoi consistent les travaux ?

Schéma de principe selon CSTB (2025)



- Excavation par segments alternés sous les fondations existantes ;
- Coulage de plots en béton armé et liaison des plots avec la structure initiale ;
- Répétition du processus jusqu'à l'obtention d'un renforcement homogène.

Estimation du coût des travaux : sur devis (une estimation ne reflèterait pas la réalité du coût des travaux).

Points de vigilance

Avantage :

- renforcement uniforme des fondations de la maison.

Inconvénient :

- la durée des travaux est relativement longue.

MISE EN PLACE DE PLOTS DISCONTINUS RELIÉS OU NON PAR UNE LONGRINE

Pour quel objectif visé ?

Intervention sur les fondations

Type d'action

Réaliser une reprise des fondations en sous-œuvre

Qui contacter ?



Architecte



Bureau d'études géotechnique



Bureau d'études structure

Quel est l'objectif des travaux ?

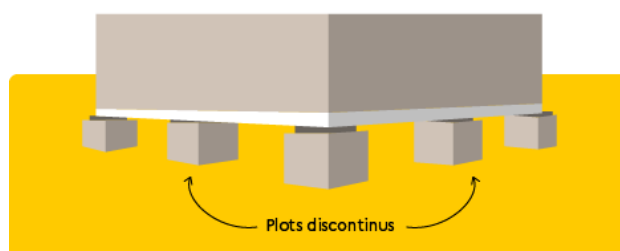
Cette technique est similaire à celle des plots jointifs réalisés par phases alternées, mais les plots sont espacés et peuvent être reliés par des longrines en béton armé pour une meilleure répartition des charges.

Cette méthode permet le renforcement et l'approfondissement des fondations de la maison lorsque celles-ci ont souffert à cause notamment de déformations de terrains argileux.

Cette technique permet donc d'agir sur les fondations de la maison sans avoir à la démolir.

En quoi consistent les travaux ?

Schéma de principe selon CSTB (2025)



- Excavation pour installer les plots discontinus
- Coulage des plots et, si nécessaire, liaison avec les longrines existantes.

Estimation du coût des travaux : entre 30 et 45 K€ HT (Ifsttar, 2017).

Points de vigilance

Avantages :

- Moins d'intervention sur l'existant : Cette solution permet d'éviter des travaux trop intrusifs, notamment lorsque l'on cherche à renforcer un bâtiment sans altérer sa structure principale ;
- Installation localisée : Les plots peuvent être positionnés uniquement aux endroits où le besoin de renforcement est avéré, limitant ainsi les interventions inutiles ;
- Possibilité d'évolution : Si nécessaire, il est possible d'ajouter ultérieurement des longrines pour améliorer la répartition des efforts sans remettre en cause l'ensemble de l'installation.

Inconvénient :

- Moins de continuité structurale si non reliés par des longrines.

MISE EN PLACE DE MICROPIEUX ET MINIPIEUX

Pour quel objectif visé ?

Intervention sur les fondations

Type d'action

Réaliser une reprise des fondations en sous-œuvre

Qui contacter ?



Architecte



Bureau d'études géotechnique



Bureau d'études structure

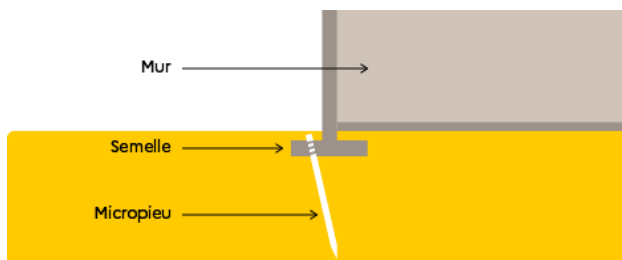
Quel est l'objectif des travaux ?

La reprise en sous-œuvre par micropieux et minipieux permet de transférer les charges des fondations vers des couches profondes du sol stables dont les variations hydriques sont moins sensibles par rapport à celles des couches peu profondes. Ces techniques sont généralement adaptées aux sols instables et aux bâtiments nécessitant un renforcement structural en profondeur.

Ce dispositif permet de réparer ou renforcer les fondations existantes sans avoir à démolir la maison puisque les matériels utilisés sont des machines légères et de petites tailles permettant des travaux au droit de la maison existante.

En quoi consistent les travaux ?

Schéma de principe selon CSTB (2025)



L'installation des micropieux et minipieux suit plusieurs étapes principales :

- Forage : un forage est réalisé jusqu'au sol porteur, avec un diamètre généralement compris entre 80 et 250 mm pour les micropieux et 150 à 400 mm pour les minipieux ;
- Injection : un coulis de ciment est injecté sous pression pour assurer l'adhérence au sol environnant. Pour les minipieux, un coulis de ciment ou un béton plus fluide peut être utilisé, selon les contraintes du projet ;
- Insertion : une armature métallique est introduite dans le forage. Les micropieux utilisent généralement des barres d'armature, tandis que les minipieux peuvent intégrer, en plus des barres d'armature, des tubes métalliques ou des profilés en acier pour une capacité portante plus grande ;
- Scellement : le coulis ou le béton est complété afin d'assurer un ancrage optimal au sol porteur.

Calepinage :

Le positionnement des micropieux ou minipieux est déterminé en fonction de l'analyse structurale de l'ouvrage et des caractéristiques du sol. L'espacement et l'angle d'implantation sont optimisés pour garantir une bonne répartition des charges.

Mise en charge :

Avant d'être pleinement sollicités, les micropieux et minipieux nécessitent une période de stabilisation. Cette phase peut durer plusieurs mois (jusqu'à 24 mois pour les micropieux, potentiellement moins pour les minipieux en raison de leur diamètre plus important et de leur capacité portante plus importante). Cette période favorise l'adaptation du bâtiment aux nouvelles conditions avant toute intervention complémentaire, comme la réparation des fissures.

Estimation du coût des travaux : entre 45 et 70 K€ HT (Ifsttar, 2017).

Points de vigilance

Avantages :

- Micropieux : adaptés aux espaces restreints et aux charges modérées ;
- Minipieux : capacité portante plus élevée, adaptés aux charges plus lourdes.

Inconvénients :

- Micropieux : nécessitent un équipement spécialisé et une mise en œuvre parfois longue ;
- Minipieux : travaux plus lourds et plus coûteux en raison du diamètre plus important.

CONFORTEMENT DE SOLS PAR INJECTIONS DE MATÉRIAUX SOUS LES FONDATIONS

Pour quel objectif visé ?

Intervention sur les fondations

Type d'action

Réaliser une reprise des fondations en sous-œuvre

Qui contacter ?



Architecte



Bureau d'études géotechnique



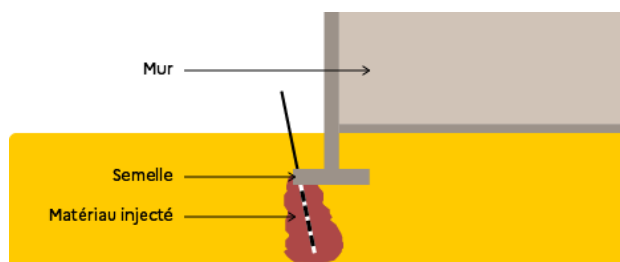
Bureau d'études structure

Quel est l'objectif des travaux ?

Cette méthode consiste à injecter des matériaux (résines expansives ou coulis cimentaires) sous les fondations pour combler les vides dans les sols argileux et renforcer le sol pour éviter les mouvements de terrain.

En quoi consistent les travaux ?

Schéma de principe de l'injection de résine expansive selon CSTB (2025)



- Réalisation de forages sous les fondations ;
- Injection contrôlée du matériau de renforcement.
- L'injection de résine expansive permet de combler les vides contenus dans le sol argileux à proximité et sous les fondations.
- L'injection de coulis de ciment permet de conforter le sol d'assise sous les fondations ou le sol sous dallage par diffusion du fluide au gré des vides présents sous le dallage.
- Dans les deux cas, les caractéristiques du sol sont améliorées par ces injections pouvant descendre jusqu'à 7 m de profondeur.

Estimation du coût des travaux : environ 30 K€ HT (Ifsttar, 2017).

Points de vigilance

Avantages :

- Intervention rapide et localisée, peu invasive ;
- Ces deux techniques peuvent être utilisées pour une reprise localisée à la zone sinistrée.

Inconvénient :

- Moins adaptée aux sols sujets à de fortes variations hydriques.

RÉDUCTION DES FROTTEMENTS LATÉRAUX

Pour quel objectif visé ?

Intervention sur les fondations

Type d'action

Limiter l'effet du retrait-gonflement des sols argileux sur les structures

Qui contacter ?



Architecte



Bureau d'études géotechnique



Bureau d'études structure

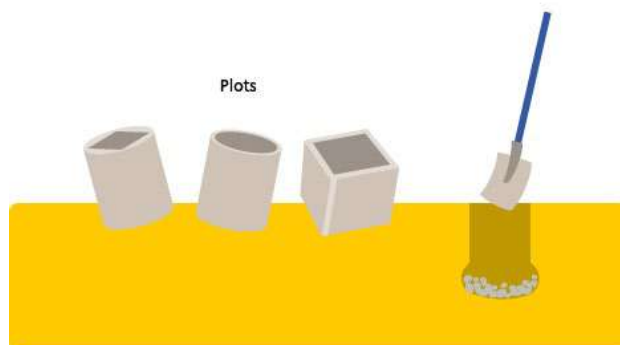
Quel est l'objectif des travaux ?

On associe régulièrement aux techniques de reprise en sous-œuvre des dispositions visant à limiter le frottement parasite sur les faces latérales des éléments de structure en contact avec le sol.

Ce dispositif permet de réduire les efforts parasites et protègent la structure contre les effets du retrait-gonflement des sols argileux, tout en augmentant la durabilité des solutions mises en œuvre.

En quoi consistent les travaux ?

Schéma de principe selon CSTB (2025)



Pour les plots, une interface glissante (souvent en polystyrène ou matériau équivalent) est appliquée sur les parois verticales des excavations avant le coulage du béton.

Estimation du coût des travaux : sur devis (une estimation ne reflèterait pas la réalité du coût des travaux).

Point de vigilance

- Ces travaux peuvent entraîner une modification esthétique en pied de façades de la maison.

PROTECTION CONTRE LE SOULÈVEMENT SOUS LES FONDATIONS

Pour quel objectif visé ?

Intervention sur les fondations

Type d'action

Limiter l'effet du retrait-gonflement des sols argileux sur les structures

Qui contacter ?



Architecte



Bureau d'études
géotechnique



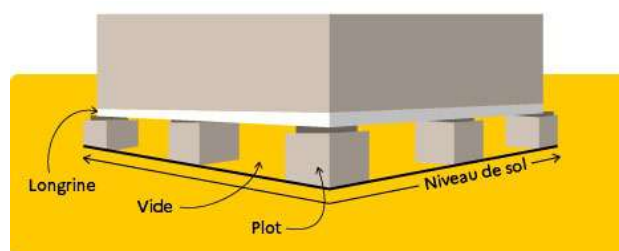
Bureau d'études
structure

Quel est l'objectif des travaux ?

Ce dispositif vise à réduire le phénomène de gonflement sous les éléments de structure (longrines, semelles), en interposant un vide entre le sol et les longrines.

En quoi consistent les travaux ?

Schéma de principe selon CSTB (2025)



- Un vide est créé entre les éléments de fondations (longrines, semelles) et le sol sous-jacent. Pour les longrines nouvelles, cela se fait en les coffrant par des matériaux biodégradables qui se décomposent après les travaux ;
- Reprise par plots ou micropieux sous les semelles existantes servant de support.

Estimation du coût des travaux : entre 30 et 45 K€ HT (Ifsttar, 2017).

Points de vigilance

Avantages :

- Intervention rapide et localisée, peu invasive ;
- Amélioration des conditions en vide sanitaire : Lorsque la maison dispose d'un vide sanitaire, un film de polyane armé est posé sur le sol pour limiter les variations d'humidité dues à l'évaporation, souvent aggravées par les courants d'air.

Inconvénient :

- Moins adaptée aux sols sujets à de fortes variations hydriques.

REPLACEMENT D'UN DALLAGE PAR UN PLANCHER

Pour quel objectif visé ?

Intervention sur les fondations

Type d'action

Travaux spécifiques aux dallages

Qui contacter ?



Architecte



Bureau d'études
géotechnique



Bureau d'études
structure

Quel est l'objectif des travaux ?

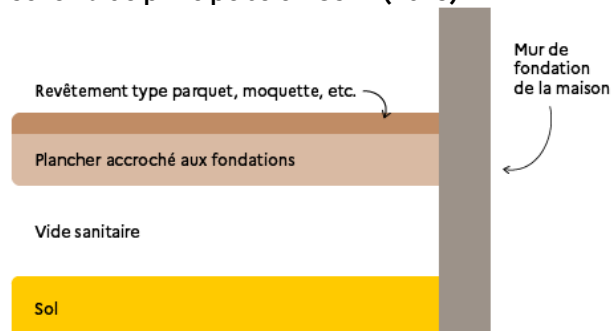
Il existe plusieurs types de désordres liés au RGA pouvant affecter un dallage :

- Apparition de fissures dues à des mouvements différentiels ou à des charges excessives ;
- Affaissements ou soulèvements causés par des variations de volume du sol sous-jacent ;
- Absence ou défaillance des joints de dilatation, aggravant les contraintes thermiques ou mécaniques.

Remplacer un dallage par un plancher permet ainsi de renforcer le sol de la maison pour améliorer la résistance et la stabilité de la structure.

En quoi consistent les travaux ?

Schéma de principe selon CSTB (2025)



Techniques de renforcement et de réparation :

- Lorsque les sols sont très sensibles aux variations hydriques, aucune solution de confortement du dallage n'est considérée comme pérenne. Dans ce cas, il est recommandé de remplacer le dallage par un plancher, accroché aux fondations existantes et laissant un vide sanitaire entre le sol et l'ouvrage.
- Ce changement implique une surcharge supplémentaire à prendre en compte dans le dimensionnement de la reprise en sous-œuvre des fondations, généralement réalisée simultanément. Si le plancher est reconstruit seul, il est préférable de dissocier ses appuis de ceux de l'existant ou de s'assurer que les fondations actuelles peuvent supporter cette surcharge. En fonction de la portée du plancher, des appuis supplémentaires peuvent être nécessaires.

Estimation du coût des travaux : entre 6 et 12 k€ HT (Ifsttar, 2017).

Points de vigilance

Avantages :

- Le remplacement du dallage par un plancher sur vide sanitaire permet d'éliminer les problèmes liés aux variations hydriques du sol ;
- Meilleure durabilité.

Inconvénients :

- Les travaux de confortement des dallages sont inadaptés aux sols gonflants ;
- Les travaux de remplacement de dallage par un plancher accroché aux fondations sont une intervention lourde, coûteuse et qui nécessite un recalcul des charges.

RIGIDIFICATION DE LA STRUCTURE

Pour quel objectif visé ?

Intervention sur la structure de l'habitation

Type d'action

Renforcement par chaînages

Qui contacter ?



Architecte



Bureau d'études
géotechnique



Bureau d'études
structure

Quel est l'objectif des travaux ?

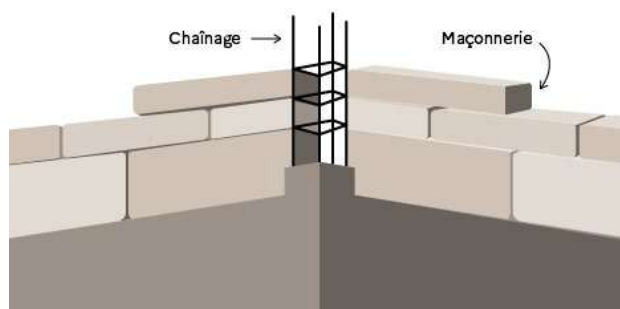
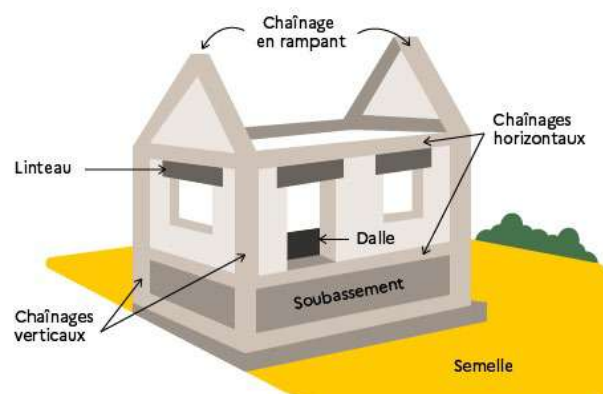
Ce dispositif a pour but de renforcer la solidité de la structure de la maison. Il existe plusieurs techniques qui consistent à ajouter des ouvrages aux parties les vulnérables de la maison.

Ces techniques permettent :

- De prévenir ou corriger les effets du retrait-gonflement des sols argileux en renforçant les éléments porteurs de la maison ;
- D'améliorer la résistance globale sans compromettre l'intégrité des matériaux anciens ;
- De répartir plus uniformément les charges et réduire les déformations différentielles responsables des fissures.

En quoi consistent les travaux ?

Schéma de principe de renforcement de murs en maçonnerie par chaînages, selon CSTB (2025)

Mise en œuvre des principales techniques adaptées
aux maisons existantes :

Chaînages horizontaux : stabilité et continuité

Le chaînage constitue un élément fondamental dans le renforcement des structures en maçonnerie.

Les chaînages horizontaux, souvent placés au niveau des planchers ou des murs, fonctionnent comme des ceintures de sécurité qui empêchent l'écartement des murs. Ils sont particulièrement utiles pour :

- Contrer les charges verticales exercées sur les murs ;
- Limiter les fissurations dues aux mouvements de terrain.

Des armatures métalliques sont généralement intégrées dans des joints de mortier ou dans des poutres en béton armé pour former une structure continue et résistante.

Chaînages verticaux : consolidation des angles

- Les chaînages verticaux sont stratégiquement implantés pour renforcer les zones sensibles comme les angles du bâtiment, qui sont souvent les premiers points de faiblesse en cas de contraintes mécaniques ou de mouvements du sol ;
- Prévention des fissures d'angle : Ils assurent une liaison solide entre les différentes parois du bâtiment ;
- Solidarité structurale : Ils aident à éviter le délaminage des murs et assurent une cohésion entre les différentes parties de la maçonnerie.

Chaînages inclinés (rampant)

Les chaînages rampants visent à renforcer la toiture en haut des pignons en suivant la même pente.

- Matériaux : Les chaînages utilisent souvent de l'acier à haute résistance et du béton armé ;
- Techniques d'installation : L'installation requiert une précision rigoureuse pour s'assurer que les armatures métalliques soient correctement positionnées. Cela peut nécessiter des coffrages adaptés et des méthodes de coulage spécifiques.

Importance des chaînages dans le cadre d'un renforcement global

Les chaînages sont une solution essentielle pour améliorer la résilience des bâtiments. Dans le contexte d'un renforcement structural, il est souvent utilisé en combinaison avec d'autres techniques, comme les reprises en sous-œuvre ou les joints de rupture, afin de maximiser la stabilité et de minimiser les risques liés aux dégradations futures de la structure.

Pose de poutres de renfort ou corsetage :

- Une poutre périphérique en béton armé (corsetage) peut être ajoutée autour de la structure existante. Elle est fixée à la maçonnerie par des goujons métalliques ;
- Le corset est ensuite mis en tension par des dispositifs hydrauliques pour stabiliser les murs.

Ajout de cadres rigides :

Les cadres métalliques ou en bois sont fixés aux murs existants pour renforcer les ouvertures et améliorer leur stabilité.

Renfort des angles avec chaînages :

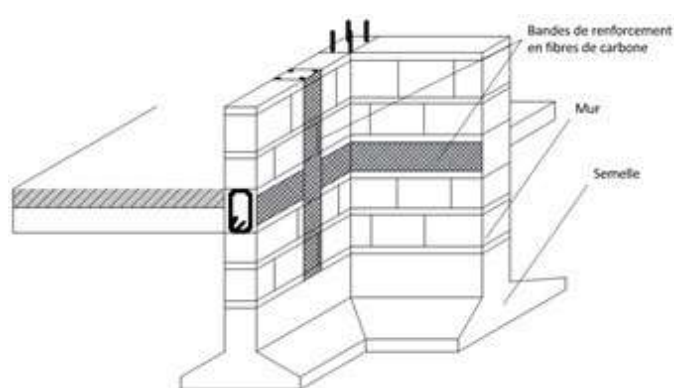
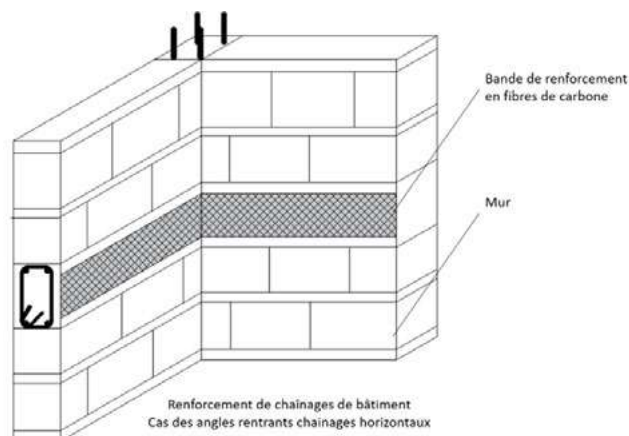
Les chaînages d'angle sont insérés dans les murs pour limiter les fissures verticales et stabiliser les jonctions vulnérables.

Contreventements extérieurs :

Des contreventements peuvent être ajoutés à l'intérieur des murs ou des planchers pour limiter les mouvements latéraux et renforcer la structure face aux efforts horizontaux.

Renforcement par fibres de carbone :

Cette technique consiste à appliquer des bandes ou des tissus en fibres de carbone, préalablement imprégnés de résine époxy, sur les surfaces structurales telles que les murs, les poutres ou les dalles.



Exemple de renforcement en fibres de carbone (CSTB, 2025)

Estimation du coût des travaux : sur devis (une estimation ne reflèterait pas la réalité du coût des travaux)

Points de vigilance

- Compatibilité des matériaux : Les nouveaux matériaux doivent être soigneusement sélectionnés pour éviter des dégradations chimiques ou mécaniques dans le temps ;
- Application particulière : certaines techniques nécessitent une méthode d'intervention spécifique, telles que les bandes de fibres de carbone. Les fibres de carbone doivent être découpées sur mesure, imprégnées de résine, puis fixées sur la structure selon les zones critiques identifiées. Une fois appliquées, une période de cure est nécessaire pour que le renforcement devienne pleinement fonctionnel ;
- Conservation de l'esthétique : Lorsque la structure présente un intérêt patrimonial, les solutions doivent être intégrées discrètement pour ne pas altérer l'apparence visuelle.

Avantages :

- Meilleure cohésion structurale ;
- Améliore la stabilité de la maison sans démolition.

Inconvénients :

- Nécessite des travaux sur la structure existante ;
- Mise en œuvre complexe nécessitant l'intervention de professionnels.

RÉALISATION DE JOINTS DE RUPTURE

Pour quel objectif visé ?

Intervention sur la structure de l'habitation

Type d'action

Renforcement de la structure et de l'étanchéité de la maison

Qui contacter ?



Architecte



Bureau d'études géotechnique



Bureau d'études structure

Quel est l'objectif des travaux ?

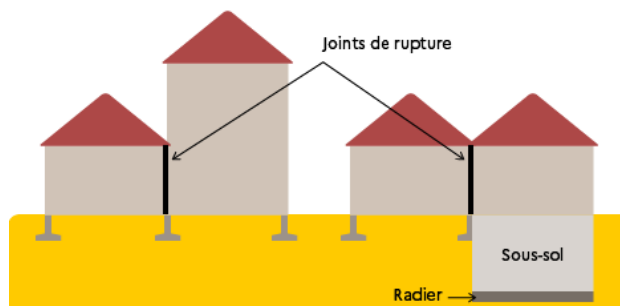
Ce dispositif vise à prévenir ou corriger les effets du retrait-gonflement des sols argileux en renforçant les éléments porteurs de la maison.

Les joints de rupture sont destinés à :

- Isoler les différentes parties d'un bâtiment afin d'éviter que les mouvements différentiels provoquent des fissurations structurales ;
- Dissiper les contraintes internes en autorisant des déplacements contrôlés entre les éléments de la construction ;
- Minimiser les risques de dégradations dans les zones où des contraintes de traction peuvent s'accumuler.

En quoi consistent les travaux ?

Schéma de principe selon CSTB (2025)



Selon les besoins spécifiques et les contraintes structurales, plusieurs types de joints peuvent être mis en œuvre :

- Joints simples : Utilisés principalement pour des constructions à faible mouvement différentiel ;
- Joints complexes : Dotés de systèmes d'étanchéité renforcée, souvent employés dans des environnements soumis à des contraintes mécaniques importantes ;
- Joints à double fonction : Ces joints intègrent à la fois un rôle structural et une fonction d'étanchéité.

Mise en œuvre :

- Une découpe précise des éléments structuraux aux dimensions prévues pour le joint ;
- Une préparation soignée des surfaces adjacentes pour une parfaite adhérence des matériaux insérés ;
- La mise en place d'un coffrage temporaire, si nécessaire, pour contenir le matériau pendant son application.

Estimation du coût des travaux : sur devis (une estimation ne reflèterait pas la réalité du coût des travaux).

Points de vigilance

Avantages et limites :

- Les joints de rupture permettent une grande flexibilité dans la conception et la durabilité des structures, mais leur efficacité dépend de leur implantation correcte et de leur entretien régulier. Une mauvaise exécution ou un sous-dimensionnement peut réduire leur efficacité et augmenter les risques de pathologies structurales.

Entretien :

- Les joints de rupture doivent être inspectés périodiquement pour vérifier leur intégrité et remplacer les matériaux endommagés.

RÉPARATION DES FISSURES

Pour quel objectif visé ?

Intervention sur la structure de l'habitation

Type d'action

Renforcement de la structure et de l'étanchéité de la maison

Qui contacter ?



Architecte



Bureau d'études
géotechnique



Bureau d'études
structure

Quel est l'objectif des travaux ?

Les fissures présentes dans une structure impactée par des mouvements de sol peuvent nécessiter des réparations spécifiques pour restaurer l'esthétique et l'étanchéité, mais leur traitement doit être planifié avec prudence.

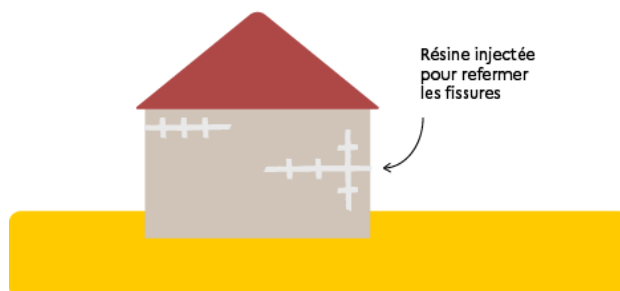
En effet, **la réparation des fissures n'est à considérer qu'une fois le traitement de la cause des désordres réalisé.**

Certaines techniques de reprise en sous-œuvre, comme l'installation de micropieux ou de plots, induisent une période de mise en charge et stabilisation qui peut durer de 12 à 24 mois. Pendant cette période, la structure continue de s'adapter aux changements dans le sol et à l'apport des nouvelles fondations.

Ce dispositif vise à améliorer l'esthétique de la maison grâce notamment aux finitions post agrafage.

En quoi consistent les travaux ?

Schéma de principe selon CSTB (2025).



Points à considérer avant de réparer les fissures :

- Période d'attente nécessaire : La réparation immédiate des fissures après les travaux de fondation risque d'être inefficace si le bâtiment subit encore des ajustements structuraux. Il est recommandé d'attendre que les mouvements résiduels cessent pour garantir la durabilité des réparations ;
- Stabilisation des charges : La consolidation du sol ou l'alignement des contraintes après la mise en œuvre de techniques comme les micropieux nécessite du temps ;
- Observation de l'évolution : Durant cette période, surveiller les fissures pour identifier toute aggravation ou nouvelle déformation.

Conditions de mise en œuvre :

- Évaluation des fissures (superficielles ou profondes, esthétiques ou structurales) ;
- Injection de résines ou pose d'agrafes métalliques pour refermer les fissures ;
- Finition avec des enduits ou produits adaptés.

Estimation du coût des travaux : sur devis (une estimation ne reflèterait pas la réalité du coût des travaux).

Points de vigilance

La réparation des fissures n'est à considérer qu'une fois le traitement de la cause des désordres réalisé.

6.

LES TABLEAUX RÉCAPITULATIFS DES SOLUTIONS DE PRÉVENTION ET D'ADAPTATION

6.1 SOLUTIONS DITES HORIZONTALES

Solution dite horizontale	Description et mise en œuvre	Besoin d'une solution complémentaire ?	
Collecter et évacuer les eaux avec raccordement à un réseau étanche	Créer les branchements de raccordement aux réseaux enterrés. Installer des descentes d'eaux pluviales si inexistantes Vérifier l'intégrité des réseaux	Peut nécessiter l'installation de descentes d'eaux pluviales si absentes	
Installation et entretien des ouvrages de collecte des eaux pluviales séparés du réseau de drainage déporté	Supprimer les pièges à eau par la mise en place d'ouvrages et dispositifs de gestion et de collecte des eaux pluviales, séparés du réseau de drainage déporté des fondations		
Installation de drainage périphérique déporté Mise en séparatif des réseaux EU et EP	Créer un réseau de de tranchées drainantes ceinturant la maison	Peut nécessiter un drainage du remblai si terrain en pente	
Pose d'écran anti-racines	Ancrer verticalement dans une tranchée à au moins 2 m de profondeur, un écran rigide associé à une géomembrane	Éventuellement associé à un drainage des eaux de ruissellement et souterraines	
Entretien de la végétation	Dessouchage, suppression de haie, coupure de racines, élagage, débroussaillage	Peut être associé à la pose d'un écran anti-racines	
Imperméabilisation horizontale du pourtour de la maison (drainée et non-drainée)	Mise en place d'une géomembrane ou d'un trottoir en béton, raccordé aux façades avec une légère pente sur tout le pourtour de la maison	Peut nécessiter la mise en place d'un drain et si vide sanitaire, il devra être faiblement ventilé	

	Avantages	Inconvénients / Limites	Durabilité approximative
	Stabiliser la teneur en eau du sol sous la construction en évacuant les eaux pluviales loin des fondations. Peu coûteux. Rapidité d'exécution	Nécessite l'accord du gestionnaire des réseaux. Nécessite d'évacuer le trop-plein d'un dispositif de stockage vers un exutoire permanent	Long terme (si régulièrement entretenu)
	Mieux gérer les écoulements souterrains et superficiels en les éloignant des fondations de la maison	Le réseau de drainage des eaux superficielles et de ruissellement est impérativement séparatif des eaux pluviales.	Long terme (si régulièrement entretenu)
	Stabiliser la teneur en eau du sol sous la construction. Minimise les mouvements différentiels du sous-sol. Peu coûteux	Mitoyenneté empêchant de ceinturer totalement la maison	Long terme (si régulièrement entretenu)
	Limiter le développement racinaire et la dessiccation des sols. Stabiliser la teneur en eau du sol sous la construction. Peu coûteux	La profondeur d'ancrage peut être plus profonde selon l'essence de l'arbre. Nécessite des travaux d'affouillement, sauf si recours à un écran en palplanche	Long terme (si régulièrement entretenu)
	Stabiliser la teneur en eau du sol sous la construction en limitant le développement de la végétation. Peu coûteux, Peu invasif. Facilité d'exécution	Nécessite d'être réalisé annuellement	Long terme (si réitéré régulièrement)
	Stabilise la teneur en eau du sol sous la construction. Limite l'évaporation périphérique	Mitoyenneté empêchant de ceinturer totalement la maison	Long terme (si régulièrement entretenu)

6.2 SOLUTIONS DITES VERTICALES

Solution dite verticale	Description et mise en œuvre	Besoin d'une solution complémentaire ?	
Mise en place de plots jointifs réalisés par phases alternées	Excavation en alternance, coulage de plots en béton armé	Non obligatoire mais parfois couplé à des longrines	
Mise en place de plots discontinus reliés ou non par une longrine	Excavation localisée, coulage de plots espacés, ajout éventuel des longrines	Oui, longrine nécessaire pour une meilleure continuité structurale	
Micropieux et minipieux	• Forage jusqu'à un sol porteur, injection de ciment, insertion d'armatures • Forage plus large que celui pour des micropieux, injection de béton ou ciment, mise en place de tubes métalliques	• Peut nécessiter des longrines pour répartir mieux des charges • Peut nécessiter une connexion aux fondations existantes	
Confortement du sol par injection de matériaux sous les fondations	Forage, injection de résines expansives ou coulis de ciment	Peut nécessiter un drainage	
Réduction des frottements latéraux	Application d'une interface glissante sur les parois verticales des excavations avant le coulage du béton.	A associer aux autres techniques de reprises en sous-œuvre	
Protection contre le soulèvement sous les fondations	Réduire le phénomène de gonflement sous les éléments de structure (longrines, semelles) en interposant un vide entre le sol et les longrines	A associer aux techniques impliquant la pose de longrines ou de semelles (plots discontinus)	
Remplacement d'un dallage par un plancher sur vide sanitaire	Remplacement du dallage par un plancher accroché aux fondations existantes, avec un vide entre le sol et la structure	Peut nécessiter une reprise en sous-œuvre des fondations pour supporter la surcharge	
Rigidification de la structure	• Ajout d'éléments en béton armé • Poutre en béton armé autour de la structure, mise sous tension	• Peut être couplé à des reprises en sous-œuvre • Peut être combiné à des chaînages	
Réalisation de joints de rupture	Création d'un espace de dilatation entre éléments structuraux	Peut être couplé à un renforcement des fondations	
Réparation des fissures	Evaluer les fissures. Injection de résines ou pose d'agrafes métalliques pour refermer les fissures. Finition		

	Avantages	Inconvénients / Limites	Durabilité approximative
	Renforcement uniforme	Durée des travaux et difficulté d'accès	Long terme (si bien dimensionné)
	Moins intrusif, évolution possible	Moins de continuité structurale si non relié	Moyen à long terme
	• Adapté aux espaces restreints, charges modérées • Charges plus élevées que celles pour les micropieux	• Mise en charge longue (jusqu'à 24 mois), coûteux • Travaux plus lourds, plus coûteux	Long terme
	Méthode rapide, peu invasive	Moins efficace en cas de forte variations hydriques	Selon l'Avis Technique du procédé
	Permet de réduire les efforts parasites et protège la structure contre les effets du RGA	Travaux pouvant entraîner une modification esthétique en pied de façades de la maison	Long terme
	Intervention rapide, peu invasive. Amélioration des conditions en vide sanitaire	Moins adaptée aux sols sujets à de fortes variations hydriques	Long terme
	Élimine les problèmes liés aux variations hydriques du sol, meilleure durabilité	Intervention lourde et coûteuse, nécessite un recalcul des charges	Long terme
	• Meilleure cohésion structurale • Améliore la stabilité sans démolition	• Nécessite des travaux sur la structure existante • Mise en œuvre complexe	Long terme
	Permettre le déplacement des éléments avoisinants	Doit être bien calculé pour être efficace	Long terme
	Restauration rapide de l'esthétique et de la fonctionnalité	Ne traite pas les causes sous-jacentes	Long terme

7.

CONCLUSIONS

L'urgence climatique et l'ampleur que prend le phénomène de retrait-gonflement des sols argileux (RGA) depuis 2015 en France requièrent une mobilisation de l'ensemble des acteurs concernés en faveur de l'information et la sensibilisation, le diagnostic, la prévention et l'adaptation.

L'adaptation des bâtiments au phénomène RGA repose aujourd'hui sur la réparation post-sinistres, financée par le régime Cat Nat pour les communes reconnues en état de catastrophe naturelle. Cette politique curative présente des limites en ne traitant les biens qu'une fois sinistrés avec un coût moyen important. En effet, **le coût de la sinistralité est en perpétuelle augmentation** : de 13,8 milliards d'€ entre 1989 et 2019, il passerait à 43 milliards d'€ entre 2020 et 2050 d'après les projections de la Caisse centrale de réassurance (CCR).

Sur les 10 dernières années, les coûts cumulés de la sinistralité sont causés à 52% par le risque sécheresse, puis à 30% par le risque inondation et enfin à 18% par les autres risques naturels.

Ainsi, le déploiement d'une politique de prévention du RGA basée en premier lieu sur la mise en œuvre des solutions dites horizontales et en second lieu les solutions dites verticales apparaît d'autant plus efficiente et durable qu'elle cible les biens particulièrement vulnérables.

Les travaux préventifs et d'adaptation vis-à-vis du RGA peuvent non seulement réduire la sinistralité future (construction neuve) mais sont tout aussi nécessaires et urgents pour adapter et réduire la vulnérabilité du bien aujourd'hui exposé.

Ce guide présente la démarche globale de prévention et d'adaptation des maisons individuelles

situées en zones d'exposition moyenne et forte au phénomène de retrait-gonflement des argiles. Il aborde successivement :

- La description du phénomène de retrait et de gonflement des sols argileux ;
- Son impact en termes de sinistralité ;
- L'importance et les principes généraux de la prévention du RGA ;
- Les solutions techniques de prévention et d'adaptation dites horizontales ;
- Les solutions techniques de remédiation dites verticales.

Le recours aux solutions dites horizontales est à privilégier car elles permettent de traiter les causes du mouvement du sol. En effet, les solutions de prévention et d'adaptation dites horizontales ont pour but de maîtriser les variations de la teneur en eau du sol autour de la maison par, entre autres, la maîtrise des écoulements superficiels et souterrains (pose de géomembrane, système de drainage), la pose d'écrans anti-racines et la mise en place d'une bordure imperméable autour de la maison.

Elles sont plus robustes, plus faciles à mettre en œuvre et à généraliser, et à moindre coûts en comparaison des solutions dites verticales (reprise des fondations, etc.), sous réserve d'être régulièrement entretenues par les propriétaires des bâtiments afin de pérenniser leur durabilité et leur efficacité.

Les solutions horizontales peuvent être complétées par la mise en œuvre de solutions de remédiation dites verticales afin de renforcer la structure et les fondations de la maison. Ces solutions verticales ne traitent que des conséquences du phénomène RGA.

ANNEXE

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET DOCUMENTS ASSOCIÉS AUX MESURES DE PRÉVENTION ET D'ADAPTATION DU RGA

- [1] Béchade A. F. (2021) La pathologie des fondations superficielles : diagnostic, réparations et prévention. Guide Pathologies des bâtiments : CSTB Éditions, 529 pages, numéro ISBN 978-2-86891-692-1, 2ème édition, France.
- [2] Béchade A. F. (2014) La pathologie des fondations superficielles : diagnostic, réparations et prévention. Guide Pathologies des bâtiments : CSTB Éditions, 360 pages, numéro ISBN 978-2-86891-597-9, 1ère édition, France.
- [3] CCR (2023b) Conséquences du changement climatique sur le coût des catastrophes naturelles en France à horizon 2050. Rapport d'étude. <https://www.ccr.fr/-/etude-climat-ccr-2023>
- [4] CEBTP (1991a) Guide pratique pour la détermination des solutions adaptées à la réparation des désordres des bâtiments provoqués par la sécheresse. Fascicule 1 : bases de référence.
- [5] CEBTP (1991b) Guide pratique pour la détermination des solutions adaptées à la réparation des désordres des bâtiments provoqués par la sécheresse. Fascicule 2 : principes et méthodologie.
- [6] CEBTP (1991c) Guide pratique pour la détermination des solutions adaptées à la réparation des désordres des bâtiments provoqués par la sécheresse. Fascicule 3: annexes techniques.
- [7] CSTB (2021) Guide technique sur la pathologie des fondations superficielles. CSTB editions.
- [8] Cutler D. F. and Richardson I. B. K. (1989) Tree roots and buildings. Second edition. Longman Scientific & Technical, ISBN 0-582-03410-8, UK.
- [9] France Assureurs (2021) Impact du changement climatique sur l'assurance à l'horizon 2050. Rapport d'étude. <https://www.franceassureurs.fr/lassurance-protege-finance-et-emploi/lassurance-protege/actualites-protege/changement-climatique-quel-impact-sur-lassurance-a-lhorizon-2050/>
- [10] Géorisques (2024a) Dossier expert sur le retrait-gonflement des argiles. Article web. <https://www.georisques.gouv.fr/articles-risques/retrait-gonflement-des-argiles/exposition-du-territoire-au-phenomene>
- [11] Ighil Ameur L. (2022) Les maisons et les routes exposées au RGA à l'épreuve de l'adaptation au changement climatique. 11^{es} journées nationales de géotechnique et de géologie de l'ingénieur (JNGG), Institut National des Sciences Appliquées de Lyon [INSA Lyon], CFMS, CFMR, CFGI, Lyon - France. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03720254/>
- [12] Javouhey J-M (2012) Ces maisons qui ont soif – 20 ans de sinistres sécheresse (1989-2009) racontés par un expert – Prévention, réparations, réglementation, assurances, ... - Edition à compte d'auteur.

- [13] MRN (2024) Référentiels de résilience du bâti aux aléas naturels. Rapport technique. https://www.mrn.asso.fr/wp-content/uploads/2024/03/repertoire-mrn-des-referentiels-de-resilience-du-bati-aux-aleas-naturels_janvier-2024_vf_08-03.pdf
- [14] MRN (2023) Diagnostic pour l'adaptation des habitations au RGA avant dommages. Rapport méthodologique. <https://www.mrn.asso.fr/nouvelle-publication-mrn-diagnostic-pour-la-daptation-des-habitations-au-retrait-gonflement-des-argiles-avant-dommages-rapport-methodologique/>
- [15] MTECT (2021) Plaquette de communication article 68 loi ELAN « Construire en terrain argileux : la réglementation et les bonnes pratiques https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/construire_en_terrain_argileux_reglementation_et_bonnes_pratiques-v_modif%20ccmi.pdf
- [16] SDES (2021) Nouveau zonage d'exposition au retrait-gonflement des argiles : plus de 10,4 millions de maisons individuelles potentiellement très exposées. Article web. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/nouveau-zonage-dexposition-au-retrait-gonflement-des-argiles-plus-de-104-millions-de-maisons>
- [17] USG - CFG - CFMS - SYNTEC INGÉNIERIE (2021) Ouvrages existants exposés à la sécheresse : stabilisation des sols de fondations par imperméabilisation périmétrale - Recommandations sur la conception et la mise en œuvre. Recommandations techniques. https://www.geotechnique-journal.org/images/stories/recommandations/recomm_GEOMEMBRANE.pdf
- [18] CERIB. Guide de bonnes pratiques pour la construction en maçonnerie de blocs en béton. 2020.



La démarche de réalisation de travaux de prévention et d'adaptation du phénomène de retrait-gonflement des argiles (RGA) dans l'habitat individuel existant et neuf comprend 4 étapes successives :

1. S'INFORMER sur l'exposition du bien au phénomène de retrait-gonflement des sols argileux

2. FAIRE DIAGNOSTIQUER par un professionnel la vulnérabilité de la construction concernée en déroulant une méthodologie adaptée

3. SÉLECTIONNER – À L'AIDE D'UN PROFESSIONNEL LES MESURES de prévention et d'adaptation horizontales en premier lieu, éventuellement complétées par des mesures verticales, les plus pertinentes

4. FAIRE RÉALISER LES TRAVAUX par un ou plusieurs professionnels qualifiés

Ce guide apporte aux particuliers et aux collectivités territoriales les clés de compréhension du phénomène de retrait-gonflement des sols argileux. Il décrit la démarche globale de prévention et d'adaptation des maisons individuelles au RGA. Il présente les principales mesures de prévention et d'adaptation dites horizontales qui permettent de traiter la ou les causes du phénomène RGA.

Il aborde également les principales solutions de remédiation dites verticales qui peuvent être complémentaires des solutions horizontales, pour traiter les conséquences du RGA.