TECHNIQUES ET MÉTHODES

Retrait et gonflement des argiles

Caractériser un site pour la construction

Guide 1



guide technique

Retrait et gonflement des argiles

Caractériser un site pour la construction

Guide 1

Juillet 2017



TECHNIQUES ET MÉTHODES

Ce guide a été élaboré dans le cadre du projet ARGIC2 (Analyse du retrait-gonflement et de ses incidences sur les constructions) financé par la DGPR (Direction générale de la Prévention des Risques) du MTES (Ministère de la Transition écologique et solidaire) et par la DHUP (Direction de l'Habitat, de l'Urbanisme et des Paysages) sous la double tutelle du MTES et du MCT (Ministère de la Cohésion des territoires).

Le groupe de rédaction du guide était constitué des membres suivants :
Roger Cojean (Armines) en charge de la coordination du guide
Martine Audiguier (Armines)
Sébastien Burlon (Ifsttar)
Alain Denis (I2M-GCE, université de Bordeaux)
Irini Djeran-Maigre (LGCIE, Insa de Lyon)
Myriam Duc (Ifsttar)
Richard Fabre (I2M-GCE, université de Bordeaux)
Catherine Jacquard (Fondasol)
Jean-François Lataste (I2M-GCE, université de Bordeaux)
Jean-Pierre Magnan (Ifsttar)
Farimah Masrouri (Lemta, université de Lorraine)
David Mathon (Cerema)
Emmanuelle Plat (BRGM)
Catherine Pothier (LGCIE, Insa de Lyon)

Les représentants des ministères en charge du suivi du guide étaient :
Mathieu Blas (DHUP), François Hédou (DGPR) et Cécile Rousseau (DGPR).

L'ensemble des partenaires du projet ARGIC2 comprend :
Armines, AQC, BRGM, Capeb, CFEC, CSTB, FFB, Fondasol, I2M-GCE (université de Bordeaux), Ifsttar, Ineris, Lemta (université de Lorraine), LGCIE (Insa de Lyon), LMSSMat-ECP, LOMC (université du Havre), Socabat et UMF.

Le Cerema et I2M-GCE (université de Bordeaux) sont remerciés pour avoir permis l'utilisation de certaines de leurs photos.

Comment citer cet ouvrage :
Ifsttar et Armines - Retrait et gonflement des argiles - Caractériser un site pour la construction, guide 1. Marne-la-Vallée : Ifsttar, 2017. Techniques et méthodes, GTI 4-1, 46 pages,
numéro ISBN 978-2-85782-724-5

Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux - Ifsttar
14-20, boulevard Newton - Cité Descartes - Champs-sur-Marne - 77447 Marne-la-Vallée cedex 2
www.ifsttar.fr
Les collections de l'Ifsttar
techniques et méthodes - guide technique - réf. : GTI 4-1
ISBN 978-2-85782-724-5 – ISSN 2492-5438

En application du code de la propriété intellectuelle, l'Ifsttar interdit toute reproduction intégrale ou partielle du présent ouvrage par quelque procédé que ce soit, sous réserve des exceptions légales.

Cet ouvrage est mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution. Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.
Les termes de cette licence sont accessibles à l'adresse :
http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

Avertissement

La rédaction des trois guides *Retrait et gonflement des argiles* a été lancée en 2011 en relation avec un projet de loi portant réforme du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles (Catnat) afin d'accompagner les professionnels de la construction pour la mise en application du contenu de cette loi concernant le risque retrait-gonflement des argiles. Ces guides établis en 2017 sont à considérer comme des documents utiles à la prévention du risque retrait-gonflement des argiles et ils sont diffusés indépendamment du projet de loi.

Le guide 1 propose une démarche pour définir la sensibilité des sols supports de la construction au phénomène de retrait-gonflement, le guide 2 propose des principes de conception d'une maison individuelle sur un site plus ou moins sensible au retrait-gonflement et le guide 3 traite des techniques de réparation des maisons individuelles suite à des désordres imputables au phénomène de retrait-gonflement. Ces guides sont informatifs. Ils ne sont ni normatifs ni réglementaires.

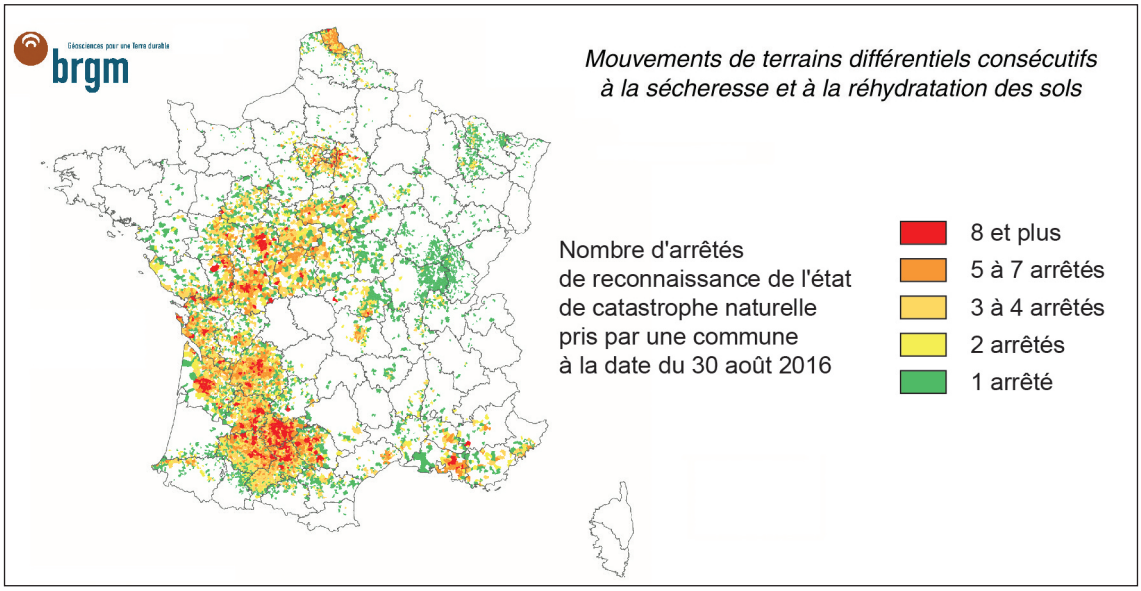
Il est important de souligner que l'application du guide 2 nécessite la connaissance de la sensibilité au risque retrait-gonflement des sols supports du projet de construction. Cette information ne peut être obtenue que par une reconnaissance géotechnique. Ainsi, les informations contenues dans le guide 2 ne doivent pas être considérées comme des dispositions techniques forfaitaires à appliquer sans réserve.

Pour tout projet de construction de maison individuelle, il est essentiel de réaliser une étude géotechnique préalable. Celle-ci doit être adaptée au projet et à son environnement en s'inspirant de la démarche présentée dans le guide 1.

Préambule

Les phénomènes de retrait et de gonflement des sols argileux sont observés depuis longtemps dans les pays au climat sec, où ils sont à l'origine de nombreux désordres causés tant aux bâtiments qu'aux voiries. En France, où les pluies sont plus régulières et les variations saisonnières moins marquées, ces phénomènes n'ont été mis en évidence que plus récemment, en particulier à l'occasion des sécheresses des années 1976, puis 1989 et 1990 et enfin 2003. Les désordres alors observés sur les constructions concernent essentiellement les maisons individuelles. Ils représentent par ailleurs pour les assurances un coût très important. Les régions affectées par ces problèmes sont la Plaine des Flandres, le Bassin parisien, une grande partie de l'Ouest de la France avec notamment le Bassin aquitain, la Provence, la vallée de la Saône entre la Bourgogne et la Franche-Comté ainsi qu'une partie de la Lorraine.

Il est toutefois possible de gérer ces problèmes de retrait-gonflement lors de la construction de la maison ou lors de réparations à entreprendre suite à l'apparition de désordres. Une série de trois guides *Retrait et gonflement des argiles* a donc été élaborée pour présenter les solutions à ces problèmes.



Le guide 1 *Caractériser un site pour la construction* propose une démarche de détermination de la sensibilité au retrait-gonflement d'une parcelle (qui est celle utilisée dans le guide 2). Cette démarche est divisée en cinq étapes, qui comprennent la consultation des informations existantes (cartes, PPR, etc.), une visite du site et éventuellement la réalisation de sondages puis d'essais de laboratoire pour l'identification des sols et pour l'estimation de leur aptitude au retrait-gonflement.

Le guide 2 *Protéger sa maison de la sécheresse* présente les principes de conception d'une maison individuelle sur un site plus ou moins sensible au retrait-gonflement. Ces principes concernent à la fois l'environnement de la maison et notamment la gestion des eaux et la structure de la maison avec des recommandations sur les profondeurs des fondations. Les solutions proposées sont classées en fonction des conditions de sol sous la construction et de conditions environnementales plus ou moins favorables.

Le guide 3 *Analyse et traitement des désordres créés par la sécheresse* traite des techniques de réparation des maisons individuelles suite à des désordres imputables au phénomène de retrait-gonflement. Il aborde plus largement des sujets liés à l'expertise de ce type de sinistre, aux principales méthodes de réparation et aux procédures de prise en charge de ces réparations par les assurances.

Sommaire

Introduction 9

Chapitre 1. Les informations à rechercher 11
1.1. Les sols sous la contruction 11
1.1.1. Description des sols sensibles au retrait-gonflement 11
1.1.2. Épaisseur des couches et hétérogénéité du site 11
1.1.3. Variations de l'humidité du sol 11
1.1.4. Exemples 12
1.2. L'environnement de la construction 13
1.2.1. Le climat à l'échelle régionale 13
1.2.2. Les pentes et les circulations d'eau sur la parcelle 13
1.2.3. Les circulations d'eau sous la parcelle 14
1.2.4. La végétation 14
1.2.5. Les aménagements existant autour de la construction 15
1.3. Démarche générale pour la caractérisation du site 15

Chapitre 2. Les moyens d'étude 17
2.1. Les sources documentaires 17
2.1.1. La carte géologique du BRGM 17
2.1.2. La carte d'aléa retrait-gonflement des argiles du BRGM 19
2.1.3. Les plans de prévention des risques (PPR) 20
2.1.4. Les informations fournies par la carte topographique et les photographies aériennes 21
2.1.5. Les informations fournies par les études de sol ponctuelles 22
2.1.6. Les désordres passés connus au voisinage de la parcelle 23
2.2. La visite de terrain : étude de l'environnement de la construction 24
2.3. Les sondages et les essais de laboratoire : étude du sol sous la construction 25
2.3.1. Les sondages 25
2.3.2. Les essais de laboratoire 28

Chapitre 3. Interprétation des informations recueillies 35
3.1. Analyse des informations 35
3.1.1. Étape 1 : recherche documentaire 35
3.1.2. Étape 2 : visite de terrain 35
3.1.3. Étape 3 : réalisation de sondages et prélèvements 38
3.1.4. Étape 4 : essais d'identification des sols fins 39
3.1.5. Étape 5 : essais de retrait-gonflement (estimation de la sensibilité des sols fins) 40
3.2. Détermination du niveau de sensibilité de la parcelle 40

Annexe 41

Fiche bibliographique 42

Publication data form 44

Introduction

La construction des bâtiments, notamment des maisons individuelles, nécessite des informations sur le sol sous la parcelle et sur l'environnement. Ces informations permettent d'adapter la conception de la maison au retrait-gonflement. Ce guide propose une méthode de caractérisation du site en distinguant, d'une part, **le sol sous la construction** et, d'autre part, **l'environnement de la construction**.

On distingue couramment deux types de sol :

- les sols grenus, constitués de particules que l'on peut observer visuellement (par exemple, les sables et les graviers) ;
- les sols fins, dont les particules ont une taille si faible qu'il est impossible de les observer distinctement sans moyens appropriés (loupe, microscope, microscope à balayage électronique).

Les sols fins incluent les sols limoneux, argileux et marneux. Seuls les sols argileux et marneux sont affectés par des phénomènes de retrait-gonflement.

Les déformations des sols sous les constructions sont provoquées par la charge qu'elles appliquent aux sols. Dans le cas des sols argileux ou marneux, il peut exister des déformations complémentaires dues au retrait ou au gonflement du sol lorsque la quantité d'eau qu'ils renferment varie (figure 1).

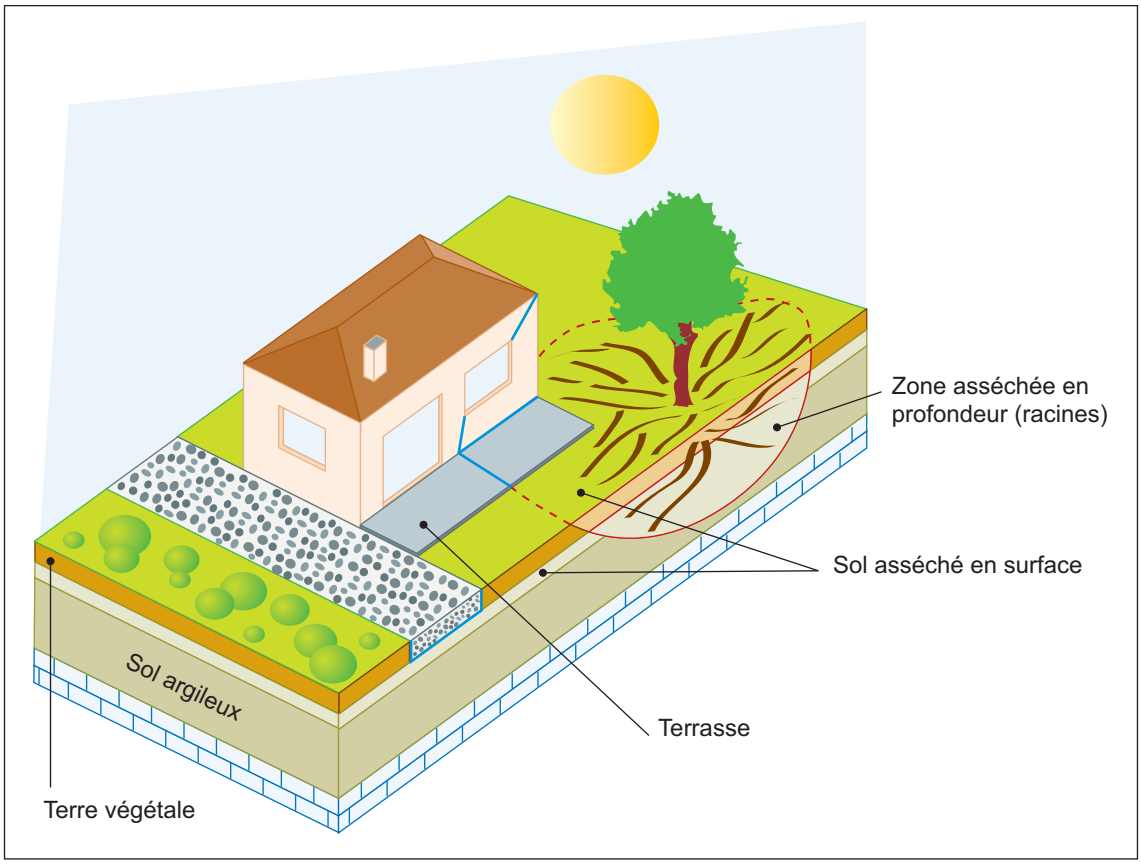


Figure 1
Vue d'une maison individuelle soumise à des phénomènes de retrait-gonflement

Comme une éponge sèche mise en contact avec une surface humide, les sols argileux et marneux secs gonflent et deviennent plus mous en présence d'eau. Quand l'eau quitte ces sols, ils sont soumis à un phénomène de retrait, leur volume diminue, ils durcissent et des fentes de dessiccation peuvent apparaître. Ces phénomènes sont liés d'une part à la microstructure et d'autre part à la nature des particules argileuses et des minéraux qui les constituent.

Dans la nature, l'alternance de périodes sèches et de périodes humides et la présence d'arbres, de terrasses, de fossés, de constructions, etc. peuvent être à l'origine de ces phénomènes de retrait et de gonflement. Ceux-ci peuvent provoquer des tassements ou des soulèvements différentiels et entraîner des désordres.

Le sol sous la construction doit être caractérisé jusqu'à une profondeur et sur une surface suffisantes. Ces dimensions sont appréciées en fonction de la nature de la construction et de sa géométrie ainsi que de l'environnement de la parcelle ; c'est ce que l'on appelle la « zone d'influence géotechnique » (ZIG) qui conditionne le fonctionnement du sol portant la construction. Pour évaluer la sensibilité des sols aux variations d'eau, il faut détecter la présence de sols argileux ou marneux, leur épaisseur ainsi que leur profondeur et leur aptitude au retrait et gonflement.

L'environnement de la construction doit être caractérisé par rapport au contexte topographique, aux conditions de drainage superficiel du terrain et au contexte hydrogéologique pour ce qui concerne les écoulements souterrains peu profonds. De plus, la présence de végétation doit être bien identifiée, en considérant son état actuel et futur.

Ce guide aborde successivement les sujets suivants :

- Quelles informations doivent être recherchées sur les facteurs et les origines des phénomènes de retrait-gonflement ?
- Quels moyens peuvent être mis en œuvre pour obtenir ces informations ?
- Quelles conclusions peut-on tirer des informations recueillies ?

Il est important de préciser que la démarche exposée dans ce guide est relative à la caractérisation de la sensibilité au retrait-gonflement sur une parcelle. Cette démarche n'est pas autonome et s'inscrit en général dans le cadre d'une étude géotechnique liée à la construction (norme NF P 94-500). Cette dernière doit aborder les problèmes de dimensionnement des fondations superficielles et le cas échéant préciser l'influence d'autres types de risques liés, par exemple, à la présence de cavités souterraines, aux glissements de terrain, aux inondations, aux séismes, etc.

Chapitre 1.
Les informations à rechercher

Les informations à rechercher concernent à la fois le sol sous la construction et l'environnement de celle-ci. Elles ont pour objectif de répondre à deux questions :

- Le sol peut-il générer des déformations de retrait ou gonflement ?
- L'environnement de la construction favorise-t-il ces phénomènes ?

1.1 Les sols sous la construction

Dans le cas où la présence de sols fins sous la construction est probable ou avérée, il faut étudier la sensibilité des sols au retrait-gonflement, l'épaisseur des différentes couches sensibles, l'hétérogénéité du site et les variations de l'humidité du sol.

1.1.1. Description des sols sensibles au retrait-gonflement

Ces sols sont divisés en sols argileux et sols marneux.

Un sol argileux est un sol fin composé en grande proportion de particules argileuses (taille inférieure à 2 µm). Ces particules sont composées d'agrégats de minéraux (constitués majoritairement de minéraux argileux de la famille des phyllosilicates). Selon le type de minéral argileux, ces sols ont une sensibilité différente au retrait-gonflement c'est-à-dire que leur volume varie différemment en fonction des variations hydriques auxquelles ils sont soumis. Ainsi, parmi les minéraux argileux, le groupe des smectites est beaucoup plus sensible que les kaolinites et leurs variations de volume plus importantes.

Un sol marneux est composé de particules argileuses mélangées avec une forte proportion de particules calcaires. Il peut également présenter une sensibilité importante au retrait-gonflement. Il est donc important de bien identifier la nature des sols considérés.

Le sens des déformations de retrait-gonflement des sols argileux ou marneux dépend aussi de leur état : les sols plutôt denses et secs ont tendance à gonfler lors de périodes pluvieuses tandis que les sols lâches et humides ont tendance à diminuer de volume lors de périodes sèches.

1.1.2. Épaisseur des couches et hétérogénéité du site

L'épaisseur des différentes couches argileuses sensibles au retrait-gonflement et l'hétérogénéité du site sont liées à l'histoire géologique du site et aux éventuels travaux qu'il a pu subir (remblaiement, par exemple). Selon le contexte géologique, les couches de sols sensibles peuvent être plus ou moins épaisses et uniformes. Des variations latérales de nature (sols plus ou moins argileux) et d'épaisseur de ces couches peuvent se présenter sous la construction (les géologues parlent alors de variation latérale de faciès). Il peut aussi exister des lentilles de sols sensibles dont la localisation est aléatoire voire des mélanges de différents sols dans le cas de terrains glissés sur des pentes. L'épaisseur de ces couches va influencer l'amplitude des déplacements et leur hétérogénéité augmentera le risque de tassements différentiels.

1.1.3. Variations de l'humidité du sol

Les variations de l'humidité du sol commandent l'amplitude des déformations de retrait et de gonflement. Les valeurs minimales et maximales de la quantité d'eau contenue dans le sol déterminent les bornes des variations possibles des déformations associées. La position de l'état hydrique initial du sol (avant la construction) entre ces bornes indique s'il va plutôt avoir une tendance au retrait ou au gonflement.

1.1.4. Exemples

Un ensemble homogène : La Plaine des Flandres

La Plaine des Flandres (figure 2), qui s'étend entre Lille et Dunkerque au Nord de la France, sans variation notable d'altitude à l'exception des monts des Flandres, possède une géologie particulière. Depuis la surface et sur plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur se trouve l'argile des Flandres. Les sites dans cette région possèdent donc, en termes de géométrie des couches de sol, une structure relativement simple. La sensibilité de ces sols à l'échelle régionale est assez importante mais peut varier localement de manière notable. Ces sols sont par ailleurs saturés et présentent pour des sols argileux une compacité plutôt faible. Ces caractéristiques indiquent donc une nette tendance au retrait, qui peut induire des déplacements non négligeables. Les déplacements différentiels proviendront essentiellement du fait que les sols sous une construction ne sont pas exposés de la même manière à l'air et présentent des teneurs en eau différentes. La présence d'éléments extérieurs comme des arbres ou des mares peut toutefois modifier ce diagnostic général.



Figure 2
Vue typique de la Plaine des Flandres



Figure 3
Hétérogénéité des terrains sur le site de Pessac
(Source I2M-GCE, université de Bordeaux)

Un ensemble à structure complexe : Le site de Pessac

Le site de Pessac, situé dans le Pays des Landes de Gascogne (Gironde), appartient à une plaine qui présente une pente très faible inclinée vers l'ouest jusqu'au littoral maritime atlantique. Les terrains de surface recouvrent cette plaine sur 5 à 15 mètres d'épaisseur voire plus et sont composés de mélanges de sols sableux et argileux. L'hétérogénéité des terrains est très importante et se traduit par l'existence de lentilles de sable ou d'argile (figure 3). Leur répartition spatiale est aléatoire et leur épaisseur varie de manière importante. Les sols argileux sont ponctuellement très plastiques et présentent des sensibilités importantes en termes de retrait-gonflement. Par ailleurs, les sols sableux et argileux ne présentent pas des propriétés mécaniques identiques et, sous une construction, ils ne vont pas se déformer de la même manière. Ce contexte géotechnique, où les terrains possèdent des épaisseurs, des propriétés de déformation et une aptitude au retrait-gonflement très variables, est très favorable à l'apparition de déplacements différentiels. Les phénomènes de retrait-gonflement ne vont pas être très importants mais ils vont être accentués par l'hétérogénéité des terrains. Les constructions individuelles sont donc soumises sur ce site à des efforts parasites importants. La présence de végétation ou une mauvaise gestion des eaux amplifie encore ces mouvements.

1.2. L'environnement de la construction

L'environnement de la construction détermine les variations de l'humidité du sol à l'échelle de la parcelle. Ces variations sont reliées à :

- l'infiltration et l'évaporation de l'eau à travers la surface du sol, qui sont elles-mêmes liées au climat (pluie, ensoleillement, vent) ;
- la topographie du site (pentes, chenaux d'écoulement) ;
- la structure géologique et hydrogéologique (présence de couches perméables, de couches insensibles aux variations de teneur en eau) ;
- la végétation dont les racines prélèvent directement l'eau en profondeur ;
- l'aménagement autour de la construction (création de zones imperméables).

La recherche des informations en rapport avec l'environnement de la construction doit permettre de déterminer tous les éléments susceptibles d'influencer l'état initial du terrain et les variations de teneurs en eau du sol. Il convient d'étudier en particulier l'influence de cinq aspects de cet environnement : le climat régional, les pentes et les conditions de circulation d'eau sur la parcelle, les conditions de circulation d'eau sous la parcelle, la végétation et les aménagements existant autour de la construction.

1.2.1. Le climat à l'échelle régionale

Le contexte climatique à l'échelle régionale a une influence primordiale car l'état naturel des sols superficiels en dépend. Sous un climat alternant périodes sèches et périodes humides, il faut plutôt s'attendre à trouver des sols partiellement saturés en eau et donc susceptibles de gonfler ou de se rétracter. Sous un climat humide, les sols sont plus généralement saturés et présentent plutôt une tendance au retrait. La connaissance du climat régional sur les dernières années permet d'interpréter les données recueillies (teneurs en eau du sol, pluviométrie, etc.) dans leur contexte.

1.2.2. Les pentes et les circulations d'eau sur la parcelle

L'analyse des désordres passés montre que de nombreux sinistres sont dus à la mauvaise gestion des circulations d'eau. Les pentes et le relief de la surface des sols conditionnent les écoulements d'eau en surface et les zones d'accumulation et d'infiltration éventuelles.

Dans le domaine de la construction, les terrains sont considérés comme plats ou faiblement inclinés si la pente est inférieure à 3 %. Dans ces zones, l'eau peut stagner en surface de façon irrégulière et provoquer des phénomènes de gonflement ou tassement si le sol est sensible.

Pour les terrains présentant des pentes supérieures à 3 %, si la base des fondations de la construction est à une cote donnée, la partie amont se trouve fondée plus profondément que la partie aval si bien que les sollicitations hydriques de part et d'autre de la construction ne sont pas semblables (figure 4).

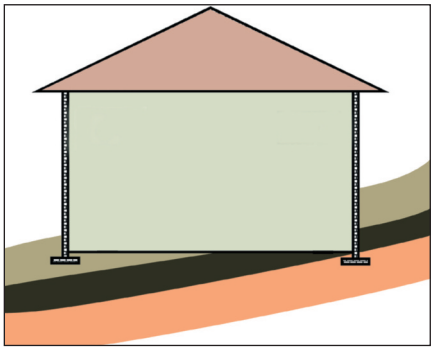


Figure 4
Dispositions constructives à éviter :
terrain en pente et fondations à la même cote

1.2.3. Les circulations d'eau sous la parcelle

L'eau peut circuler sous la surface de la parcelle, soit dans des terrains naturels, soit dans des sols rapportés à l'occasion de travaux (excavations pour réaliser les sous-sols ou les fondations, tranchées pour la pose des canalisations, etc.). Les terrains ou sols sableux permettent des écoulements d'eau plus rapides contrairement aux terrains et sols argileux ou marneux. Ils peuvent créer des cheminements préférentiels qui favorisent l'arrivée de l'eau directement sous les fondations. Les tranchées nécessaires à la pose des réseaux peuvent aussi constituer des zones de circulation d'eau et amener celle-ci directement sous la construction. Au cours de l'année, le niveau des nappes de surface et les écoulements peuvent subir des variations importantes qui influencent le retrait ou le gonflement du sol.

1.2.4. La végétation

Le rôle de la végétation (notamment arbres et arbustes) est très important. Les racines prélèvent l'eau contenue dans les sols qu'elles atteignent et contribuent à assécher les sols peu perméables. L'assèchement dépend des nappes existantes et des écoulements possibles. Ces processus varient en cours d'année en fonction du régime des pluies et du cycle des végétaux. Ils s'intensifient quand la végétation se développe. La présence des racines et les besoins en eau de la végétation ont pour cette raison une influence considérable sur les phénomènes de retrait et gonflement. Le développement des arbres et arbustes et de leur système racinaire est donc un élément essentiel du comportement des constructions (figure 5).



Figure 5
Exemple de pathologie (fissures) liées à la présence de racines sous la construction
(vue d'ensemble à gauche et vue des racines et des fissures à droite) (Source Socabat)

On observe que :

- Le développement racinaire des houx, cyprès ou arbres fruitiers n'excède pas une dizaine de mètres alors que les chênes, les saules ou les peupliers présentent, à maturité, des racines de plus de 20 m de longueur.
- Les racines des arbres et des arbustes se développent dans des zones où elles peuvent facilement trouver de l'eau. Toutefois, elles ne se développent pas dans les zones saturées du fait d'un manque d'oxygène. Elles cherchent donc des terrains peu compacts dans lesquels elles peuvent facilement se développer et où l'eau peut facilement circuler. Par exemple, des tranchées remblayées constituent des endroits privilégiés pour le développement des racines. Les sols sous les constructions sont aussi favorables au développement des racines car ils possèdent une teneur en eau supérieure à ceux en contact direct avec l'air (figure 5). Dans ces conditions, la présence de végétation à proximité d'une maison est une source de désordres potentiels.

1.2.5. Les aménagements existant autour de la construction

Ces aménagements comprennent notamment les terrasses et les trottoirs périphériques dont la présence limite les échanges hydriques entre le sol et l'atmosphère. La présence de matériaux sableux ou graveleux à la surface d'un terrain réduit les remontées capillaires et est aussi capable de limiter ces échanges hydriques. Ces aménagements limitent les variations hydriques des sols et donc les phénomènes de retrait-gonflement du sol. Ils réduisent par conséquence les tassements différentiels qui peuvent affecter une construction en maintenant dans le sol une quantité d'eau à peu près constante. La présence de tels aménagements permet de protéger la construction et peut limiter l'effet du retrait-gonflement du sol.

1.3. Démarche générale pour la caractérisation du site

Les actions à mettre en œuvre pour rechercher les informations décrites précédemment et caractériser la sensibilité au retrait-gonflement du terrain sur une parcelle suivent une démarche progressive et peuvent se décomposer en cinq étapes (tableau 1) :

- La recherche et l'analyse des informations existantes ; il peut s'agir de documents réglementaires (PPR) ou techniques (cartes topographiques et géologiques, études géotechniques sur des parcelles voisines) et d'autres informations plus générales comme la connaissance de sinistres sur une maison voisine : c'est l'étude documentaire.
- La visite de terrain doit permettre d'avoir une vision générale du site, de caractériser l'environnement autour de la construction et de guider l'élaboration d'une campagne de sondages et d'essais de laboratoire.
- La reconnaissance des sols et le prélèvement d'échantillons doivent donner une idée de la géométrie et de la nature des formations à proximité de la construction (ou à l'échelle de la parcelle si l'emplacement de la construction n'est pas connu).
- La mise en œuvre d'essais d'identification sur les échantillons fins prélevés doit mettre en évidence les sols présentant une sensibilité avérée au retrait-gonflement.
- La réalisation d'essais de retrait et de gonflement sur les échantillons argileux sensibles doit aboutir à une estimation de l'amplitude des mouvements de sol induits par le retrait-gonflement des terrains.

Tableau 1
Démarche pour la caractérisation d'un site vis-à-vis du retrait-gonflement

Étapes de caractérisation de la sensibilité	Objectifs visés
Recherche documentaire	Détermination du contexte du site
Visite de terrain	Existence de sols fins Impact de l'environnement Définition des investigations à mener
Investigations de terrain	Hétérogénéité et épaisseur des sols Présence de sols fins
Essais d'identification	Sensibilité des sols argileux au retrait-gonflement
Essais de retrait-gonflement	Détermination de l'amplitude de retrait-gonflement

L'enchaînement des cinq étapes du tableau 1 est décrit dans le chapitre 3. La réalisation de ces différentes étapes nécessite la mise en œuvre de moyens spécifiques décrits dans le chapitre 2.

Chapitre 2.
Les moyens d'étude

Ce chapitre décrit les moyens utilisés pour déterminer les informations relatives au sol sous la construction et à l'environnement de la construction décrites au chapitre 1. L'analyse de ces informations et les conclusions que l'on peut en tirer quant au risque de retrait-gonflement sur la parcelle sont présentées dans le chapitre 3.

2.1. Les sources documentaires

La recherche de données et d'informations relatives au phénomène de retrait-gonflement affectant une parcelle peut être effectuée suivant une démarche progressive, allant d'informations générales sur la région étudiée à des informations plus précises concernant la parcelle considérée.

Ainsi, les documents suivants peuvent être consultés :

- la carte géologique du BRGM ;
- la carte d'aléa retrait-gonflement des sols argileux (et, quand elle existe, la traduction réglementaire de cette carte qui est le PPR « Mouvements de terrain - Tassements différentiels ») ;
- la carte topographique de l'IGN et les photographies aériennes du site ;
- les études ponctuelles et la banque de données du sous-sol du BRGM ;
- les arrêtés de catastrophe naturelle existants.

2.1.1. La carte géologique du BRGM

Afin d'accéder aux informations sur les caractéristiques des formations géologiques d'un secteur, le lecteur est amené à consulter les cartes géologiques à 1/50 000* qui peuvent apporter des informations complémentaires en ce qui concerne la nature des formations, leur épaisseur, leur continuité, leur remaniement, etc.



Il ne s'agit pas d'une information à l'échelle de la parcelle. Il convient également de noter que le levé des cartes géologiques s'est étalé sur plusieurs décennies, au cours desquelles les connaissances géologiques et les pôles d'intérêt ont évolué. Il en résulte une certaine hétérogénéité des cartes suivant les finalités et applications de l'époque, notamment pour ce qui est de la représentation des formations superficielles, qui n'est systématique que pour les cartes géologiques les plus récentes.

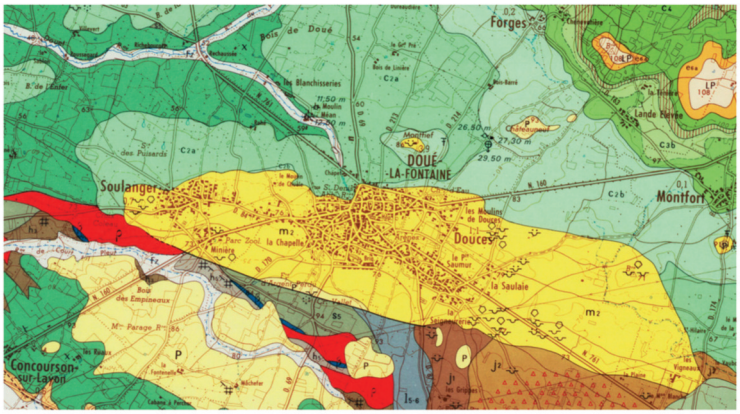
Dans certaines régions, il est possible d'accéder à des cartes pédologiques dérivées des cartes géologiques. La pédologie s'intéresse à l'évolution des sols superficiels sous l'action des climats et de la végétation. Elle prend en compte les propriétés physiques et chimiques des différents « horizons » constituant les « profils pédologiques ». Il est donc possible, à partir d'études pédologiques, de retirer des informations sur la nature des sols, notamment sur leur granularité et sur leur composition minéralogique. Certains départements ou secteurs géographiques sont couverts par des cartes pédologiques souvent réalisées à relativement grande échelle (supérieure à 1/50 000, par exemple 1/100 000).

Les cartes géologiques, qu'est-ce que c'est ?

Les cartes géologiques constituent une représentation, sur une carte, des terrains géologiques (sub)affleurants. Elles sont éditées en France par le BRGM à plusieurs échelles, depuis la carte géologique de la France à l'échelle du 1/1 000 000 jusqu'aux cartes à l'échelle du 1/50 000 en passant par le 1/250 000 et le 1/80 000. Les cartes sont dotées d'une légende et d'une notice explicative présentant les différents terrains identifiés et leurs positions relatives. Localement et ponctuellement, certains organismes proposent des cartographies géologiques plus détaillées. Néanmoins, ces cartes sont rarement accessibles au public.

Où les consulter ?

- En ligne : les différentes cartes géologiques du BRGM ainsi que leurs notices sont librement consultables sur le site internet Infoterre (www.infoterre.brgm.fr). Elles sont également affichables sur les autres portails internet Géorisques, GéoPortail, GoogleEarth, etc.



- Eboulis
- Alluvions modernes
- Haute terrasse (30-35 m)
- Limons des plateaux
- Sables et graviers de l'Anjou
- Helvétien : faluns de l'Anjou
- Bartonien inférieur : Grès à Sabalites et poudingue siliceux
- Sénonien : sables et grès à Spongiaires
- Turonien, partie supérieure : sables glauconieux
- Turonien, partie moyenne : Craie micacée
- Turonien, partie inférieure : Craie à Inoceramus labiatus
- Cénomanien : marnes à Ostracées
- Cénomanien : sables glauconieux, argiles à lignites, graviers
- Bathonien : calcaires beiges à silex bleus
- Bajocien : calcaires et marnes à Parkinsonia parkinsoni
- Lias supérieur, Toarcien et Aalénien : marnes et calcaires bleus
- Stéphanien : schistes, grès, conglomérats, houille
- Namurien : schistes, grès, conglomérats, houille maigre ou anthraciteuse
- Silurien (Gothlandien) : schistes et phtanites
- Briovérien (sens large) : schistes, brèches, conglomérats
- Rhyolite de Doué-la-Fontaine
- Basalte

Où consulter des études pédologiques ?

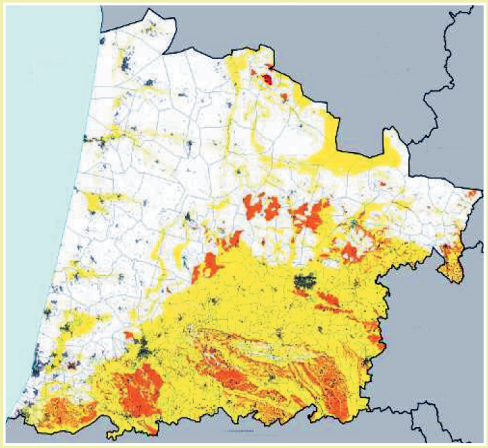
- En ligne : les études pédologiques sont principalement réalisées en France par l'Institut national de la Recherche agronomique (INRA) qui a notamment établi une base de données des sols de France à 1/100 000 (acquisition possible sur www.gissol.fr).
- À la chambre d'agriculture.
- En préfecture, DDT(M) ou mairie : les rapports et cartographies des études de sol peuvent être consultables sur demande au sein de ces services ou éventuellement auprès des maîtres d'ouvrage de ces études.

2.1.2. La carte d'aléa retrait-gonflement des argiles du BRGM

Des cartes d'aléa retrait-gonflement ont été établies sur l'ensemble du territoire métropolitain (à l'exception de la ville de Paris) afin d'aborder la problématique « sécheresse » liée à la présence de sols argileux. Réalisées à des fins de prévention et / ou de réglementation, ces cartes sont basées sur une approche qualitative de la probabilité d'occurrence du phénomène de retrait-gonflement.

Compte-tenu de leur échelle (1/50 000), les cartes d'aléa ne fournissent pas d'informations pour une parcelle précise. En conséquence, il est tout à fait possible que sur des secteurs en aléa nul existent des lentilles argileuses non identifiées sur les cartes géologiques (et inversement que des terrains sans argile existent dans des zones à aléa non nul).

Les cartes d'aléa retrait-gonflement des sols argileux, qu'est-ce que c'est ?



Produites par le BRGM à la demande du ministère en charge de l'écologie, les cartes d'aléa retrait-gonflement des argiles sont établies par département, sur la base des cartes géologiques au 1/50 000, en croisant de nombreuses données (descriptions de sols, analyses minéralogiques et géotechniques, sinistres déclarés, urbanisation, etc.). La méthodologie mise en œuvre et les données valorisées sont décrites dans chacun des rapports d'étude accompagnant ces cartes départementales. Les zones qui en résultent sont au nombre de quatre : aléas fort, moyen ou faible, et zones a priori non argileuses.



Où les consulter ?

- Les cartes d'aléa retrait-gonflement sont librement consultables et téléchargeables sur le site internet www.géorisques.gouv.fr. Ces cartes peuvent également être importées sous d'autres portails (Infoterre, GéoPortail, etc.). Les rapports d'étude associés sont disponibles sur le site du BRGM.
- Les versions papier de ces cartes et des rapports associés peuvent également être consultées auprès du BRGM et de ses services géologiques régionaux, voire auprès des DDT(M) et préfectures concernées.

2.1.3. Les plans de prévention des risques (PPR)

Ponctuellement, les cartes d'aléas ont connu des traductions règlementaires qui sont les plans de prévention des risques « Mouvements de terrain - Tassements différentiels ». Ceux-ci réglementent la construction vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement des sols argileux et contiennent des préconisations/recommandations à l'échelle de la parcelle. Ces PPR peuvent être spécifiques à l'aléa de retrait-gonflement ou multi-aléas.

Si l'existence même du PPR souligne l'exposition de la commune au phénomène, il convient de consulter le zonage réglementaire associé, pour vérifier si la parcelle est concernée et si oui par quelle(s) mesure(s).

Un PPR, qu'est-ce que c'est ?

Créé en 1995, le plan de prévention des risques (ou PPR) est un outil réglementaire visant, dans une perspective de développement durable, à éviter une aggravation de l'exposition des personnes et des biens aux risques naturels et à réduire leurs conséquences négatives sur les vies humaines, l'environnement, l'activité économique et le patrimoine culturel. Ce plan, établi à l'échelle communale ou intercommunale, est opposable aux autorisations d'urbanisme. D'abord élaborés par les services de l'État, les PPR font l'objet d'une concertation et d'une enquête publique avant d'être approuvés, et de devenir effectifs.

Les PPR « Mouvements de terrain - Tassements différentiels » sont constitués :
- d'une note/rapport de présentation, expliquant le phénomène et la méthodologie mise en œuvre pour déterminer l'aléa de retrait-gonflement sur le territoire étudié ;
- de la cartographie du zonage réglementaire, la plupart du temps défini à partir de la cartographie d'aléa retrait-gonflement (voir paragraphe 2.1.3.). Ce zonage met en évidence des zones plus ou moins exposées ;
- d'un règlement précisant les mesures à respecter dans les zones réglementées ; il est à noter que les PPR « Mouvements de terrain - Tassements différentiels » ne prévoient pas de zones non constructibles, même dans les zones d'aléa fort.

Où les consulter ?

Depuis 2003, dans le cas où un PPR est approuvé sur une commune, l'article L. 125-5 du code de l'environnement (relatif à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages) introduit une procédure d'information de l'acquéreur et du locataire (dite IAL).

Des informations peuvent également être trouvées :
- sur le site Géorisques : édité par le ministère en charge de l'environnement, le site Géorisques rassemble les informations géographiques sur les risques naturels et technologiques dans un portail national. Les rubriques "Cartes" et "Dossiers thématiques" proposent des outils de visualisation et des applications permettant d'améliorer la lisibilité et la compréhension des risques sur le territoire
- sur la base Gaspar : gérée et régulièrement mise à jour par le ministère en charge de l'écologie, elle recense et donne accès à diverses informations et documents relatifs aux risques, dont les PPR prescrits et approuvés. Elle est librement accessible sur le portail internet du ministère en charge des risques majeurs (www.georisques.gouv.fr www.prim.net, onglet « ma commune face aux risques ») ;
- sur les sites internet des préfectures et services instructeurs (Direction départementale des territoires - DDT - ou direction départementale des territoires et de la mer - DDTM) : ces services possèdent les informations relatives aux PPR, prescrits et/ou approuvés, notamment les notes de présentation et les différents zonages/cartographies qui sont consultables/téléchargeables ;
- en annexe du Plan local d'Urbanisme (PLU), consultable en mairie (le PPR est annexé au PLU dans un délai de 3 mois après son approbation).

Si la parcelle est concernée, il est impératif de respecter et d'appliquer les règles énoncées dans le règlement associé. En effet, un PPR approuvé vaut servitude d'utilité publique et s'impose à tous : le respect des prescriptions obligatoires s'applique notamment, dès approbation du PPR, à toute construction, nouvelle ou existante, située dans les zones concernées.

Concernant les constructions nouvelles en zones réglementées par le PPR (maisons individuelles hors permis de construire groupé), les PPR d'ores et déjà approuvés à la date de publication du présent document, préconisent, en l'absence d'étude de sol, l'application directe d'un certain nombre de mesures préventives forfaitaires minimales. En effet, seule une étude géotechnique spécifique est en mesure de déterminer les dispositions constructives précisément adaptées au sol en présence.

En cas de non-respect des règles du PPR, la perte du droit à l'indemnisation de sinistres déclarés, et ceci malgré la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle, peut être prononcée ; des sanctions administratives, pénales et assurancielles peuvent également être appliquées.

2.1.4. Les informations fournies par la carte topographique et les photographies aériennes

L'examen de la carte topographique (figure 6) qui concerne la parcelle peut être particulièrement enrichissant :

la toponymie (analyse des noms des lieux et lieux-dits) apporte des informations significatives. Ainsi, les termes relatifs à l'extraction ou au traitement des matériaux argileux tels que « la tuilerie, la briqueterie » ou encore la « maison rouge » indiquent sans ambiguïté la présence de sols argileux. De même, certains termes (érablières, érale, foyau, fragne, fraignache, teil, vernais, etc.) caractérisent des types d'arbres pouvant se développer dans des sols plutôt argileux (érables, frênes, saules, tilleuls, chênes, bouleaux, etc.). Pour plus de détails, il est conseillé de se reporter à des ouvrages spécialisés ;

la morphologie du site peut également renseigner sur la nature des terrains constituant la parcelle. De façon générale, un relief plan dénote la présence de sols meubles, des escarpements montrant la présence de matériaux plutôt rocheux. Plus particulièrement, on portera l'attention sur :

- les points bas ponctuels pouvant être d'anciennes exploitations d'argile à ciel ouvert ;
- les points d'eau ou les zones humides illustrant le caractère imperméable des sols de surface (ou la proximité de la nappe) ;
- les points hauts présageant un drainage gravitaire des sols.

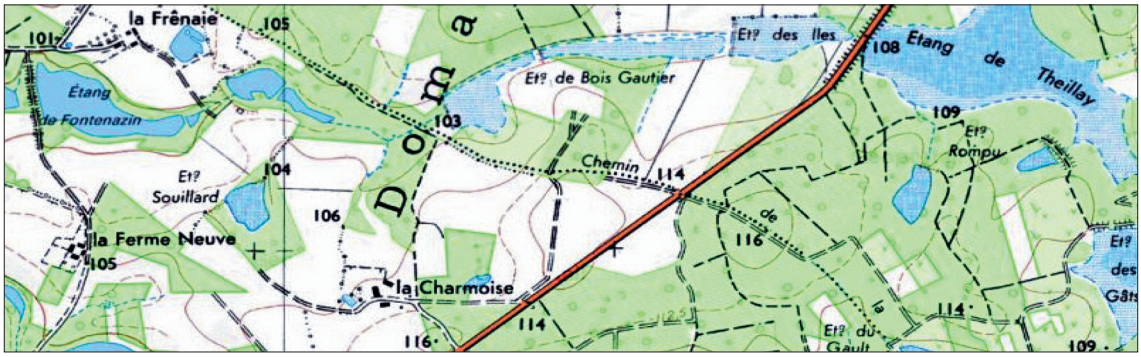


Figure 6 - Extraction du site GéoPortail de l'IGN
Les étangs montrent la présence de sols imperméables, les termes « la Frênaie, la Charmoise et le Theillay » indiquent la présence de frênes, de charmes et de tilleuls.

L'occupation des sols de surface déduite de l'examen (certains portails internet le permettent) de photographies aériennes (éventuellement prises à des dates différentes) peut renseigner sur la nature probable des sols et sur la présence passée de végétaux. Par exemple, une activité agricole se développe préférentiellement sur des sols qui se drainent (donc plutôt limoneux ou sableux). Par opposition, l'élevage (notamment bovin) ou les zones forestières peuvent indiquer la présence de sols plutôt argileux.

2.1.5. Les informations fournies par les études de sol ponctuelles

Localement, des études géologiques ou géotechniques peuvent avoir été réalisées. Dans ce cas, ces études de sol, menées par des bureaux d'études spécialisés (géotechnique, environnement, etc.) ou par des organismes publics comme le Cerema (anciennement CETE) apportent une connaissance relativement précise mais plus ou moins ponctuelle et plus ou moins pertinente vis-à-vis de la problématique.

Parmi les informations apportées par ces études localisées, les données de sondage constituent des observations ponctuelles intéressantes. Elles permettent d'obtenir, à l'échelle de la parcelle, une description et un ordre de grandeur de l'épaisseur et des caractéristiques d'une formation géologique argileuse, ou encore d'identifier un recouvrement superficiel éventuellement argileux non identifié sur les cartes géologiques. La principale source publique recensant ces données de sondages est la banque des données du sous-sol (BSS) gérée par le BRGM. Les données contenues dans cette base sont, en général, assez denses en milieu urbain et le long des linéaires routiers et ferroviaires importants.

La BSS, qu'est-ce que c'est ?

Un sondage est une reconnaissance de sol en profondeur, menée soit à la tarière à main, soit avec une machine de foration. Il permet donc d'identifier les différents horizons, ou couches de sol, au droit du sondage. Le code minier prévoit par ailleurs que tous les sondages d'une profondeur supérieure à 10 m soient déclarés au BRGM et capitalisés au sein de la banque des données du sous-sol (BSS).

Où consulter la BSS ou d'autres données ponctuelles ?

- La banque des données du Sous-Sol (BSS) du BRGM est librement consultable sur le site internet www.Infoterre.brgm.fr. Les dossiers de la BSS peuvent être consultés auprès du BRGM et de ses services géologiques régionaux (liste et adresses consultables sur www.brgm.fr). Comme pour les cartes géologiques, la BSS est également affichable sur les autres portails internet (GéoPortail, GoogleEarth, etc.).

- Les rapports publics contenant des éventuelles études de sols produits par le BRGM peuvent être consultés sur le site internet www.brgm.fr (onglet « Publications ») ou auprès de cet organisme et de ses services géologiques régionaux.

- En mairie : les rapports des études de sol peuvent être consultables en mairie sur demande ou éventuellement auprès des maîtres d'ouvrage de ces études.

- Par une enquête de voisinage : des études ont pu être réalisées par des particuliers sur des parcelles voisines, notamment suite à l'apparition de sinistres. Dans ce cas, une enquête de voisinage est recommandée.

2.1.6. Les désordres passés connus au voisinage de la parcelle

Recherche des arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle « CatNat »

L'existence d'arrêtés spécifiques de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle « CatNat » sur la commune ou sur les communes voisines doit alerter sur l'existence d'une sensibilité éventuelle des sols et sur la possible occurrence du phénomène de retrait-gonflement sur le secteur.

Un arrêté CatNat, qu'est-ce que c'est ?



Le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles en France prévoit, en amont de l'indemnisation par les assurances, une reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle par l'État, pour un phénomène particulier. Ces reconnaissances sont communales et se font par l'intermédiaire d'arrêtés interministériels (généralement appelés arrêtés « CatNat » et intitulés « Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols »), suite à la demande de la commune. Pour davantage de renseignements sur le régime d'indemnisation, on pourra se référer au guide 3.

Où consulter les arrêtés CATNAT ?

- sur la base Gaspar, gérée et régulièrement mise à jour par le ministère en charge de l'écologie. Cette base est librement accessible sur le portail internet du ministère en charge des risques majeurs (www.georisques.gouv.fr). Elle recense diverses informations relatives aux risques, dont les arrêtés « CatNat » ;

- en mairie ou à la préfecture : les services peuvent également renseigner sur les arrêtés qui ont été pris par le passé, ainsi que sur les demandes de reconnaissance qui n'auraient pas abouti.

Recherche des désordres apparus sur les parcelles voisines

L'existence de désordres sur les parcelles voisines doit alerter, au même titre que les arrêtés « CatNat », sur l'existence d'une prédisposition des sols dans le secteur et sur la possible occurrence du phénomène de retrait-gonflement sur la parcelle.

Comment obtenir des informations sur les parcelles voisines ?

- En consultant la mairie.

- En observant les maisons voisines et réalisant une enquête de voisinage : cette démarche peut permettre d'identifier d'éventuels désordres (fissuration des façades, distorsion des huisseries, décollement de bâtiments accolés ou de terrasses, fissuration longitudinale des chaussées, etc.).

- En consultant les documents relatifs à l'article L. 125-5 du code de l'environnement qui introduit une procédure d'information de l'acquéreur et du locataire (dite IAL) : celle-ci prévoit que l'acquéreur ou le locataire d'un bien immobilier, bâti ou non, soit informé si le bien a déjà fait l'objet d'une indemnisation ; cela inclut une indemnisation dans le cadre du régime « CatNat », mais aussi dans le cadre de la procédure exceptionnelle mise en œuvre suite à l'été 2003 ou dans le cadre de la garantie décennale du constructeur.

2.2. La visite de terrain : étude de l'environnement de la construction

La connaissance du contexte géologique régional est un pré-requis nécessaire à l'étude de l'environnement de la construction. Elle résulte de l'examen, présenté au chapitre 2.1, de différents documents, d'abord les cartes géologiques, les cartes d'aléa retrait-gonflement ainsi que les PPR, et les cartes topographiques et enfin les données de sondages ainsi que les arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle. L'analyse de ces différents documents permet aussi de recueillir des informations relatives à l'environnement de la parcelle en examinant la toponymie, la topographie de la parcelle, la présence de zones humides, de fossés ou de puits.

La visite de terrain doit permettre d'enrichir ces informations à la fois en ce qui concerne les facteurs environnementaux tels qu'ils sont décrits dans le paragraphe 1.2 de ce guide mais aussi la géologie et la nature des sols situés sur la parcelle. Cette visite revêt un caractère indispensable car elle seule permet de visualiser la parcelle dans son environnement et notamment d'appréhender la topographie du site. Cette visite de terrain permet aussi d'identifier visuellement la nature des sols qui affleurent sur la parcelle ou aux alentours et, lorsqu'elle est connue, la position de la construction sur cette parcelle.

Suivant la saison et le climat de la région, il peut être intéressant de regarder si le sol présente des signes de retrait avec des fentes de dessiccation ou si au contraire des accumulations d'eau sont visibles en d'autres endroits.

Des prélèvements de sols humides sur les premiers décimètres permettent d'apprécier manuellement la texture du sol selon quelques critères habituellement utilisés en pédologie :

- les sables grattent sous les doigts à partir de 0,1 mm ;
- les sols riches en limons donnent, entre les doigts, des sensations d'onctuosité ;
- les sols argileux, humidifiés, peuvent se pétrir en bâtons qui ne s'effritent pas dans la main.

Attention, certains éléments peuvent modifier les sensations : l'état d'humidité, la présence de graviers fins, etc.

La topographie du site doit être considérée pour déterminer les cheminements préférentiels de l'eau (selon la pente du terrain naturel). Un ressaut topographique peut aussi être lié à un recouvrement ou un remblayage partiel de la parcelle par différents matériaux (remblais anthropiques).

La présence de végétation (arbres ou arbustes) ou la proximité d'un bois ou d'une forêt sont des éléments à repérer absolument. Il s'agit d'évaluer leur distance par rapport à la future construction (au moyen d'un plan de bornage), de savoir si certains d'entre eux n'ont pas été coupés récemment (un soulèvement du terrain dans les années à venir est alors possible par réhumidification progressive du sol).

Ces premières observations de terrain, à l'échelle de la parcelle, replacées dans le cadre d'une connaissance géologique régionale, doivent permettre d'une part d'avoir une idée sur l'importance de ces facteurs vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement et d'autre part d'orienter les décisions sur le nombre, le type et l'implantation des sondages de reconnaissance. En effet, la sensibilité d'un sol fin au retrait-gonflement ne peut être appréhendée qu'après des prélèvements et leur analyse en laboratoire.

2.3. Les sondages et les essais de laboratoire : études du sol sous la construction

2.3.1. Les sondages

La stratégie d'implantation et de réalisation des sondages doit être établie en fonction des objectifs à atteindre définis dans le paragraphe 1.1.

Les sondages ont trois objectifs principaux :

- ils permettent de confirmer à l'échelle de la parcelle les caractéristiques géologiques du site déduites de l'examen des différents documents présentés au chapitre 2.1 et de donner des indications quant à la nature des terrains ;
- ils indiquent l'épaisseur des différentes couches de terrain et leur hétérogénéité ;
- ils fournissent des échantillons de sol remaniés ou non pour la réalisation des essais de laboratoire.

Ces objectifs en termes de reconnaissance des sols incitent à l'utilisation de matériels de sondage simple. Des sondages à la tarière ou des sondages à la pelle mécanique éventuellement complétés par des essais au pénétromètre dynamique sont suffisants dans la majorité des cas. Les sondages carottés ou à la pelle mécanique permettent de prélever des matériaux intacts (Norme NF EN ISO 22475-1 relative aux méthodes de prélèvement et mesurages piézométriques).

Les sondages à la tarière permettent d'établir un profil du sol, dit encore « log » lithologique, sur une profondeur de 3 à 5 m suivant la nature des sols traversés et l'outil utilisé. Avec une tarière à main (pour des profondeurs n'excédant pas 3 m en général), ils se font selon un diamètre de 63 mm au plus et des passes de creusement de 20 à 30 cm. Pour chacune des passes, la nature du sol prélevé est notée. Pour atteindre des profondeurs plus importantes ou si le sol est trop résistant pour la tarière à main, l'utilisation d'une tarière mécanique sera nécessaire. Ce type de forage provoque le remaniement du sol sous forme de copeaux, si bien que les échantillons de sol ne seront utilisables en laboratoire que pour faire des essais géotechniques sur sol remanié.



Tarière à main
(Source Cerema)



Sondeuse équipée d'une tarière permettant l'échantillonnage des matériaux (Source Cerema)

2.3.1.1. Sondages de reconnaissance

Ces sondages simples comprennent les sondages à la tarière, les sondages à la pelle mécanique et les sondages au pénétromètre dynamique. Ils doivent être réalisés en nombre suffisant sous ou à proximité immédiate de la construction quand la position de celle-ci est connue. Leur profondeur doit être comprise entre 3 et 5 m suivant le contexte géologique. Dans le cas où des sols résistants sont présents, des refus peuvent être observés pour des profondeurs plus faibles. Environ 5 points de reconnaissance permettent d'apprécier de manière satisfaisante l'épaisseur des différentes couches argileuses et leur hétérogénéité (pour une parcelle type d'environ 500 m²). Au moins 3 sondages doivent permettre une identification visuelle des sols en place sous la parcelle (tarière ou pelle mécanique). Différentes stratégies de reconnaissance peuvent être élaborées en fonction du contexte géologique de la parcelle, de son environnement et de la position connue ou non de la construction.

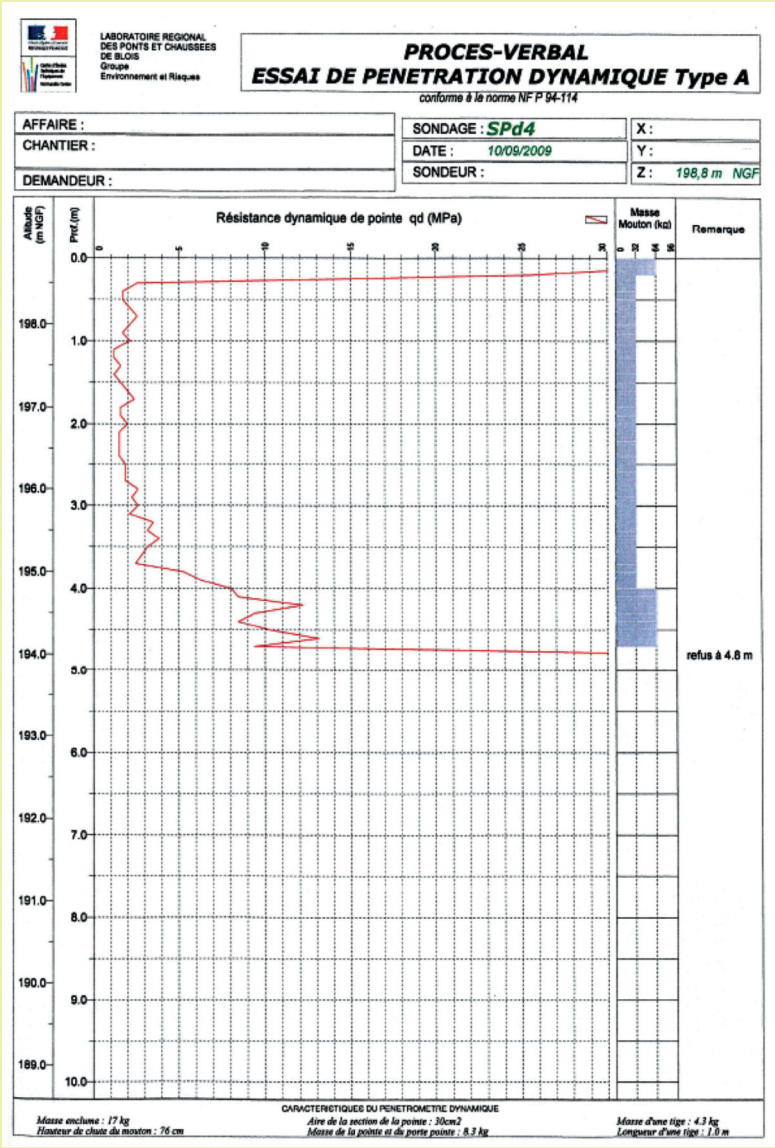
Les sondages à la pelle mécanique remanient fortement le terrain et doivent donc se faire en dehors de la zone d'emprise de la construction. Ils permettent d'obtenir des informations plus détaillées sur l'agencement des différentes couches géologiques sur une profondeur de 2 à 3 m. Les sondages à la pelle montrent le sol en place, non remanié, ce qui permet d'avoir des renseignements sur la géométrie (épaisseur et hétérogénéité) et sur la nature des couches de terrain. La présence de suintements ou de venues d'eau peut également être notée plus facilement que dans les sondages à la tarière. Ces sondages permettent de récupérer des échantillons intacts le cas échéant. Après observations et prélèvements d'échantillons, ils doivent être remblayés soigneusement.





Sondages à la pelle mécanique dans des matériaux limoneux (Source Cerema)

Les essais au pénétromètre dynamique (Normes NF 94-114, NF P 94-115 et NF EN ISO 22476-2) apportent des informations complémentaires aux deux autres modes de reconnaissance décrits précédemment. Il peut s'agir d'un dispositif portatif ou bien monté sur un bâti. Ils permettent, à moindre coût, de définir les épaisseurs de couches et l'hétérogénéité d'un site en recoupant une caractéristique mécanique (la résistance dynamique de pointe R_d) avec une identification de la nature des terrains obtenue lors des sondages à la pelle ou à la tarière. Leur mise en œuvre est facile et relativement rapide : elle consiste à enfoncer dans le sol par battage une pointe normalisée guidée par l'intermédiaire d'un train de tiges. Le résultat de ce sondage s'exprime par un graphique représentant la résistance dynamique de pointe en fonction de la profondeur de pénétration. Il est important de noter que les valeurs mesurées sont très largement influencées par la teneur en eau des terrains : des essais réalisés dans un même sol suivant qu'il est humide ou sec peuvent conduire à des résultats sensiblement différents.



Exemple de pénétrogramme
(les différentes couches de sol sont différenciées en fonction de leur résistance de pointe)

2.3.1.2. Autres moyens de reconnaissance possibles

Les forages mécaniques, destructifs ou carottés, nécessitent un matériel lourd de type sondeuse mécanique montée sur chenilles ou sur camion. Le sondage carotté permet d'avoir des informations détaillées sur le sol, avec prélèvements d'échantillons intacts pour des essais mécaniques au laboratoire, tels que les essais de retrait ou de gonflement.

Les essais mécaniques en place (pressiomètre, pénétromètre, scissomètre de chantier) donnent des informations sur les paramètres mécaniques de déformabilité et/ou de résistance des terrains, en fonction de la profondeur. Ils n'apportent pas directement de renseignements particuliers sur le comportement des sols vis-à-vis du retrait-gonflement. Dans tous les cas, il est nécessaire de réaliser des essais de laboratoire afin de préciser cette sensibilité.

Des reconnaissances géophysiques peuvent être utilisées sur des parcelles de grandes dimensions. Elles permettent, suivant le contexte, une évaluation de l'hétérogénéité des propriétés physiques du sol et une optimisation du choix, du nombre et de l'implantation des sondages de reconnaissance géotechnique. Leur interprétation (et donc leur utilisation) est toutefois conditionnée à l'intervention d'un prestataire compétent et expérimenté.

Les reconnaissances géophysiques, qu'est-ce que c'est ?

Les prospections géophysiques ont pour objectif de donner une image de la variation d'une propriété physique des sols (une résistivité, une permittivité, une densité, une vitesse de propagation d'ondes mécaniques, etc.) qui reflète la nature et la structure du sol. Elles permettent de détecter diverses hétérogénéités en profondeur ou encore la présence « d'objets » (conduites et réseaux enterrés, cavités karstiques ou anthropiques). Les profondeurs d'investigation dépendent des méthodes utilisées et de la nature du sol. Pour la détection d'argile sur un site de construction, les méthodes électriques et électromagnétiques sont assez bien adaptées.

2.3.2. Les essais de laboratoire

Les essais de laboratoire permettant de caractériser le retrait-gonflement sont réalisés sur des échantillons identifiés comme sols fins, c'est-à-dire des sols dont il n'est pas possible de discerner les particules dont ils sont formés. Ils ont deux objectifs :

- déterminer si ces sols sont sensibles au retrait-gonflement ;
- quantifier l'effet d'une variation hydrique sur les déformations de l'échantillon.

Les essais les plus couramment utilisés sont décrits ci-après.

2.3.2.1. Essais d'identification des sols fins

L'identification des sols fins caractérise :

- les proportions des phases (particules, eau, air) du sol ;
- les dimensions des particules ;
- la nature des particules ;
- l'interaction des particules avec l'eau.

Définitions

Les proportions des phases sont décrites en termes de volume :

- La proportion des vides et des particules est décrite par la porosité (rapport du volume des vides au volume total) ou l'indice des vides (rapport du volume des vides au volume des particules).
- La proportion de l'eau et de l'air dans les vides est donnée par le degré de saturation (rapport du volume de l'eau au volume de vides).

On utilise aussi la teneur en eau w (rapport de la masse de l'eau à la masse des particules).

Les rapports de masses et volumes définissent des masses volumiques (du sol, du sol sec, de l'eau, de l'air, des particules) qui contribuent à la caractérisation physique du sol.

Les dimensions des particules sont décrites par la courbe granulométrique qui représente la proportion en poids des particules suivant leurs dimensions.

Les particules sont constituées de différents minéraux. Pour les sols sensibles au retrait-gonflement, l'identification porte principalement sur les minéraux argileux et les carbonates.

Les particules argileuses ont une forte interaction avec l'eau qui conditionne la consistance (solide, plastique et liquide) du sol. L'interaction du sol avec l'eau résulte de la combinaison de la quantité et de l'activité de chaque type de particules argileuses.

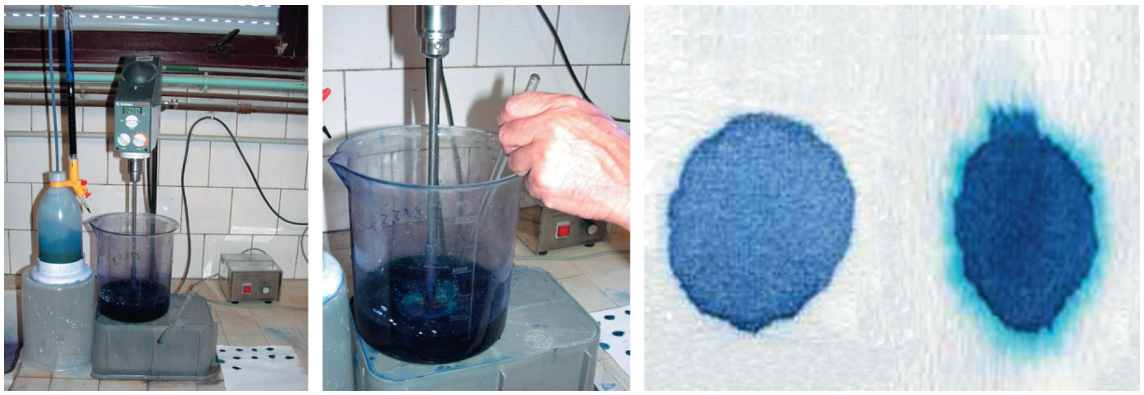
Essais

La teneur en eau (Norme NF P 94-050) et la masse volumique (Norme NF P 94-053) (mesurée sur des échantillons intacts) définissent l'état du sol au moment de son prélèvement. Elles permettent, si la masse volumique des particules est connue, de déduire son indice des vides et son degré de saturation.

La courbe granulométrique des échantillons peut être déterminée par deux techniques :

- le tamisage (NF P 94-056) pour les particules supérieures à 80 ou 63 µm ;
- la sédimentométrie (NF P 94-057) (ou la granulométrie laser) pour les particules inférieures à 80 ou 63 µm.

L'essai de bleu (V_{BS}) (Norme NF P 94-068) (figure 7) est réalisé sur des sols dont la granulométrie n'excède pas 400 µm. Il ne nécessite pas des échantillons intacts. La valeur de bleu est mesurée par dosage, en procédant à des additions successives de bleu de méthylène dans une solution constituée de sol et d'eau distillée jusqu'à ce que les particules argileuses soient saturées.



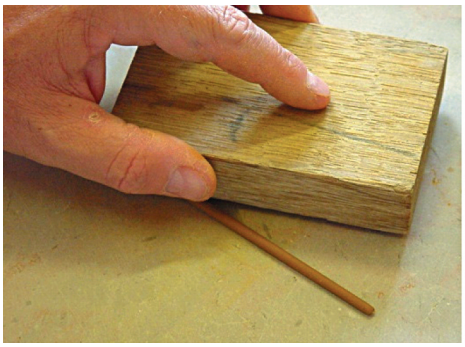
Matériel d'essai nécessaire (agitateur, bécher, pipette graduée)

Prélèvement d'une goutte de solution

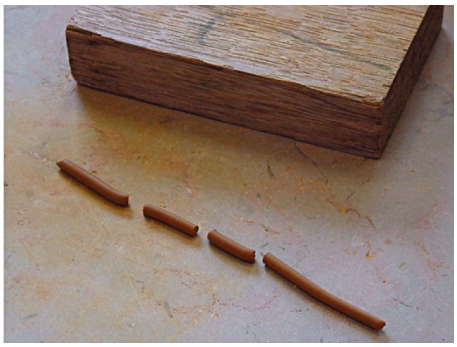
Visualisation d'une tache de bleu sur papier filtre, (test positif à droite)

Figure 7
Détermination de la valeur de bleu d'un sol (V_{BS}) (Source Cerema)

La détermination des limites d'Atterberg est utilisée pour évaluer indirectement la nature du sol (figures 8 et 9). Ces essais déterminent des seuils de comportement mécanique correspondant à des teneurs en eau (w) particulières appelées : limite de plasticité w_P (Norme NF P 94 051), limite de liquidité w_L (Norme NF P 94-052), limite de retrait w_R (paragraphe 2.3.2.2.).



Essai de détermination de w_P
($w > w_P$ au moment de la photographie)



Essai de détermination de w_p
($w = w_P$ au moment de la photographie)

Figure 8
Détermination de la limite de plasticité (Source Cerema)







Figure 9
Détermination de la limite de plasticité au cône (à gauche) et à la coupelle de Casagrande (à droite) (Source Cerema)

La teneur en carbonates (Norme NF P 94 048) permet d'apprécier le caractère plus ou moins marneux d'un échantillon de sol (par convention, les sols argileux présentent des teneurs en carbonates inférieures à 30 %).

L'analyse minéralogique a pour but de déterminer directement la proportion et la nature des minéraux argileux, mais aussi la présence de minéraux non argileux pouvant jouer un rôle déterminant dans le comportement des sols. La diffraction de rayons X permet d'obtenir ces informations, cependant cet essai est coûteux et demande de faire appel à un laboratoire spécialisé.

La microstructure des sols argileux ou marneux gouverne le comportement de retrait-gonflement de ces sols argileux mais reste difficile à appréhender quantitativement. Elle est abordée grâce à des observations par microscopie (optique, électronique, etc.) et par porosimétrie au mercure.

2.3.2.2 Essais mécaniques de retrait-gonflement

Généralités

Les variations de teneur en eau dans un sol créent, à partir d'un état hydrique initial, des déformations, que l'on appelle déformations de retrait ou déformations de gonflement selon leur sens. Pour un sol donné, l'état hydrique initial peut varier mais l'amplitude globale des déformations de retrait et des déformations de gonflement reste constante. Cette amplitude globale détermine les mesures à prendre pour protéger les constructions du phénomène de retrait-gonflement. Suivant la nature des sols, cette déformation globale peut être négligeable ou atteindre des variations de 10 à 15 %.
Pour déterminer l'amplitude globale de retrait et de gonflement d'un sol, on effectue séparément à partir d'un même état initial un essai de retrait et un essai de gonflement.

Note : la déformation (relative) est le rapport de la variation de la longueur ou du volume à sa valeur initiale.

Essais de retrait

Les essais de retrait ont pour objectif de mesurer la déformation d'un échantillon de sol intact lors de l'évaporation de sa phase liquide. Cette mesure peut être continue ou effectuée uniquement à des instants successifs. La mesure des déformations peut être réalisée dans une seule direction, on parle alors de déformation axiale, ou dans les trois directions de l'espace pour déterminer la déformation volumique. La masse de l'échantillon est aussi mesurée, ce qui permet de suivre la diminution de la masse d'eau contenue dans l'échantillon. Il est alors possible de relier les variations de déformations aux variations de teneur en eau. Ceci conduit à définir trois types d'essais de retrait :

- l'essai de retrait linéaire (XP 94 060-2) ;
- l'essai de retrait simplifié (procédure d'essai Ifsttar) ;
- l'essai de retrait automatisé (procédure d'essai Ifsttar).

Ces essais fournissent différents paramètres qui décrivent le retrait du sol (figure 10) :

- la déformation de retrait ε_r qui peut être uniaxiale (ε_{ra}) pour l'essai de retrait linéaire ou volumique (ε_{rv}) pour l'essai de retrait simplifié ou automatisé et qui correspond à la déformation totale du sol entre son état initial et l'état sec de l'échantillon ;
- la limite de retrait effectif w_{Re} qui correspond à la teneur en eau en dessous de laquelle les déformations du sol par dessiccation sont négligeables ;
- le facteur de retrait effectif R_l qui correspond à la pente de la droite moyenne reliant la déformation axiale à la teneur en eau du sol dans le domaine quasi saturé ;
- le facteur de retrait volumique R_v qui correspond à la pente de la droite moyenne reliant la déformation volumique à la teneur en eau du sol dans le domaine quasi saturé.

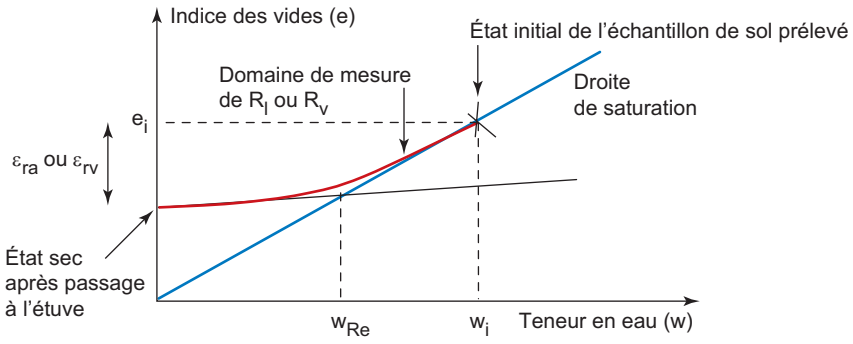


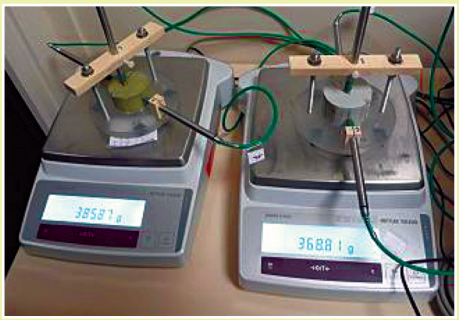
Figure 10
Courbe de retrait schématique
Identification des différents paramètres décrivant le retrait d'un sol



L'essai de retrait linéaire (XP 94 060-2) permet d'apprécier comment un échantillon de sol intact se déforme quand sa teneur en eau diminue. Il consiste à mesurer les variations de hauteur et de masse d'un échantillon de sol qui sèche à l'air libre. L'échantillon de sol est disposé sur une plaque amovible qui permet d'une part de le déplacer pour réaliser des pesées à intervalles de temps de réguliers et d'autre part de le centrer pour réaliser des mesures de déformation axiale. L'exploitation de cet essai fournit la déformation de retrait axiale ε_{ra}, la limite de retrait effectif w_{Re} et le facteur de retrait effectif R_l.



L'essai de retrait simplifié (procédure d'essai Ifsttar) consiste à mesurer le volume de l'échantillon de sol à l'état initial, à l'état final après séchage pendant deux ou trois jours à l'air libre et à l'état sec après passage à l'étuve à 105 °C. Les mesures sont réalisées au moyen d'un pied à coulisse. En parallèle, trois mesures de masses sont effectuées. Les résultats obtenus concernent la déformation volumique de retrait ε_{rv}.



L'essai de retrait automatisé (procédure d'essai Ifsttar) consiste à mesurer en continu le volume et la masse de l'échantillon de sol au cours du séchage à l'air libre. Ces mesures sont réalisées toutes les 15 minutes environ au moyen de capteurs de déplacements axial et latéraux, d'une balance et d'une centrale d'acquisition. Une dernière mesure du volume et de la masse est effectuée à l'état sec après passage à l'étuve à 105 °C. Les résultats obtenus concernent la déformation volumique de retrait ε_{rv}, la limite de retrait effectif w_{Re} et le facteur de retrait volumique R_v.

Essais de gonflement

Les essais de gonflement ont pour objectif de mesurer la déformation d'un échantillon de sol intact lorsqu'il s'imbibe en contact avec de l'eau. Cette mesure peut être continue ou effectuée uniquement à des instants successifs. L'échantillon est placé dans un cylindre métallique qui n'autorise que des déformations axiales. La masse de l'échantillon est mesurée en début et en fin d'essai et après passage à l'étuve. Différents types d'essais de gonflement existent :

- l'essai de gonflement libre ;
- l'essai de gonflement à volume constant ;
- l'essai de gonflement en parallèle ;
- l'essai de gonflement de Huder-Amberg.

Ces essais fournissent une estimation de la déformation de gonflement ε_g en fonction de la charge appliquée au sol (figure 11). Dans certains calculs, on s'intéresse à la pression que le gonflement du sol exerce sur la construction. Cette pression de gonflement σ_g est déterminée dans les essais de gonflement à volume constant, de gonflement parallèle et de gonflement de Huder-Amberg. Les résultats de ces essais sont différents et il est important de choisir une procédure d'essai qui reproduise le comportement du sol sous la construction.

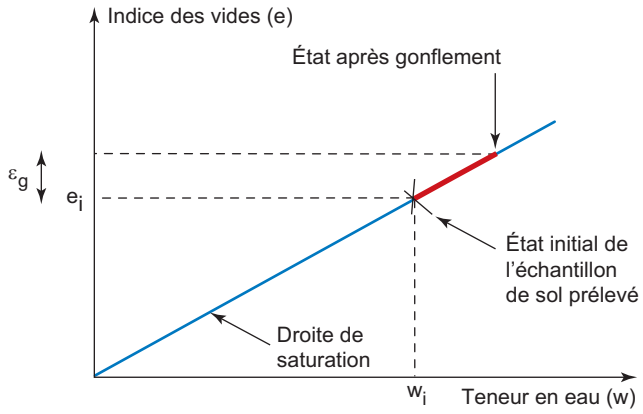


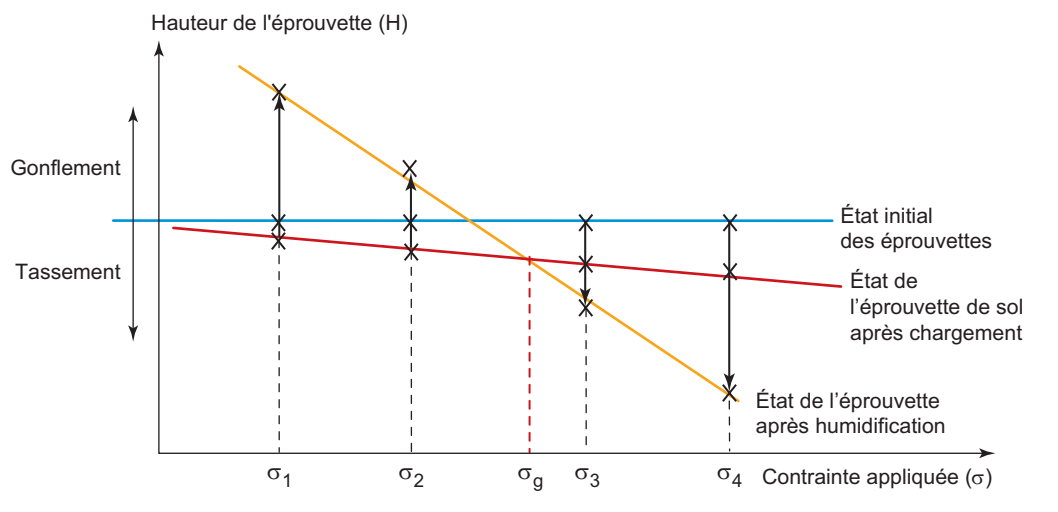
Figure 11
Courbe de gonflement schématique
Identification des différents paramètres décrivant le gonflement d'un sol



L'essai de gonflement libre consiste à imbiber un échantillon de sol intact placé dans un cylindre métallique et soumis au seul poids du système de mesure. Le gonflement de l'échantillon de sol est vertical car les déformations latérales sont empêchées. L'essai est poursuivi jusqu'à la stabilisation de la déformation de l'échantillon. Il fournit la déformation de gonflement libre ε_{g0}. Cette procédure d'essai peut être adaptée en appliquant avant l'imbibition une charge en général égale au poids des terres ou de la structure portée et à observer le gonflement sous cette charge.

L'essai de gonflement à volume constant consiste à imbiber l'échantillon de sol placé dans un cylindre métallique et à appliquer par paliers de faible amplitude une contrainte permettant d'annuler la déformation de gonflement. La valeur de la contrainte qui entraîne un tassement de l'échantillon correspond alors à la pression de gonflement σ_g de l'échantillon.

L'essai de gonflement en parallèle (XP 94 091) nécessite quatre éprouvettes de sol qui sont placées dans leur état naturel dans des cylindres métalliques (cellules œdométriques) et soumises à quatre charges différentes. Elles sont ensuite imbibées et peuvent, suivant la charge qui leur est appliquée, soit gonfler, soit tasser. Chaque éprouvette donne une amplitude de gonflement ε_g (ou de tassement) sous la charge appliquée. L'analyse des résultats permet de déterminer une pression de gonflement σ_g qui est la pression qui bloque le gonflement du sol.



Représentation des résultats d'un essai de gonflement en parallèle

L'essai de Huder-Amberg consiste à placer un échantillon de sol dans une cellule œdométrique dans son état naturel et à lui appliquer une série de chargements et déchargements sans, puis avec, ajout d'eau. Cet essai permet de déterminer une pression de gonflement σ_g et une relation entre l'amplitude de gonflement et la charge appliquée.

Chapitre 3. Interprétation des informations recueillies

La démarche d'analyse décrite au chapitre 1 avec les moyens du chapitre 2 permet de qualifier voire quantifier la sensibilité au retrait-gonflement sur la parcelle étudiée. Ce chapitre 3 décrit tout d'abord la méthode d'analyse puis définit des critères d'évaluation du niveau de sensibilité en distinguant les informations liées au sol sous la construction et celles liées à l'environnement. Ainsi, une estimation de la sensibilité à l'échelle de la parcelle est proposée en associant ces deux informations.

3.1. Analyse des informations

La démarche d'analyse des informations collectées est présentée sur la figure 12. Elle se décompose en cinq étapes définies en fin de chapitre 1 et vise à la fois à qualifier le sol sous la construction et l'environnement de la parcelle.
Quatre situations sont distinguées pour les sols sous la construction :

- absence de sol fin ;
- présence de sols fins non ou peu sensibles ;
- présence de sols argileux sensibles ;
- présence de sols argileux très sensibles.

Deux situations sont distinguées pour l'environnement de la parcelle :

- conditions environnementales favorables ;
- conditions environnementales défavorables.

En annexe, une synthèse des informations à renseigner dans un rapport est présentée.

3.1.1. Étape 1 : recherche documentaire

L'étape de recherche documentaire a pour objectif d'établir le contexte du site vis-à-vis de la sensibilité au retrait-gonflement.

Les sources documentaires (PPR, arrêtés « Catnat », cartes topographiques, cartes géologiques, cartes de retrait-gonflement, rapports géotechniques, etc.) permettent de vérifier si la parcelle est dans une zone où des phénomènes de retrait-gonflement sont suspectés voire avérés. Ces documents ne sont en général pas assez précis pour pouvoir donner un avis pertinent à l'échelle d'une parcelle ; toutefois, ils peuvent constituer une base d'informations à considérer et influencer l'interprétation finale.

À ce stade, une brève analyse des données météorologiques départementales permet de savoir si le climat régional du site est plutôt propice à des phénomènes de retrait ou de gonflement. L'exposition de la parcelle peut, dans certains cas, moduler cette appréciation préalable. La recherche documentaire se poursuit par une visite du site.

3.1.2. Étape 2 : visite de terrain

La visite de terrain a pour objectif de collecter des informations sur le sol, notamment la présence de sols fins et sur l'environnement de la parcelle. Elle est fortement facilitée par une bonne connaissance des sols à l'échelle régionale. Elle doit aboutir à l'une des conclusions suivantes :

- l'arrêt des investigations, si les observations réalisées lors de la visite de terrain démontrent l'absence certaine de sols fins sur la parcelle (roches affleurantes, investigations passées indiquant la nature des terrains, excavation proche de la parcelle, etc.) ;
- la définition d'une campagne de reconnaissances géotechniques (étapes 3, 4 et éventuellement 5) et la caractérisation des conditions environnementales du site (favorables ou défavorables), dans le cas contraire.

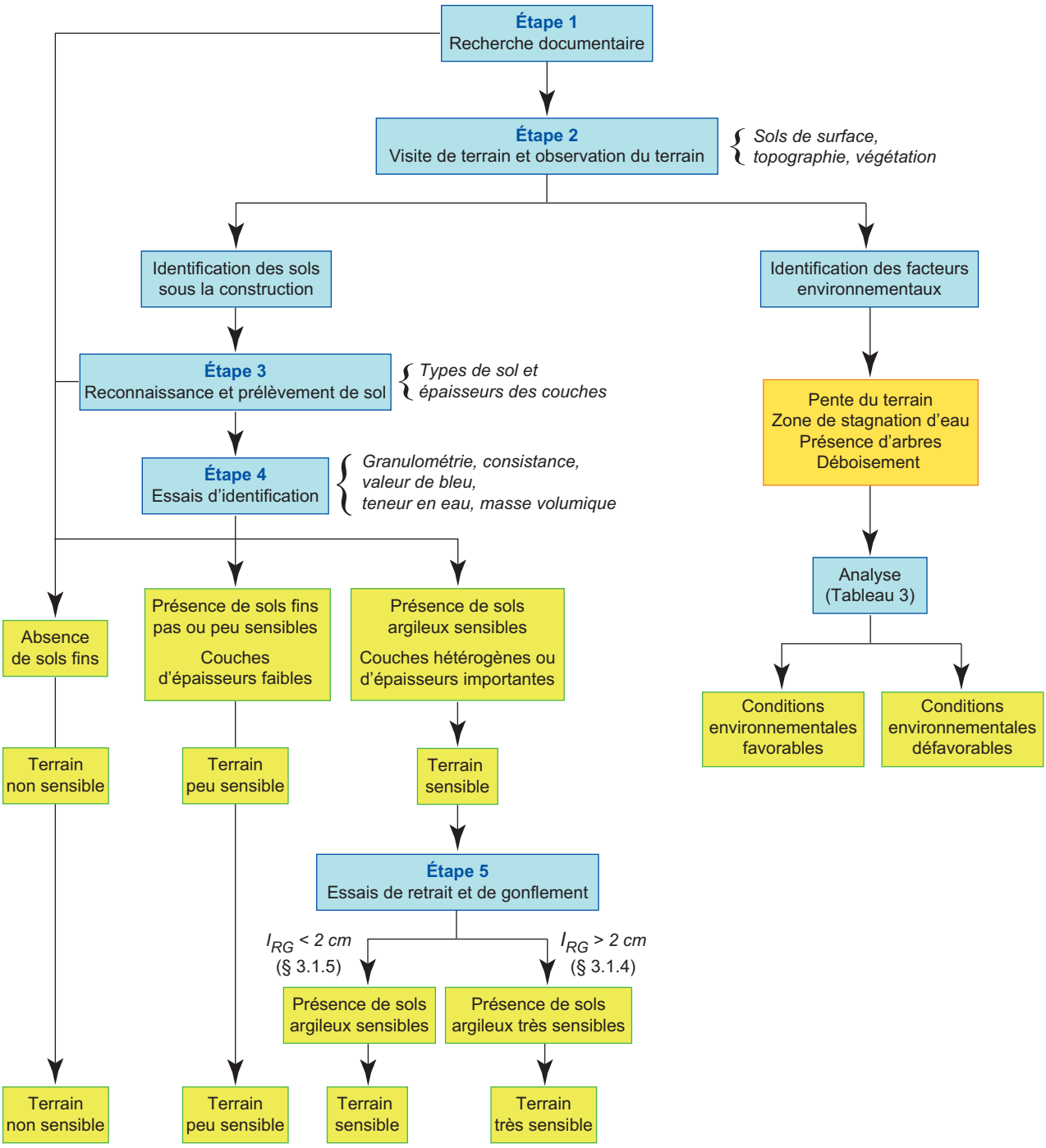


Figure 12
Procédure d'analyse des sols et de l'environnement

3.1.2.1. Existence de sols fins sur la parcelle

Certaines observations peuvent indiquer la présence de sols fins :

- l'observation directe de sols prélevés à la surface du terrain (appréciation de la granularité et de la plasticité) ;
- la topographie plane et régulière ;
- la végétation présente sur la parcelle, typique de terrains argileux.

Si l'absence de sols fins n'a pas pu être prouvée, leur présence sera recherchée en passant à l'étape 3.

3.1.2.2. Caractérisation de l'environnement de la parcelle

La visite de terrain doit permettre de collecter la majorité des informations relatives à l'environnement susceptibles de jouer un rôle dans le phénomène de retrait-gonflement. D'une façon générale, on recensera les paramètres ci-dessous et l'existence d'un ou plusieurs paramètre(s) défavorable(s) conduira à considérer l'environnement de la parcelle comme défavorable. L'environnement de la parcelle sera pris en compte dans la conception du projet de construction.

On notera ainsi :

- l'existence de pentes supérieures à 3 % sur la parcelle, pouvant créer des chemins de drainage superficiels et concentrer les écoulements de surface ;
- l'existence de points bas qui pourraient constituer des zones d'infiltration d'eau ponctuelles dans le sol ;
- l'existence d'indices attestant d'une nappe peu profonde (moins de 4 m) ou de circulations d'eaux souterraines (de subsurface) dont les variations de niveau pourraient influencer le comportement des sols, comme par exemple la présence d'un puits ou d'un étang ou encore d'une vallée sèche, des informations plus directes sur l'hydrogéologie du site pouvant au besoin être collectées lors de l'étape 3 ;
- l'existence d'arbres ou d'arbustes (où l'abattage récent de ceux-ci) sur la parcelle et à proximité de celle-ci. La reconnaissance de l'essence de ces végétaux est importante car elle peut influer sur les quantités d'eau prélevées dans le sol.

Dans le tableau 2 figurent les résultats d'une étude menée en Angleterre sur différentes essences de végétaux. Ces résultats permettent de classer les végétaux selon un coefficient λ = D/H correspondant au rapport entre la distance D maximale des désordres observés par rapport au tronc de l'arbre et la hauteur H observée de celui-ci. Ce classement permet d'identifier les essences les plus dangereuses.

Si une essence observée sur le terrain n'est pas précisée dans le tableau, il convient de considérer l'essence la plus proche.

Tableau 2
Données issues de l'étude : Tree roots and buildings - Culter and Richardson (1989), éditeur : Longman, seconde édition

	Saule	Érable	Chêne	Marronnier	Cerisier Prunier	Orme	Frêne	Sorbier Cormier	Peuplier	Tilleul	Pommier Poirier	Aubépine	Bouleau	Hêtre	Platane
Hauteur H observée de l'arbre (m)	15	10	16	12	6	17	14	8	25	16	8	10	12	20	25
Distance D maximale des désordres (m)	40	20	30	23	11	25	21	11	30	20	10	11,5	10	15	15
Coefficient λ = D/H	2,6	2	1,9	1,9	1,8	1,5	1,5	1,4	1,2	1,2	1,2	1,1	0,8	0,7	0,6

De manière pratique, l'analyse des différents facteurs environnementaux observés peut être effectuée en considérant les questions présentées dans le tableau 3.

Des réponses négatives aux questions 1 à 4 (Q1 à Q4) permettent de considérer que les conditions environnementales de la parcelle sont favorables pour une éventuelle construction.

Des réponses positives aux questions 1 à 3 (Q1 à Q3) indiquent que la parcelle présente des conditions environnementales défavorables pour la construction. Dans ce cas, il convient de se reporter au guide 2 afin de mettre en œuvre des mesures spécifiques permettant de limiter les effets des paramètres défavorables mis en évidence.

Une réponse positive à la question 4 (Q4) conduit aussi à considérer des conditions environnementales défavorables pour la parcelle. Même si des dispositions constructives existent, il faut préciser que le déracinement d'arbres sur l'emplacement d'une construction induit des phénomènes de gonflement qu'il est difficile de maîtriser. Une étude spécifique conduisant à des mesures spéciales peut alors être réalisée.

Tableau 3
Analyse des facteurs environnementaux observés

	Questions	Oui	Non
Question 1	Le terrain présente-t-il une pente supérieure à 3 % ?		
Question 2	Le terrain présente-t-il des zones de stagnation des eaux ?		
Question 3	Des arbres sont-ils présents à une distance de la maison inférieure à celle indiquée dans le tableau 2 ?		
Question 4	Des arbres doivent-ils être déracinés sur l'emplacement de la maison ?		

3.1.3. Étape 3 : réalisation de sondages et prélèvements

Les sondages ont pour objectif :

- de définir la présence (ou l'absence) de sols fins ;
- de mettre en évidence une éventuelle hétérogénéité des sols ;
- de définir l'épaisseur des différentes couches de sols ;
- de mettre en évidence la présence éventuelle d'une nappe peu profonde ;
- le cas échéant, de prélever des matériaux fins pour réaliser des essais en laboratoire.

L'absence de sols fins dans les sondages entraîne l'arrêt des reconnaissances pour le retrait-gonflement (mais pas pour l'étude générale de la construction).

L'hétérogénéité des sols sous le niveau prévu des fondations s'apprécie par la comparaison des coupes de sondage.

L'épaisseur cumulée h_{SF} des couches de sols fins situées sous le niveau des fondations constitue un facteur important de l'amplitude des tassements ou des gonflements attendus. Pour chaque sondage, on distingue deux cas :

- l'épaisseur cumulée des couches de sols fins h_{SF} est inférieure à 0,5 m ; l'impact d'un éventuel retrait-gonflement de la couche devrait être alors faible à nul ;
- l'épaisseur cumulée des couches de sols fins h_{SF} est supérieure à 0,5 m ; on considérera alors que des reconnaissances complémentaires sont nécessaires (étape 4 et éventuellement 5).

Si l'on détecte une nappe peu profonde, il convient de définir si elle est permanente ou saisonnière et d'en estimer la profondeur. On considérera la nappe comme peu profonde si celle-ci se situe à moins de 4 m du terrain naturel. La présence d'eau sera donc notée dans les sondages (ainsi que la date de réalisation de ceux-ci). Le cas échéant, un tube piézométrique pourra être posé.

3.1.4. Étape 4 : essais d'identification des sols fins

L'étape 4 permet de définir si le sol fin prélevé est argileux et quel est son degré de sensibilité au retrait-gonflement. Cette sensibilité est appréciée en fonction de la proportion de particules fines dans les échantillons prélevés, de leur état hydrique ainsi que de leur compacité et des variations de leur consistance avec la teneur en eau. L'analyse granulométrique et sédimentométrique permet de déterminer la répartition des tailles des particules du sol. Plus les particules sont petites, plus le sol est sensible au retrait-gonflement.

La teneur en eau naturelle et la masse volumique du sol définissent son état initial de compacité et de saturation. Ces deux données conditionnent les possibilités soit de retrait soit de gonflement de l'échantillon.

L'identification des sols argileux repose essentiellement sur la définition des limites d'Atterberg (w_L et w_P) et de la valeur de bleu des sols (V_{BS}). Plusieurs auteurs ont tenté de définir des seuils pour identifier les sols sensibles au retrait-gonflement au moyen de ces essais par corrélation avec des amplitudes de retrait ou de gonflement.

Pour certaines études où une analyse sédimentométrique est réalisée, il est possible de définir « l'activité » de l'échantillon de sol prélevé. Lorsqu'il est noté A_C, ce paramètre correspond au rapport entre l'indice de plasticité I_P du sol et le passant à 2 µm, $C_{2µm}$. Lorsqu'il est noté A_{CB}, ce paramètre correspond au rapport entre la valeur de bleu du sol V_{BS} et le passant à 2 µm, $C_{2µm}$.

Pour une construction, la sensibilité du terrain au retrait-gonflement dépend de la présence de sols argileux mais aussi de leur épaisseur. Des sols très argileux sur une très faible épaisseur présentent, finalement, pour une construction, une sensibilité faible de retrait-gonflement tandis que des sols moins argileux sur une forte épaisseur peuvent montrer une sensibilité plus importante. Par ailleurs, des variations latérales d'épaisseur ou de nature des sols argileux sous l'emprise de la construction constituent un facteur très aggravant car elles peuvent être à l'origine de tassements différentiels.

Le tableau 4 propose un système simplifié de détermination de la sensibilité du terrain au retrait-gonflement incluant leur caractère plus ou moins argileux et leur épaisseur h_{SF} sous la fondation. Cette épaisseur déterminée à l'étape 3 peut être à nouveau estimée en fonction des résultats des essais. Il est alors possible de distinguer les sols fins peu ou pas sensibles.

Tableau 4
Sensibilité du terrain au retrait-gonflement sous une construction

<table>
<tr><td rowspan="5">Sol</td><td>w_L</td><td>< 35</td><td>35 à 45</td><td>45 à 70</td><td>> 70</td></tr>
<tr><td>I_p</td><td>< 10</td><td>10 à 20</td><td>20 à 40</td><td>> 40</td></tr>
<tr><td>V_{BS}</td><td>< 1,5</td><td>1,5 à 4</td><td>4 à 12</td><td>> 12</td></tr>
<tr><td>A_C</td><td>< 20</td><td>20 à 50</td><td>50 à 100</td><td>> 100</td></tr>
<tr><td>A_{CB}</td><td>< 3</td><td>3 à 8</td><td>8 à 13</td><td>> 13</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Épaisseur (m)</td><td>0,5 à 1,5</td><td colspan="4" rowspan="3">Terrain pas ou peu sensible / Terrain sensible à très sensible</td></tr>
<tr><td>1,5 à 3</td></tr>
<tr><td>> 3</td></tr>
</table>

3.1.5. Étape 5 : essais de retrait-gonflement (estimation de la sensibilité des sols fins)

L'étape 5 consiste à réaliser des essais de retrait et de gonflement sur les sols argileux sensibles pour distinguer les sols sensibles des sols très sensibles au retrait-gonflement. Cette distinction repose sur l'estimation d'un indice de retrait-gonflement I_{RG}. Cet indice est défini à partir de la déformation de retrait (axiale ou volumique - ε_{ra} ou ε_{rv}), de la déformation de gonflement ε_g et de l'épaisseur h_{SF} des sols fins. La somme des déformations de retrait et de gonflement donne un ordre de grandeur des déformations maximales que peut subir l'échantillon de sol testé s'il est soumis à des variations de teneur en eau.

L'indice de retrait-gonflement I_{RG} constitue une estimation de l'amplitude des mouvements de sol induits par le retrait-gonflement des terrains. Il prend en compte le fait que les variations de teneur en eau sont plus importantes en surface qu'en profondeur. Il est calculé à partir des relations suivantes :

$$I_{RG} = \frac{(\varepsilon_{ra} + \varepsilon_g)\, h_{SF}}{2} \quad \text{ou} \quad I_{RG} = \frac{(\frac{\varepsilon_{rv}}{2} + \varepsilon_g)\, h_{SF}}{2}$$

Un sol est dit très sensible au retrait-gonflement si l'indice I_{RG} calculé est supérieur à 2 cm. Il est dit seulement sensible si la valeur de l'indice I_{RG} est inférieure à 2 cm.

3.2. Détermination d'un niveau de sensibilité sur la parcelle

La démarche détaillée dans la section 3.1. permet d'assembler des informations liées au terrain et des informations concernant l'environnement de la parcelle. Le croisement de ces informations définit le niveau de sensibilité de la parcelle. Le tableau 5 présente quatre niveaux de sensibilité : négligeable ou faible, moyen, fort et très fort. Ces niveaux permettent d'alerter le propriétaire d'un terrain sur les dispositions constructives à mettre en œuvre pour protéger sa maison. Ces dispositions sont décrites dans le guide 2 de la présente collection. Une sensibilité négligeable ou faible à l'échelle de la parcelle ne nécessite pas de dispositions constructives particulières et le respect des règles de construction est suffisant. Pour des sensibilités plus importantes, il est nécessaire de se reporter au guide 2 pour prendre connaissance des différentes dispositions permettant la maîtrise de la sensibilité au retrait-gonflement.

Tableau 5
Détermination du niveau de sensibilité retrait-gonflement à l'échelle de la parcelle

		Environnement de la parcelle	
		Favorable	Défavorable
Le sol sous la construction	Terrain non sensible	Négligeable ou faible	Négligeable ou faible
	Terrain peu sensible	Moyen	Moyen
	Terrain sensible	Fort	Fort
	Terrain très sensible	Fort	Très fort

Annexe

Fiche de présentation des résultats de la caractérisation du site

Emplacement de la parcelle sur une carte au 1/25 000.

Plan d'implantation des sondages sur la parcelle avec le cas échéant la position de la construction.

Informations déduites de l'étude documentaire :

- Sol sous la construction et dans la zone d'étude.
- Environnement de la parcelle.

Informations déduites de la visite de terrain :

- Sol sous la construction et dans la zone d'étude : indiquer la position des sols plutôt fins et des sols plutôt grenus sur la parcelle.
- Environnement de la parcelle.

Sondages :

- Sondages mécaniques : fournir les profils des données mesurées ainsi que les informations liées leur exécution (date, présence d'eau, outils utilisés).
- Sondages associés à des prélèvements de sol (tarière, sondage à la pelle mécanique, sondage carotté) : fournir les photos des terrains prélevés et la coupe de sondage établie avec la nature des différents sols - mentionner précisément la présence de sols fins.

Essais d'identification :

- Préciser la cote de prélèvement et fournir des photos des échantillons prélevés.
- Indiquer pour chaque échantillon prélevé le type d'essai réalisé (date, protocole, norme) et le résultat obtenu, ainsi que le niveau de sensibilité au retrait-gonflement. (paragraphe 3.1.4.).

Essais mécaniques de retrait-gonflement :

- Préciser la cote de prélèvement et fournir des photos des échantillons prélevés.
- Indiquer pour chaque échantillon prélevé le type d'essai réalisé (date, protocole, norme) et le résultat obtenu (I_{RG}) ainsi que le niveau de sensibilité au retrait-gonflement. (paragraphe 3.1.5.).

Fiche bibliographique

Collection techniques et méthodes		**Sous collection** guide technique
ISSN 2492-5438	**ISBN** Papier : 978-2-85782-729-0 Pdf : 978-2-85782-724-5	**Référence** GTI 4-1
Titre Retrait et gonflement des argiles - Caractériser un site pour la construction, guide 1		
Coordinateur Roger Cojean (Armines)		
Auteurs Ifsttar et Armines		
Rédacteurs Martine Audiguier (Armines), Sébastien Burlon (Ifsttar), Roger Cojean (Armines), Alain Denis (I2M-GCE, université de Bordeaux), Irini Djeran-Maigre (LGCIE, Insa de Lyon), Myriam Duc (Ifsttar), Richard Fabre (I2M-GCE, université de Bordeaux), Catherine Jacquard (Fondasol), Jean-François Lataste (I2M-GCE, université de Bordeaux), Jean-Pierre Magnan (Ifsttar), Farimah Masrouri (LEMTA, université de Lorraine), David Mathon (Cerema), Emmanuelle Plat (BRGM), Catherine Pothier (LGCIE, Insa de Lyon)		
Date de publication Juillet 2017	**Langue** Français	

Résumé

Ce guide propose une démarche de caractérisation du retrait-gonflement du sol à l'échelle d'une parcelle. Il ne se substitue pas à l'étude géotechnique associée à un projet de construction (norme NF P 94-500). Cette dernière doit aborder les problèmes de dimensionnement des fondations superficielles et le cas échéant préciser l'influence d'autres types de risques liés, par exemple, à la présence de cavités souterraines, aux glissements de terrain, aux inondations, aux séismes, etc.

La démarche de caractérisation du retrait-gonflement exposée dans ce guide comprend cinq étapes.
1. La recherche et l'analyse des informations existantes ; il peut s'agir de documents réglementaires (PPR) ou techniques (cartes topographiques et géologiques, études géotechniques sur des parcelles voisines) et d'autres informations plus générales comme la connaissance de sinistres sur une maison voisine : c'est l'étude documentaire.
2. La visite de terrain doit permettre d'avoir une vision générale du site, de caractériser l'environnement autour de la construction et de guider l'élaboration d'une campagne de sondages et d'essais de laboratoire.

3. La reconnaissance des sols et le prélèvement d'échantillons doivent donner une idée de la géométrie et de la nature des formations à proximité de la construction (ou à l'échelle de la parcelle si l'emplacement de la construction n'est pas connu).

4. La mise en œuvre d'essais d'identification sur les échantillons fins prélevés doit mettre en évidence les sols présentant une sensibilité avérée au retrait-gonflement.

5. La réalisation d'essais de retrait et de gonflement sur les échantillons argileux sensibles doit aboutir à une estimation de l'amplitude des mouvements du terrain induits par le retrait-gonflement des sols et à la distinction entre sol sensible et sol très sensible.

Ce guide répond à trois questions.

1. Quelles informations doivent être recherchées sur les facteurs et causes des phénomènes de retrait-gonflement ?
2. Quels moyens peuvent être mis en œuvre pour obtenir ces informations ?
3. Quelles conclusions peut-on tirer des informations recueillies ?

Quatre catégories sont définies pour identifier le terrain sous la construction :

- absence de sol fin : terrain non sensible ;
- présence de sols fins non ou peu sensibles ou sensibles sur de faibles épaisseurs : terrain peu sensible ;
- présence de sols argileux sensibles sur une épaisseur forte ou variable : terrain sensible ;
- présence de sols argileux très sensibles sur une épaisseur forte ou variable : terrain très sensible.

Les conditions environnementales permettent de mettre en évidence un contexte favorable ou non pour les processus de retrait-gonflement.

La combinaison de ces catégories et conditions environnementales conduit à définir quatre niveaux de sensibilité au retrait-gonflement : faible, moyen, fort et très fort.

Mots clés

Retrait, gonflement, reconnaissance des terrains, argile, végétation.

Nombre de pages

46

Publication data form

Collection	Sub collection
technics and methods	technical guide

ISSN	ISBN	Reference
2492-5438	Print : 978-2-85782-729-0 Pdf : 978-2-85782-724-5	GTI 4-1

Title
Shrinkage and swelling of clays - Characterisation of a site for construction, guide 1

Coordinator
Roger Cojean (Armines)

Authors
Ifsttar and Armines

Writers
Martine Audiguier (Armines), Sébastien Burlon (Ifsttar), Roger Cojean (Armines), Alain Denis (I2M-GCE, université de Bordeaux), Irini Djeran-Maigre (LGCIE, Insa de Lyon), Myriam Duc (Ifsttar), Richard Fabre (I2M-GCE, université de Bordeaux), Catherine Jacquard (Fondasol), Jean-François Lataste (I2M-GCE, université de Bordeaux), Jean-Pierre Magnan (Ifsttar), Farimah Masrouri (LEMTA, université de Lorraine), David Mathon (Cerema), Emmanuelle Plat (BRGM), Catherine Pothier (LGCIE, Insa de Lyon)

Publication date	Language
July 2017	French

Summary

This guide presents a procedure for the characterisation of the shrink-swell behaviour of a soil at the plot scale. It does not replace the geotechnical investigation that is performed in the framework of a construction project, deal with design problems for shallow foundations and identify the influence other types of risk, due to underground cavities, landslides, flooding, earthquakes, etc.

This guide describes a five-stage procedure for characterising shrinkage and swelling.
1. identify and analyse existing information included in regulatory documents (Risk Prevention Plans – PPR) or technical documents (topographical and geological maps, geotechnical investigations of neighbouring plots) and other more general information such as damage to a neighbouring house;
2. a field inspection to provide an overall view of the site, characterise its environment and provide the basis for test borings and laboratory tests;
3. ground investigation and sampling to provide an idea of the geometry and nature of the ground layers near the construction if its location is known, or at plot scale if it is not;

4. identification tests on fine soil samples to reveal the presence of soils with a marked shrink-swell capacity;

5. shrink-swell tests on sensitive clay samples to estimate ground movements caused by shrinkage and swelling and distinguish between sensitive and highly sensitive soils.

This guide answers three questions.
1. What data are required for the identification of the factors responsible for shrink-swell phenomena?
2. How can it be obtained?
3. What conclusions can be drawn from it?

Four categories have been defined in order to identify the ground under the construction:
- absence of fine soil: soil not sensitive
- thin layers of not sensitive or slightly sensitive fine soils: low-sensitivity soil;
- layers of sensitive soil that are thick or of variable thickness: sensitive soil;
  layers of very sensitive clayey soil that are thick or of variable thickness: highly sensitive soil.

Environmental conditions can show whether or not the context is favourable to shrinkage and swelling processes.
The combination of these categories and environmental conditions allows four levels of risk to be defined: low, moderate, high and very high.

Key words

Shrinkage, swelling, ground investigations, clay, vegetation

Number of pages

46

Ce guide propose une démarche de caractérisation du retrait-gonflement du sol à l'échelle d'une parcelle. Il ne se substitue pas à l'étude géotechnique associée à un projet de construction (norme NF P 94-500). Cette dernière doit aborder les problèmes de dimensionnement des fondations superficielles et le cas échéant préciser l'influence d'autres types de risques liés, par exemple, à la présence de cavités souterraines, aux glissements de terrain, aux inondations, aux séismes, etc.

La démarche de caractérisation du retrait-gonflement exposée dans ce guide comprend cinq étapes.
1. La recherche et l'analyse des informations existantes ; il peut s'agir de documents réglementaires (PPR) ou techniques (cartes topographiques et géologiques, études géotechniques sur des parcelles voisines) et d'autres informations plus générales comme la connaissance de sinistres sur une maison voisine : c'est l'étude documentaire.
2. La visite de terrain doit permettre d'avoir une vision générale du site, de caractériser l'environnement autour de la construction et de guider l'élaboration d'une campagne de sondages et d'essais de laboratoire.
3. La reconnaissance des sols et le prélèvement d'échantillons doivent donner une idée de la géométrie et de la nature des formations à proximité de la construction (ou à l'échelle de la parcelle si l'emplacement de la construction n'est pas connu).
4. La mise en œuvre d'essais d'identification sur les échantillons fins prélevés doit mettre en évidence les sols présentant une sensibilité avérée au retrait-gonflement.
5. La réalisation d'essais de retrait et de gonflement sur les échantillons argileux sensibles doit aboutir à une estimation de l'amplitude des mouvements du terrain induits par le retrait-gonflement des sols et à la distinction entre sol sensible et sol très sensible.

Ce guide répond à trois questions.
1. Quelles informations doivent être recherchées sur les facteurs et causes des phénomènes de retrait-gonflement ?
2. Quels moyens peuvent être mis en œuvre pour obtenir ces informations ?
3. Quelles conclusions peut-on tirer des informations recueillies ?

Quatre catégories sont définies pour identifier le terrain sous la construction :
- absence de sol fin : terrain non sensible ;
- présence de sols fins non ou peu sensibles ou sensibles sur de faibles épaisseurs : terrain peu sensible ;
- présence de sols argileux sensibles sur une épaisseur forte ou variable : terrain sensible ;
- présence de sols argileux très sensibles sur une épaisseur forte ou variable : terrain très sensible.

Les conditions environnementales permettent de mettre en évidence un contexte favorable ou non pour les processus de retrait-gonflement.
La combinaison de ces catégories et conditions environnementales conduit à définir quatre niveaux de sensibilité au retrait-gonflement : faible, moyen, fort et très fort.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de la Transition écologique et solidaire

Ministère de la Cohésion des territoires

ARMINES

IFSTTAR

LES COLLECTIONS DE L'IFSTTAR

9 782857 827245

ISSN : 2492-5438
Référence : GTI 4-1
Crédit photo : Ifsttar
Juillet 2017

TECHNIQUES ET MÉTHODES

Retrait et gonflement des argiles

Protéger sa maison de la sécheresse

Conseils aux constructeurs de maisons neuves

Guide 2



guide technique

Retrait et gonflement des argiles

Protéger sa maison de la sécheresse

Conseils aux constructeurs de maisons neuves

Guide 2

Juillet 2017

IFSTTAR

TECHNIQUES ET MÉTHODES

Ce guide a été élaboré dans le cadre du projet ARGIC2 (Analyse du retrait-gonflement et de ses incidences sur les constructions) financé par la DGPR (Direction générale de la Prévention des Risques) du MTES (Ministère de la Transition écologique et solidaire) et par la DHUP (Direction de l'Habitat, de l'Urbanisme et des Paysages) sous la double tutelle du MTES et du MCT (Ministère de la Cohésion des territoires).

Le groupe de rédaction du guide était constitué des membres suivants :
Jean-Vivien Heck (CSTB), en charge de la coordination du guide
Maurice Armand (UMF)
Patrice Beaufort (Capeb)
Franck Béchade (expert, ex-Socabat)
Sébastien Burlon (Ifsttar)
Frédéric Henry (AQC)
Catherine Jacquard (Fondasol)
Jean-Pierre Magnan (Ifsttar)
Didier Valem (FFB)

Les représentants des ministères en charge du suivi du guide étaient :
Mathieu Blas, DHUP, François Hédou, DGPR et Cécile Rousseau, DGPR

L'ensemble des partenaires du projet ARGIC 2 comprend :
Armines, AQC, BRGM, Capeb, CFEC, CSTB, FFB, Fondasol, I2M-GCE (université de Bordeaux), Ifsttar, Ineris, Lemta (université de Lorraine), LGCIE (Insa de Lyon), LMSSMat-ECP, LOMC (université du Havre), Socabat et UMF.

Socabat et l'agence qualité construction (AQC) sont remerciés pour avoir permis l'utilisation de certaines de leurs photos.

Comment citer cet ouvrage :
Ifsttar et CSTB - Retrait et gonflement des argiles - Protéger sa maison de la sécheresse : conseils aux constructeurs de maisons neuves, guide 2. Marne-la-Vallée : Ifsttar, 2017. Techniques et méthodes, GTI 4-2, 50 pages, numéro ISBN 978-2-85782-725-2

Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux - Ifsttar
14-20, boulevard Newton - Cité Descartes - Champs-sur-Marne - 77447 Marne-la-Vallée cedex 2
www.ifsttar.fr
Les collections de l'Ifsttar
techniques et méthodes - guide technique - réf. : GTI 4-2
ISBN 978-2-85782-725-2 – ISSN 2492-5438

En application du code de la propriété intellectuelle, l'Ifsttar interdit toute reproduction intégrale ou partielle du présent ouvrage par quelque procédé que ce soit, sous réserve des exceptions légales.

Cet ouvrage est mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution. Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.
Les termes de cette licence sont accessibles à l'adresse :
http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

Avertissement

La rédaction des trois guides *Retrait et gonflement des argiles* a été lancée en 2011 en relation avec un projet de loi portant réforme du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles (Catnat) afin d'accompagner les professionnels de la construction pour la mise en application du contenu de cette loi concernant le risque retrait-gonflement des argiles. Ces guides établis en 2017 sont à considérer comme des documents utiles à la prévention du risque retrait-gonflement des argiles et ils sont diffusés indépendamment du projet de loi.

Le guide 1 propose une démarche pour définir la sensibilité des sols supports de la construction au phénomène de retrait-gonflement, le guide 2 propose des principes de conception d'une maison individuelle sur un site plus ou moins sensible au retrait-gonflement et le guide 3 traite des techniques de réparation des maisons individuelles suite à des désordres imputables au phénomène de retrait-gonflement. Ces guides sont informatifs. Ils ne sont ni normatifs ni réglementaires.

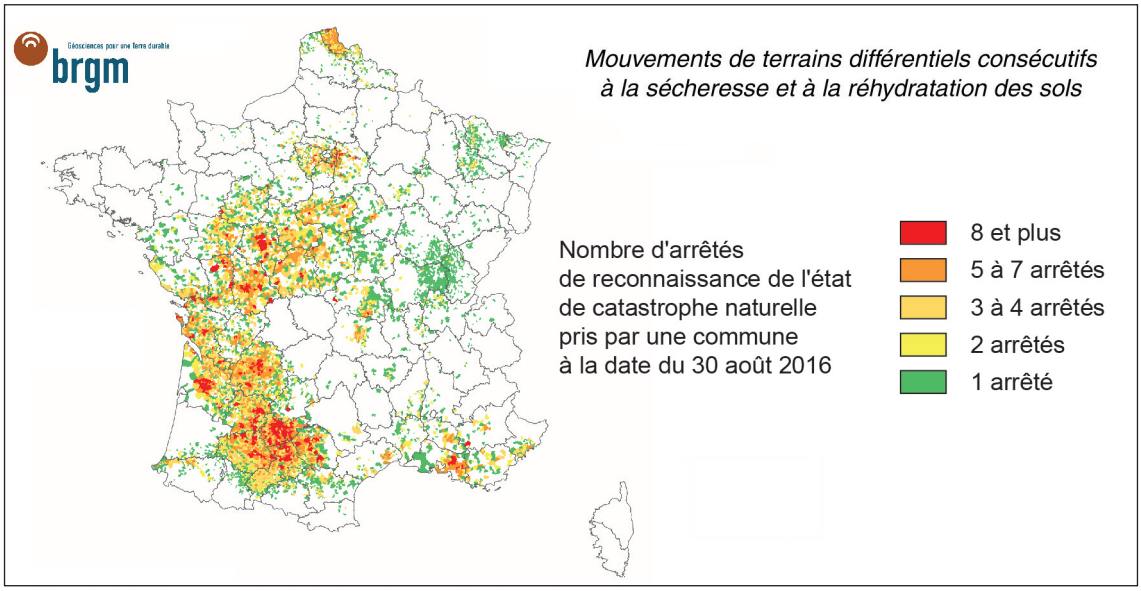
Il est important de souligner que l'application du guide 2 nécessite la connaissance de la sensibilité au risque retrait-gonflement des sols supports du projet de construction. Cette information ne peut être obtenue que par une reconnaissance géotechnique. Ainsi, les informations contenues dans le guide 2 ne doivent pas être considérées comme des dispositions techniques forfaitaires à appliquer sans réserve.

Pour tout projet de construction de maison individuelle, il est essentiel de réaliser une étude géotechnique préalable. Celle-ci doit être adaptée au projet et à son environnement en s'inspirant de la démarche présentée dans le guide 1.

Préambule

Les phénomènes de retrait et de gonflement des sols argileux sont observés depuis longtemps dans les pays au climat sec, où ils sont à l'origine de nombreux désordres causés tant aux bâtiments qu'aux voiries. En France, où les pluies sont plus régulières et les variations saisonnières moins marquées, ces phénomènes n'ont été mis en évidence que plus récemment, en particulier à l'occasion des sécheresses des années 1976, puis 1989 et 1990 et enfin 2003. Les désordres alors observés sur les constructions concernent essentiellement les maisons individuelles. Ils représentent par ailleurs pour les assurances un coût très important. Les régions affectées par ces problèmes sont la Plaine des Flandres, le Bassin parisien, une grande partie de l'Ouest de la France avec notamment le Bassin aquitain, la Provence, la vallée de la Saône entre la Bourgogne et la Franche-Comté ainsi qu'une partie de la Lorraine.

Il est toutefois possible de gérer ces problèmes de retrait-gonflement lors de la construction de la maison ou lors de réparations à entreprendre suite à l'apparition de désordres. Une série de trois guides *Retrait et gonflement des argiles* a donc été élaborée pour présenter les solutions à ces problèmes.



Le guide 1 *Caractériser un site pour la construction* propose une démarche de détermination de la sensibilité au retrait-gonflement d'une parcelle (qui est celle utilisée dans le guide 2). Cette démarche est divisée en cinq étapes, qui comprennent la consultation des informations existantes (cartes, PPR, etc.), une visite du site et éventuellement la réalisation de sondages puis d'essais de laboratoire pour l'identification des sols et pour l'estimation de leur aptitude au retrait-gonflement.

Le guide 2 *Protéger sa maison de la sécheresse* présente les principes de conception d'une maison individuelle sur un site plus ou moins sensible au retrait-gonflement. Ces principes concernent à la fois l'environnement de la maison et notamment la gestion des eaux et la structure de la maison avec des recommandations sur les profondeurs des fondations. Les solutions proposées sont classées en fonction des conditions de sol sous la construction et de conditions environnementales plus ou moins favorables.

Le guide 3 *Analyse et traitement des désordres créés par la sécheresse* traite des techniques de réparation des maisons individuelles suite à des désordres imputables au phénomène de retrait-gonflement. Il aborde plus largement des sujets liés à l'expertise de ce type de sinistre, aux principales méthodes de réparation et aux procédures de prise en charge de ces réparations par les assurances.

Sommaire

Introduction 9

Chapitre 1. Stratégie de la construction 11
1.1 Introduction..... 11
1.2 Retrait-gonflement des argiles et désordres associées 11
1.3 Mesures forfaitaires pour la construction des maisons individuelles 12

Chapitre 2. Maîtrise de l'eau et de l'environnement de la construction..... 15
2.1 Introduction 15
2.2 Dispositions générales (E0).....15
2.2.1 Réalisation d'un dispositif de drainage adapté..... 15
2.2.2 Gestion des eaux pendant le chantier de construction 18
2.2.3 Raccordement des eaux usées au réseau collectif.....20
2.2.4 Protection et étanchéification des canalisations enterrées 21
2.2.5 Collecte des eaux superficielles et drainage des eaux semi-profondes dans les terrains en pente.....23
2.2.6 Dessouchage de l'emprise de la construction.....26
2.3 Actions spécifiques pour les zones de sols argileux 26
2.3.1 Introduction..... 26
2.3.2 Imperméabilisation de la surface du sol (E1) 27
2.3.3 Gestion des arbres (E2) 29

Chapitre 3. Mesures concernant la structure 33
3.1 Introduction 33
3.2 Construction suivant les règles de l'art (S0) 33
3.2.1 Fondations et chaînage de la structure 33
3.2.2 Adaptation des fondations aux pentes 36
3.2.3 Désolidarisation des parties de structures fondées différemment.....38
3.2.4 Choix des matériaux..... 38
3.3 Recommandations forfaitaires pour les sols peu sensibles (S1) 39
3.3.1 Encastrement des fondations superficielles 39
3.3.2 Précautions particulières 40
3.4 Recommandations forfaitaires pour les sols sensibles (S2) 40
3.5 Recommandations forfaitaires pour les sols très sensibles (S3) 43

Références 45

Fiche bibliographique 46

Publication data form.....48

Introduction

La mise en œuvre de quelques principes lors de la construction d'une maison neuve sur sols sensibles aux phénomènes de retrait-gonflement permet d'éviter l'apparition de désordres en cas de sécheresse ou de réhumidification des sols. Ces désordres, dus aux mouvements du sol, affectent la structure de la maison et se présentent généralement sous la forme de fissures. Pour les éviter, on peut chercher à limiter les déformations du sol, mais aussi à adapter la conception de la maison en jouant sur les fondations, le chaînage des murs et l'agencement de la construction.

Les désordres que peut subir une maison sont décrits dans le guide 1. Le chapitre 3 de ce guide 1 énumère les désordres dus spécifiquement au retrait et au gonflement des sols argileux, mais aussi les autres causes possibles de désordres :

- l'hétérogénéité des sols ;
- les pentes ;
- les défauts de conception ;
- les défauts de construction ;
- les vibrations ;
- les tranchées ou terrassements à proximité de la maison ;
- les effets du gel et de la température ;
- ou toute combinaison de ces causes.

Les précautions lorsque l'on construit une maison neuve sont d'abord liées aux règles de l'art relatives à la maîtrise de l'eau et de l'environnement (E) et à la structure (S) de la construction pour lutter contre ces causes générales de désordres. Elles sont désignées dans ce guide par E0 et S0.

La présence de sols argileux ou marneux (guide 1), qui diminuent de volume en période de sécheresse et augmentent de volume en période de réhumidification des sols, est une autre cause potentielle de désordres. Ces désordres sont dus au tassement différentiel des fondations provoqué par les variations de teneur en eau du sol ; ils peuvent être amplifiés par la végétation. Les tassements différentiels dus au retrait du sol sous les fondations provoquent l'apparition de fissures entre les parties qui s'enfoncent et le reste de la maison. Inversement, le soulèvement du sol sous une partie des fondations provoque des fissures entre les parties qui se soulèvent et le reste de la maison. Ces fissures peuvent affecter les différentes parties de la maison (murs, planchers, terrasses, etc.). Les mesures spécifiques aux constructions sur sols argileux sont désignées dans ce guide par E1 ou E2 et S1, S2 ou S3.

Ce guide 2 explique comment on peut agir sur les sols et l'environnement de la maison et sur sa conception (structure, fondations, etc.) pour la protéger des effets de la sécheresse et du gonflement des sols argileux. Les mesures présentées répondent à un très grand nombre de situations, pour lesquelles leur application sera suffisante pour diminuer très sensiblement la sensibilité de la construction à toutes les causes potentielles de désordres, y compris celles liées au retrait et gonflement des sols. Elles ne sont pas exhaustives et des solutions alternatives existent, mais elles nécessitent une étude détaillée du sol et de la construction par des bureaux d'étude spécialisés. L'intervention de bureaux d'études est indispensable quand le projet est complexe et lorsque les sols sont très sensibles au retrait et gonflement (guide 1).

Les recommandations du présent document n'ont aucun caractère réglementaire ou normatif et ne relèvent que du conseil pour le constructeur.

Chapitre 1.
Stratégie de la construction

1.1 Introduction

La construction d'une maison doit respecter les règles de l'art, issues de l'expérience collective de décennies, voire de siècles. Ces recommandations couvrent beaucoup de combinaisons de structures de maison, de techniques de construction et de types de terrains. Elles sont décrites par les DTU relatifs à la construction des maisons individuelles (Normes NF DTU 20.1, NF DTU 20.12, NF DTU 20.13, NF DTU 13.12, NF DTU 13.2, etc.). Toutefois, ces recommandations ne couvrent pas totalement les situations créées par la présence de sols argileux ou marneux dans les terrains de fondation des maisons neuves.

Pour limiter les désordres associés aux terrains sensibles au retrait-gonflement, décrits dans le guide 1 et résumés dans le paragraphe 1.2, la stratégie retenue dans ce guide est de caractériser le degré de sensibilité au retrait-gonflement des sols argileux et marneux sur le site de la construction (guide 1) et d'en déduire les mesures forfaitaires qui seront appliquées, en complément des règles de l'art usuelles (paragraphe 1.3), après avoir tenu compte des textes réglementaires éventuels et des prescriptions des Plans de Prévention des Risques (PPR) Mouvement de terrains approuvés. Ces préconisations forfaitaires peuvent être modifiées par les bureaux d'études.



En particulier, les recommandations de ce guide ne sauraient se substituer aux préconisations établies lors d'une étude géotechnique faite selon la norme NF P 94-500.

1.2 Retrait-gonflement des argiles et désordres associées

Les sols qui contiennent des particules argileuses, souvent associées à des particules de carbonate de calcium (calcaire) pour donner des marnes, subissent des variations de volume directement liées aux variations de leur teneur en eau (humidité). Quand ils s'assèchent, le volume diminue et l'on parle de retrait ; quand ils s'humidifient, leur volume augmente et l'on parle de gonflement. Ce comportement est décrit dans le guide 1. L'évaporation de l'eau se produit d'abord à travers les surfaces nues qui entourent la maison, mais aussi dans les vides sanitaires ventilés. La présence de racines de plantes, arbustes ou arbres contribue à l'assèchement rapide du sol en profondeur. L'humidification des sols après une sécheresse se produit d'abord à partir de la surface du sol, en profitant des fissures éventuelles, mais aussi par les fossés de drainage ou de pose de canalisations, voire par les fuites des réseaux d'adduction d'eau potable ou d'eaux usées.

Ces variations de la teneur en eau se traduisent par des retraits ou gonflements d'amplitude très différente selon la nature et la proportion des particules argileuses. Les amplitudes sont proportionnelles à la quantité d'argile, mais elles dépendent beaucoup de la minéralogie : la kaolinite est nettement moins active que la montmorillonite (smectite). Comme il est compliqué et onéreux de déterminer la nature minéralogique des argiles, on utilise la mesure de la plasticité ou des amplitudes de retrait et gonflement pour caractériser les sols argileux.

Les effets néfastes du retrait et gonflement des sols argileux sont dus au fait qu'ils ne sont pas uniformes sous la construction. Le tassement ou gonflement différentiel du sol sous les fondations ou sous les dallages en est la conséquence dommageable. Son amplitude dépend de l'épaisseur des sols argileux sous la fondation ou le dallage. Elle diminue quand la profondeur des fondations est augmentée.

Le type de désordre associé est la fissuration de la structure de la maison. On s'y oppose par la maîtrise des variations de la teneur en eau du sol (maîtrise des écoulements et de la végétation) ou en adaptant la structure pour qu'elle ne soit pas disloquée par les mouvements différentiels (réduction des mouvements en abaissant les fondations ou renforcement de la structure par chaînage).

1.3 Mesures forfaitaires pour la construction des maisons individuelles

Les recommandations (E0) pour la gestion de l'environnement de la construction (principalement les écoulements d'eau) et (S0) pour la conception et l'exécution de la structure sont applicables sur tous les chantiers, notamment en l'absence de sols argileux ou marneux. Les préconisations complémentaires sont directement liées à l'évaluation de la sensibilité au retrait-gonflement, qui est décrite dans le guide 1.

Selon la démarche proposée par le guide 1, la première étape d'un projet de construction consiste à rechercher les textes réglementaires qui concernent la parcelle sur laquelle la maison doit être construite.

S'il existe un plan de prévention des risques (PPR) relatif au retrait-gonflement, les règles qu'il contient s'imposent. Deux alternatives sont habituellement autorisées :

- soit l'application de règles forfaitaires, qui sont en général compatibles avec les recommandations du présent guide ;
- soit la réalisation d'une étude de sol selon la norme NF P94-500 par un bureau d'études géotechniques.

En l'absence de textes réglementaires, la stratégie est fondée sur la définition de l'environnement de la construction et du niveau de sensibilité des sols sous la construction au phénomène de retrait-gonflement. L'association de ces deux paramètres permet de recommander des ensembles de mesures relatives à l'eau et l'environnement (E) et à la structure de la construction (S).

La caractérisation du sol sous la construction réalisée selon les indications du guide 1, permet de définir la sensibilité au retrait-gonflement du sol.

Le tableau 1 indique les recommandations (E) et (S) applicables en fonction de la sensibilité du sol et des conditions environnementales du site. Ces mesures sont détaillées dans les chapitres 2 et 3 de ce guide. Les mesures E0 et S0 incluent des recommandations qui ne sont pas spécifiquement liées au caractère argileux du sol de fondation. Ainsi, les préconisations relatives à la construction sur une pente, bien qu'elles répondent à des conditions environnementales défavorables, appartiennent au groupe S0. Les mesures E1 et E2 ainsi que S1 et S2 répondent, quant à elles, à des exigences relatives au caractère argileux du sol de fondation.

L'ensemble de la stratégie de construction d'une maison neuve, depuis la recherche des textes réglementaires jusqu'au choix des mesures à adopter, est présenté sur la figure 1.

Tableau 1
Recommandations à adopter, selon la combinaison de conditions sol et environnement

Sol sous la construction	Conditions environnementales	
	Favorables	Défavorables
Non sensible	E0 + S0	E0 + S0
Peu sensible	E0 + E1 + S1	E0 + E1 + E2 + S1
Sensible	E0 + E1 + S2	E0 + E1 + E2 + S2
Très sensible	E0 + E1 + S3	E0 + E1 + E2 + S3

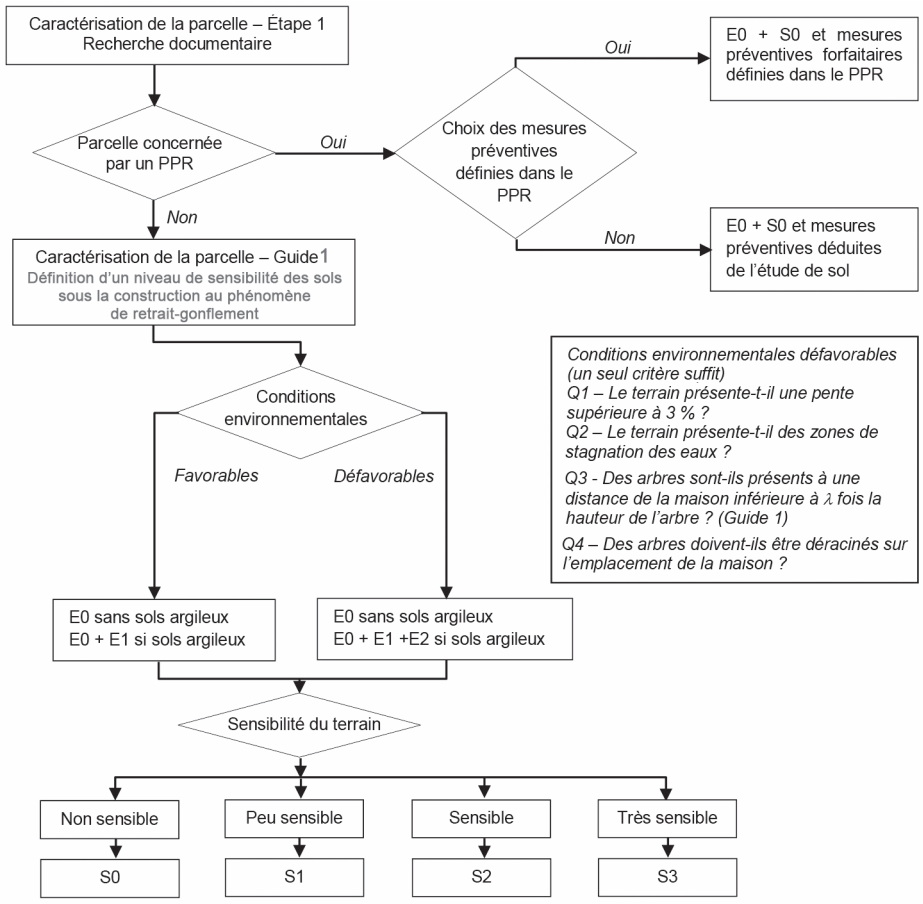


Figure 1
Stratégie de l'étude et recommandations

E0 : Dispositions générales relatives à la maîtrise de l'eau et de l'environnement de la construction (sections 2.2.1 à 2.2.6)
E1 : Imperméabilisation de la surface du sol (section 2.3.2)
E2 : Gestion des arbres et de la végétation arbustive (section 2.3.3)
S0 : Construction suivant les règles de l'art (section 3.2)
S1 : Mesures minimales pour les sols peu sensibles (section 3.3)
S2 : Mesures minimales pour les sols sensibles (section 3.4)
S3 : Mesures minimales pour les sols très sensibles (section 3.5)

Chapitre 2. Maîtrise de l'eau et de l'environnement de la construction

2.1 Introduction

L'aménagement de l'environnement contribue à la maîtrise de la teneur en eau des terrains d'assise sensibles au retrait-gonflement des argiles sous les fondations superficielles, durant toute la vie de la construction.

Les mesures correspondantes comprennent d'une part des dispositions générales communes à toutes les constructions, en vue d'assurer la maîtrise des circulations d'eau sur la parcelle (E0) et d'autre part des dispositions spécifiques pour les zones de sols argileux et marneux, concernant le drainage et l'imperméabilisation des terrains (E1) et la gestion des arbres (E2).

2.2 Dispositions générales (E0)

2.2.1 Réalisation d'un dispositif de drainage adapté

Les apports d'eau provenant des terrains environnants (eaux de ruissellement superficiel ou circulations souterraines) contribuent à l'apparition de mouvements différentiels du sol (phénomène de retrait-gonflement, modification des propriétés mécaniques des sols, etc.). La collecte et l'évacuation, ou le drainage, de ces apports permettent de minimiser les mouvements différentiels du sol.

Le terme de drainage doit être pris au sens large : il s'agit de gérer l'écoulement des eaux, qu'elles soient superficielles ou souterraines, d'origine pluviale ou sanitaire.

La conception de ces dispositions va de l'aval vers l'amont. En effet, pour éviter toute rétention dommageable, on se préoccupe d'abord de l'exutoire vers lequel seront dirigées les eaux, avant de décrire les moyens de captage et d'adduction.

Eaux usées domestiques

L'exutoire des eaux usées est constitué par un réseau d'assainissement collectif ou individuel ou par un ouvrage de traitement (fosse septique, mini-station d'épuration). C'est la sortie de cet ouvrage qui peut poser problème.

La sortie de fosse vers un ouvrage d'infiltration (tranchée, plateau ou autre) doit être réalisée selon les normes en vigueur. La capacité d'infiltration du sol détermine le volume de l'ouvrage. En extrémité aval de l'ouvrage, un regard avec exutoire de trop-plein permet de vérifier et d'alerter sur le colmatage éventuel de l'ouvrage. Ce trop-plein ne peut s'épandre superficiellement que de façon accidentelle. Ce fonctionnement dénote un désordre à corriger d'urgence.

L'ensemble de ces ouvrages est à réaliser en aval de la construction, à 5 m au minimum, afin qu'aucune variation hygrométrique parasite du sol ne se produise.

Il est conseillé que le réseau d'évacuation des eaux usées soit le plus visitable et curable possible, avec des regards aux principaux changements de direction, en amont et en aval des ouvrages particuliers.

Eaux pluviales

L'exutoire des eaux pluviales peut être constitué d'un réseau d'assainissement pluvial collectif, d'un fossé ou d'un ouvrage créé à cet effet (figure 2).

Le ruissellement naturel sur le terrain autorise l'écoulement vers les terrains voisins en aval, à condition de ne pas créer une gêne nouvelle, par exemple en concentrant ces eaux.

L'exutoire du réseau des eaux pluviales peut donc être superficiel en aval de la construction, à condition que ces eaux s'étalent sans créer de nouvelle gêne pour le voisinage.

Si la réglementation locale impose l'infiltration sur le terrain lui-même des eaux captées sur les surfaces imperméabilisées par la construction et ses annexes, il y a lieu de créer un dispositif adéquat, puits d'infiltration, tranchée, bassin, puisard ou fossé d'infiltration, après avoir réalisé un essai de perméabilité pour en déduire le dimensionnement. Les puits d'infiltration peuvent être assujettis à un régime de déclaration voire d'autorisation. Il convient d'être vigilant au respect de la Loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA). En effet les puits ou autres ouvrages d'infiltration rapide dans les eaux souterraines relèvent de la rubrique 2.1.5.0 de la nomenclature «Loi sur l'eau» (article R214-1 du code de l'environnement). Pour le rejet des eaux pluviales dans les eaux douces superficielles ou sur le sol ou dans le sous-sol, la surface totale du projet, augmentée de la surface correspondant à la partie du bassin naturel dont les écoulements sont interceptés par le projet, permet de savoir si le projet est soumis à une autorisation ou une déclaration :

- pour une autorisation, la surface doit être supérieure ou égale à 20 ha ;
- pour une déclaration, la surface doit être supérieure à 1 ha mais inférieure à 20 ha.

Il est conseillé que le réseau d'évacuation des eaux pluviales soit le plus visitable et curable possible, avec des regards aux principaux changements de direction, en amont et en aval des ouvrages particuliers.

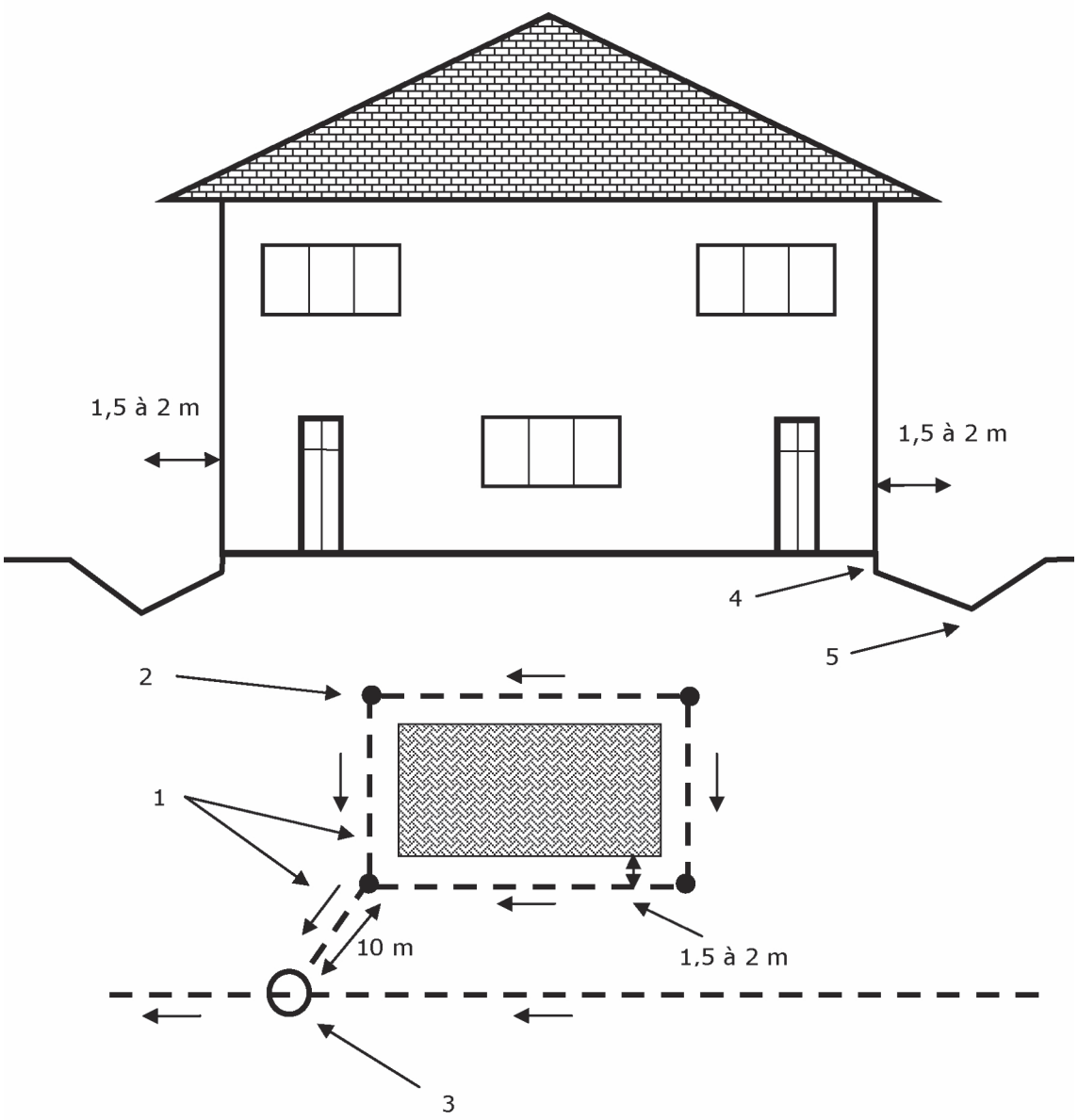
Le captage des eaux pluviales est un point essentiel. Leur cheminement est à déterminer pour créer les conditions qui permettent que cet écoulement soit le plus naturel possible.

Il faut donc prévoir lors du modelage du terrain des pentes favorables permettant l'éloignement des eaux pluviales de la construction (fossés, noues, etc.). Ce modelage doit être réalisé avant la mise en route du chantier et contribue à l'assainissement du chantier, ce qui permet de réaliser le chantier dans les meilleures conditions et d'éviter les champs de boue. L'infiltration des eaux pluviales aux abords des fondations doit être évitée.

Dans le cas général des fondations sur semelles coulées en pleine fouille, une zone de rétention est créée au-dessus des semelles et elle peut être alimentée en eau à travers le remblai. L'infiltration de ces eaux de rétention jusqu'à la zone d'appui de la semelle est très lente car le béton épouse intimement la terre dans laquelle il a été coulé. Néanmoins, si cette eau stagne, elle finira par humidifier la zone d'appui. Il faut absolument ménager, dès le début du chantier, pour cette zone de rétention une ou plusieurs sorties au point le plus bas et diriger l'eau vers un exutoire. Il n'est pas impératif que le dessus des semelles soit en pente, l'eau s'écoulera naturellement vers l'exutoire.

De même, dans le cas d'un sous-sol enterré, c'est sur le dessus de la semelle de fondation que l'eau s'accumulera et qu'il faut prévoir une sortie vers un exutoire, si possible gravitaire.

Un terrain en pente sera en général plus facile à drainer qu'un terrain plat, ce dernier n'offrant souvent pas d'exutoire naturel exploitable.



1 Drains – 2 Regard – 3 Collecteur ou puisard – 4 Arase sanitaire – 5 Noue périmétrique

Figure 2
Illustration du drainage des eaux pluviales sur terrain plat (NF DTU 20.1)

Eaux souterraines

Si des observations lors des sondages ou du terrassement laissent craindre des cheminements souterrains qui pourraient créer des variations hydriques dommageables dans la zone d'appui des fondations, il y a lieu de prévoir un système de drainage autonome, conforme aux règles de l'art (DTU), en étant vigilant sur la réalisation pour éviter toute contre-pente.

Cette fois encore, il est conseillé que le réseau soit le plus visitable et curable possible, avec des regards aux principaux changements de direction.

2.2.2 Gestion des eaux pendant le chantier de construction

Le défaut de gestion des eaux pluviales provenant des toitures et des eaux de ruissellement est à l'origine d'hydratations accidentelles des sols d'assise. Ces mauvaises conditions de chantier ont une influence néfaste sur la stabilité de la construction. Les fissures arrivent parfois avant la fin de la construction.

Il est indispensable de veiller à l'éloignement des eaux de la construction le plus tôt possible dans le phasage des travaux. Pour cela, il est recommandé, dans la mesure du possible, de superposer le plan de masse du permis de construire, sur la topographie du terrain à prévoir pour assurer une bonne gestion de l'écoulement des eaux dès l'origine du projet (figure 3).

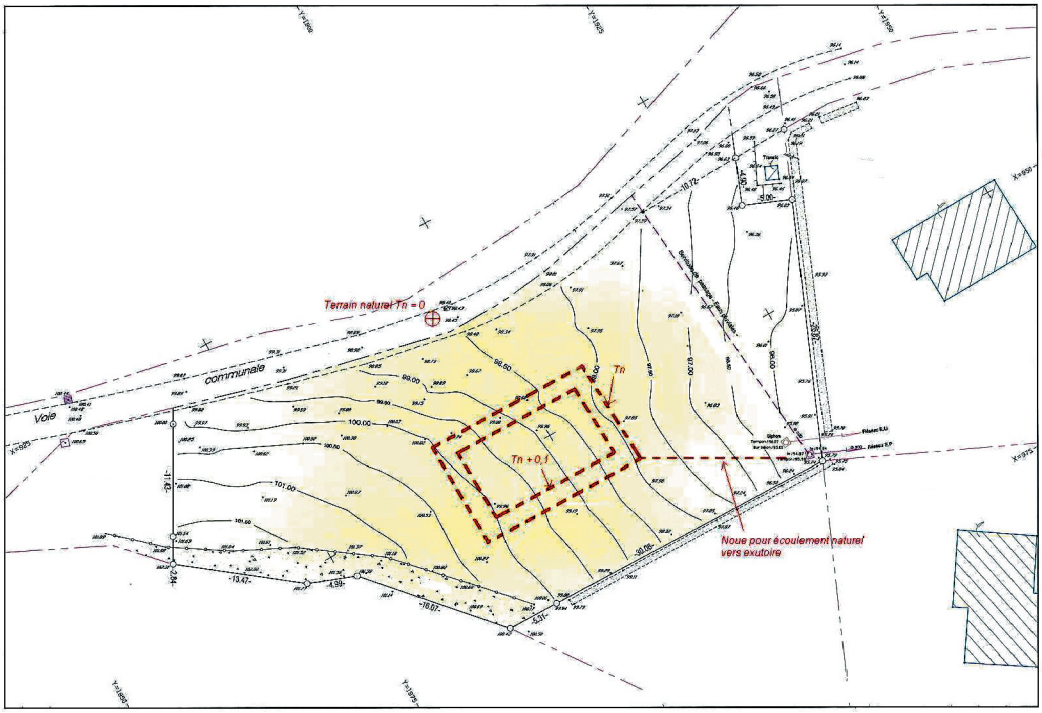


Figure 3
Prévision d'une noue d'évacuation des eaux sur le plan masse du permis de construire

Trois principales tâches contribuent à la gestion de l'eau pendant la phase du chantier de construction : les terrassements, la maçonnerie et les travaux de couverture.

Les terrassements ont pour objectif de décaper la terre végétale et de réaliser une plateforme assez large afin de pouvoir réaliser une noue autour de la construction. Cette dernière a pour but d'éloigner les eaux de la construction (figure 2).

Les travaux de terrassement et de maçonnerie visent à remblayer les fouilles le long des murs de soubassement dès la réalisation du niveau bas, dallage sur terre-plein ou plancher sur vide sanitaire. Sinon, les fouilles le long des libages vont se transformer en « douves » (figure 4) qui ne tarderont pas à se remplir de déchets de chantier. Le maçon doit donc prévoir une phase de terrassement pour le remblaiement périmétrique, en respectant la forme de noue pour éloigner les eaux.



Figure 4
Stagnation des eaux à l'extérieur (gauche) et à l'intérieur (droite) (Source Socabat)

Les constructions dont l'isolation est assurée par un revêtement extérieur (ITE) nécessitent des opérations de remblaiement qui doivent être réalisées au plus près des différentes étapes de la construction. Ainsi un premier remblaiement doit être réalisé dès la réalisation du niveau bas jusqu'à un niveau compris entre 10 et 20 cm de l'arase inférieure de l'ITE et la continuité de l'assainissement du chantier doit être assurée jusqu'à la fin de la pose de l'isolation par l'extérieur. La pose de l'isolation par l'extérieur doit être immédiatement suivie du remblaiement final et des opérations de modelage et de régalage des terrains en périphérie de la construction (noues périphériques, zones imperméabilisées, etc.).

Le planning doit prévoir au plus tôt les travaux de couverture pour la pose des gouttières et des amorces de descentes. La forme de ces dernières éloignera les eaux du pied des murs (figure 5). Cette intervention est à prévoir dès la fin de la réalisation de la couverture.



Figure 5
Exemples de bonnes protections de la construction :
descente coudée ou longue descente non recoupée (Source Socabat)

L'évacuation doit être le plus tôt possible assurée par une canalisation fermée. L'écoulement le long d'une chaîne est à proscrire.

L'éloignement des écoulements de gouttière et des eaux de ruissellement suppose que la forme de noue en périphérie de la construction débouche en aval de la construction avec une pente suffisante. L'éloignement des écoulements suppose donc en terrain plat qu'un terrassement adapté ait été prévu.

2.2.3 Raccordement des eaux pluviales et des eaux usées domestiques aux réseaux collectifs

La ré-infiltration *in situ* des eaux pluviales (ruissellement de toitures, terrasses, etc.) et des eaux usées conduit à réinjecter dans le premier cas des volumes d'eau potentiellement importants et de façon ponctuelle, dans le second cas, des volumes limités mais de façon « chronique ». De façon à éviter les variations localisées d'humidité, il convient de privilégier le rejet des eaux pluviales et des eaux usées dans les réseaux collectifs : « tout à l'égout » ou réseau séparatif) lorsque ceux-ci existent et sont situés à une distance économiquement acceptable (figure 6).

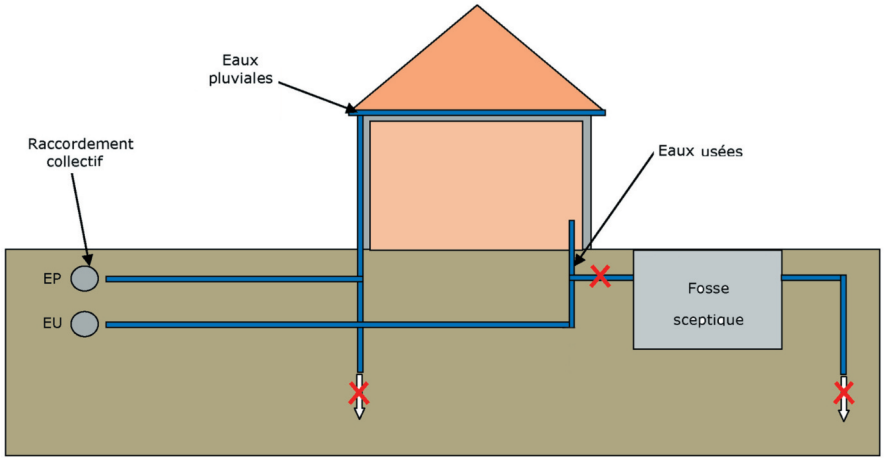


Figure 6
Systèmes d'évacuation des eaux pluviales et des eaux usées (MEDAD, 2007)

Le raccordement aux réseaux collectifs est à réaliser en respectant les 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 assujetti à une redevance d'assainissement comprenant une part variable (assise sur le volume d'eau potable consommé) et le cas échéant une partie fixe.

Les permis de construire indiquent la destination des rejets des eaux pluviales (de toiture et de drainage) et des eaux usées. En l'absence de réseau collectif dans l'environnement proche du bâti, ces eaux sont conservées sur le terrain.

Quand le permis de construire impose la conservation des eaux sur le terrain, les eaux pluviales seront dirigées vers un puisard dont le volume de matériaux sera dimensionné en fonction de la surface de toiture et protégé des fines des sols argileux par un géotextile. Les eaux usées seront traitées par un assainissement autonome.

Dans ce cas, le terrassier ou le maçon réalisant les réseaux de collecte et d'évacuation des eaux pluviales et des eaux usées doit prendre la précaution de situer le(s) point(s) de rejet (puits perdu, fosse septique + champ d'épandage, etc.) suffisamment loin en aval de toute construction et limite séparative. La situation des points de rejet est à examiner avec l'autorité responsable de l'assainissement.

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 (figure 7).



Figure 7.
Réservoir de collecte des eaux pluviales non équipé d'un « trop-plein » raccordé au réseau d'évacuation
Le risque d'hydratation accidentelle du sol de la construction est certain
(Source Socabat)

2.2.4 Protection et étanchéification des canalisations enterrées

De façon à éviter les variations localisées d'humidité, il convient de s'assurer de l'absence de fuites au niveau des réseaux souterrains « humides » (eau potable, eaux usées, eaux pluviales). Ces fuites peuvent aussi résulter de mouvements différentiels du sol qui ne sont pas nécesserement liés au phénomème de retrait-gonflement.

La mesure consiste à étanchéifier parfaitement l'ensemble des canalisations d'évacuation enterrées (eaux pluviales, eaux usées) :

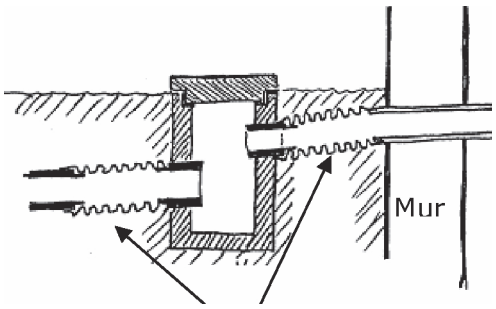
- Les tuyaux PVC sont collés pour les réseaux d'eaux usées et d'eaux pluviales.
- Les liaisons des regards de pieds de chute des eaux de toiture avec les tuyaux sont parfaitement étanches. Le défaut d'étanchéité d'un regard d'eaux pluviales est trop souvent à l'origine de la déstabilisation d'un angle ou d'une façade (figure 8).



Figure 8
Extérieur (gauche) et intérieur (droite) du vide sanitaire (Source Socabat)

Le tracé et la conception des réseaux sont à étudier de façon à minimiser le risque de rupture.

Les canalisations sont réalisées avec des matériaux non fragiles (c'est-à-dire susceptibles de subir des déformations sans rupture). Elles doivent être aussi flexibles que possible, de façon à supporter sans dommage les mouvements du sol et être protégées par un enrobage suffisant de sable. L'étanchéité des différents réseaux sera assurée par la mise en place notamment de joints souples au niveau des raccordements (figure 9). Il convient que ces produits soient conformes à une norme ou à un avis technique.



Systèmes non fragile d'assouplissement
des connexions avec une capacité de flexion (par exemple PVC)

Figure 9
Schéma de principe de systèmes d'assouplissement des raccordements

De façon à ce que les mouvements subis par le bâti ne se transmettent pas aux réseaux, il faut éviter que les canalisations soient bloquées dans le gros-œuvre (figure 10), aux points d'entrée dans le bâti. L'utilisation de manchon de scellement en fonte ductile avec des joints souples est une solution appropriée. Les entrées et sorties des canalisations du bâtiment s'effectuent autant que possible perpendiculairement par rapport aux murs. On évite autant que possible de faire longer le bâtiment par les canalisations de façon à limiter l'impact des fuites occasionnées, en cas de rupture, sur les structures proches.

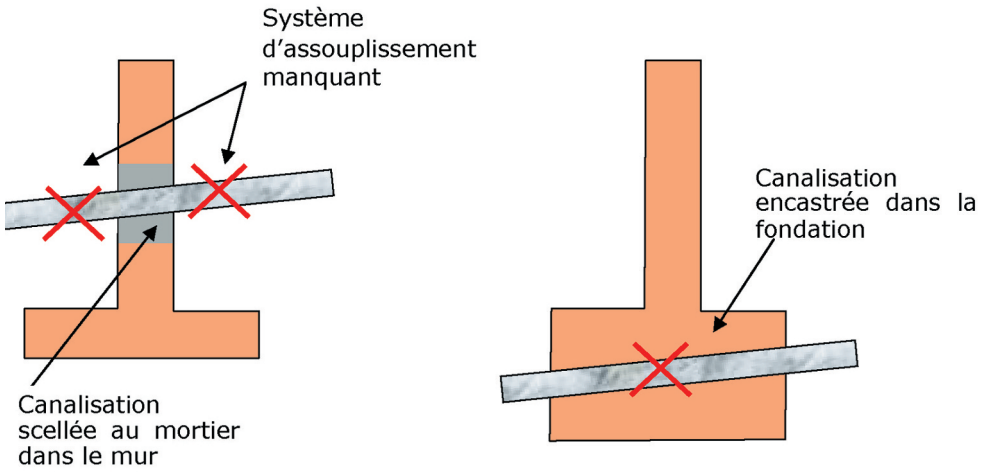


Figure 10
Besoin de connexions souples de part et d'autre du mur.
Le passage de canalisations dans les semelles est à proscrire (MEDAD, 2007)

Il convient de vérifier régulièrement l'étanchéité ainsi que la vacuité des regards et de procéder régulièrement à un nettoyage du dispositif d'évacuation des eaux (enlèvement des feuilles et des dépôts divers).

2.2.5 Collecte des eaux superficielles et drainage des eaux semi-profondes dans les terrains en pente

Durant le chantier, la noue du nivellement est réalisée de manière à présenter une pente permettant de canaliser les eaux en aval de la construction. Dans le cas inverse, un risque de stagnation des eaux est attendu (figure 11).



Figure 11
La descente d'eaux pluviales non raccordée concentre l'hydratation accidentelle dans l'angle. Les eaux ne sont pas évacuées du fait de l'absence d'un nivellement adapté et stagnent non loin de l'angle (Source Socabat)

En phase définitive, un drain superficiel n'est pas suffisant pour capter les eaux si la surface du terrain en pente est perméable. Des circulations d'eaux (figure 12) vont se développer à quelques décimètres de la surface du terrain, à l'interface sol perméable/sol imperméable. La maison fait barrage à ces circulations naturelles gravitaires. Le drain doit être approfondi jusqu'à cette interface. On parle alors d'une tranchée drainante. Des drains à cunette intégrée peuvent être utilisés. L'objectif est de capter les eaux susceptibles de passer sous la construction. Le dispositif de drainage résultant permet de soustraire les fondations de la construction aux eaux de ruissellement et aux circulations souterraines. Les principes de réalisation de ces drains sont donnés par la norme NF DTU 20.1.

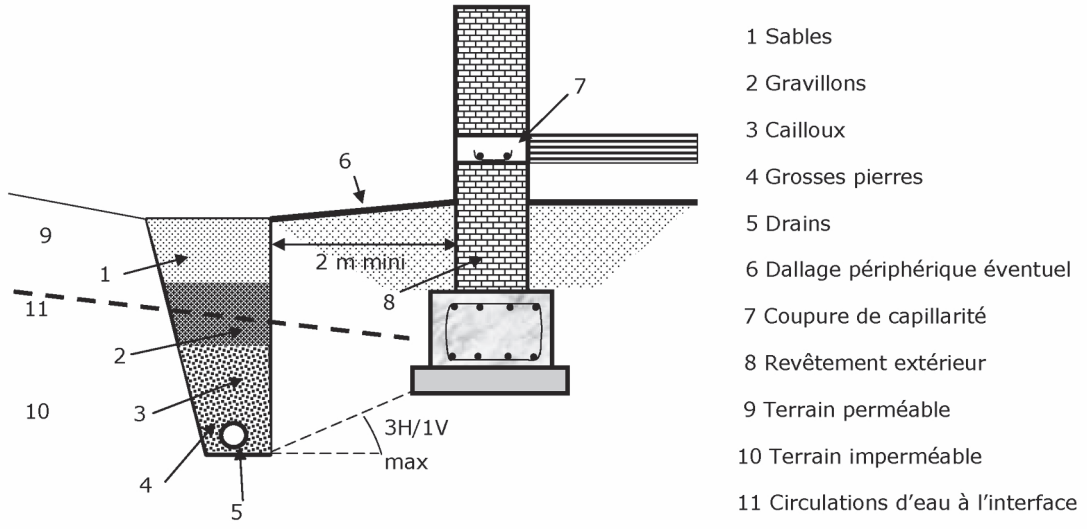


Figure 12
Exécution d'un réseau de drain autour de la construction (NF DTU 20.1)

Le réseau de drains est constitué de tranchées remplies de cailloux (granulométrie 30/60 mm) protégées du terrain par un géotextile, avec en fond de fouille une canalisation de collecte et d'évacuation de type « drain routier » répondant à une exigence de résistance à l'écrasement (les drains agricoles d'épandage sont à proscrire).

Les tranchées descendent à une profondeur supérieure à celle des fondations de la construction. Pour éviter tout risque de déstabilisation de l'assise des fondations, le niveau d'assise du drain doit se trouver au-dessus d'une ligne de pente 1/3 à partir de l'angle de la base des fondations.

En fonction de la nature et des propriétés du sol, la nécessité de descendre les drains au-delà du niveau de fondation de la construction peut se heurter à l'impossibilité d'évacuer gravitairement les eaux collectées. La mise en place d'une pompe de relevage peut permettre de lever cet obstacle, mais impose une maintenance pour s'assurer du bon fonctionnement du dispositif.

Selon les préconisations de la norme NF DTU 20.1, les tranchées drainantes sont éloignées de la construction à une distance minimale de 2 m (figures 13 et 14). Ce point est essentiel car la présence d'un drain au contact des fondations est susceptible en cas de colmatage de provoquer une humidification importante du sol d'assise de ces fondations (figures 13 et 14). L'entretien des drains est à faire régulièrement par curetage mécanique ou par eau sous pression. De plus, l'hydratation accidentelle peut conduire à une diminution des propriétés mécaniques des terrains et donc à des tassements différentiels.

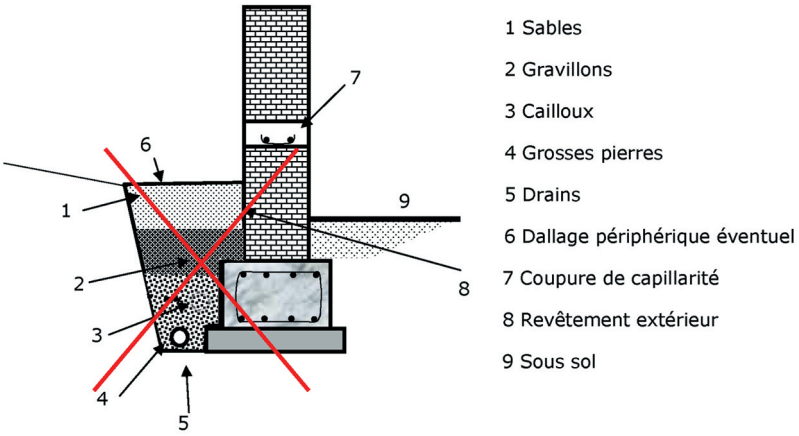
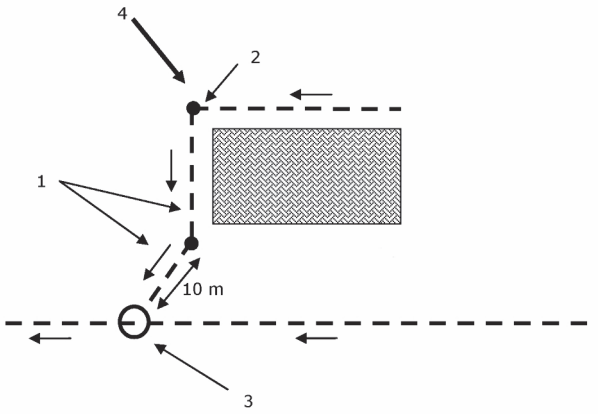


Figure 13
Solution de drainage proche des fondations à éviter (NF DTU 20.1) pour ne pas courir le risque d'une humidification importante du sol de fondation que pourrait causer le colmatage des drains et la stagnation d'eau au contact de la fondation



Figure 14
Drain colmaté et sol de fondation saturé propice au gonflement (Source Socabat)

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 la construction (figure 15).



1 Drains – 2 Regard – 3 Collecteur ou puisard – 4 Pente du terrain

Figure 15
Illustration du réseau de drainage (drain et tranchée drainante) sur terrain en pente (NF DTU 20.1)

Les tranchées des gaines PVC annelées supports des câbles ou tuyaux d'alimentation en électricité, téléphone, eau et en gaz peuvent devenir des vecteurs de circulations d'eaux provenant des réseaux amont des concessionnaires. Par exemple, sur la figure 16, l'alimentation électrique conduit un certain volume d'eau vers la maison. La tranchée de raccordement, normalement remblayée avec du sable, forme aussi un excellent drain qui peut conduire les eaux sous la maison.

Ces eaux peuvent être captées par la tranchée drainante décrite ci-dessus, à condition que le fil d'eau du drain passe sous le point bas des tranchées d'alimentation citées.

Les fourreaux de tous les câbles sont a minima fendus par le dessous à l'aplomb du drain collecteur. La protection peut être améliorée en disposant un regard de visite sans fond sur les fourreaux de raccordement à l'aplomb du drain collecteur.



Figure 16
Situation classique d'une maison construite en contrebas du compteur électrique de la route d'accès (Source Socabat)

2.2.6 Dessouchage de l'emprise de la construction

Les arbres et arbustes présents sur l'emprise de la maison sont à dessoucher (enlever les souches et les racines les plus grosses qui, en pourrissant, pourraient décomprimer le sol ou provoquer des venues d'eaux). Cette opération doit être menée avec soin pour que les fondations soient posées sur un sol homogène et non remanié. Les moyens utilisés pour le dessouchage ont des effets opposés suivant leur puissance. Un petit engin, par exemple mini-pelle, peut limiter le volume de sol remanié par le dessouchage et limiter les rattrapages en gros béton ou la profondeur des fondations. Un engin plus puissant permet de produire un terrain nivelé où l'on ne distingue plus les trous de souche remblayés avec du matériau remanié. Faute d'une transmission correcte de l'information, la maison risque d'être fondée sur un sol très hétérogène (figure 17). Afin d'éviter cette situation à l'origine de nombreux sinistres, le dessouchage doit être maîtrisé par les constructeurs, maîtres d'œuvre, constructeurs de maison individuelle (CMI) et maçons.



Figure 17
Comment les arbres ont-ils été dessouchés ?
Le maçon le sait-il et a-t-il prévu en conséquence la bonne profondeur d'assise ? (Source Socabat)

2.3 Actions spécifiques pour les zones de sols argileux

2.3.1 Introduction

La présence de sols argileux ou marneux sur le site de la construction crée des exigences particulières pour la gestion de l'eau sur la parcelle. L'objectif est de maintenir une teneur en eau à peu près constante dans les sols situés sous les fondations.
Comme les mouvements d'eau se produisent le plus souvent à partir de la surface, par évaporation ou infiltration, l'imperméabilisation de cette surface jusqu'à une certaine distance de la maison est une première action utile pour éviter les désordres. L'imperméabilisation permet d'allonger la distance entre les sols sensibles sous les fondations et les surfaces d'échange avec l'atmosphère et de retarder les variations de teneur en eau dans ces sols.

Les échanges d'eau peuvent aussi se produire avec les tranchées et drains présents sur la parcelle. Il est donc important d'éloigner ces ouvrages des fondations de la maison.

Les arbres existants ou à planter sur la parcelle ou dans son voisinage prélèvent des quantités d'eau importante dans les sols, qu'ils contribuent à assécher en provoquant le retrait des sols argileux ou marneux. Leur gestion est la deuxième action importante à considérer pour éviter les désordres dans la future construction. L'action des arbres a deux formes : quand ils grandissent ils assèchent un volume de sol de plus en plus grand.

Par contre, si on les supprime, le sol va se réhumidifier progressivement et gonfler quand il s'agit de sols argileux ou marneux sensibles aux variations de teneur en eau. La suppression des arbres proches de la construction n'est donc pas toujours souhaitable, notamment quand ils ont maintenu pendant longtemps le terrain dans un état sec.

2.3.2 Imperméabilisation de la surface du sol (E1)

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 mesures forfaitaires applicables aux constructions sur les terrains sensibles ou très sensibles.

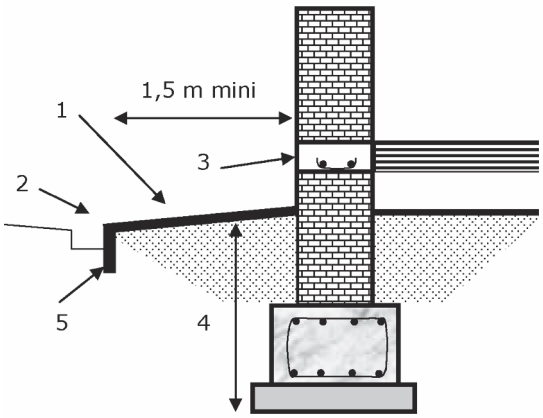
Le dispositif consiste à entourer la construction d'un système étanche le plus large possible (1,50 m à 2,50 m selon la vulnérabilité de la construction), pour protéger sa périphérie immédiate de l'évaporation et éloigner les eaux de ruissellement du pied des façades (figure 18).



Figure 18
Vue d'un système étanche autour d'une maison (MEDAD, 2007)

L'étanchéité peut être assurée par :

- La réalisation d'un trottoir périphérique (selon les possibilités en fonction de l'implantation du bâtiment et de la mitoyenneté), en béton armé posé sur polyane (figures 19 et 20). Une étanchéité trottoir/maison est alors réalisée par un joint souple (avec pose d'un acrotère) pour éviter l'infiltration d'eau entre le trottoir et le mur de façade.



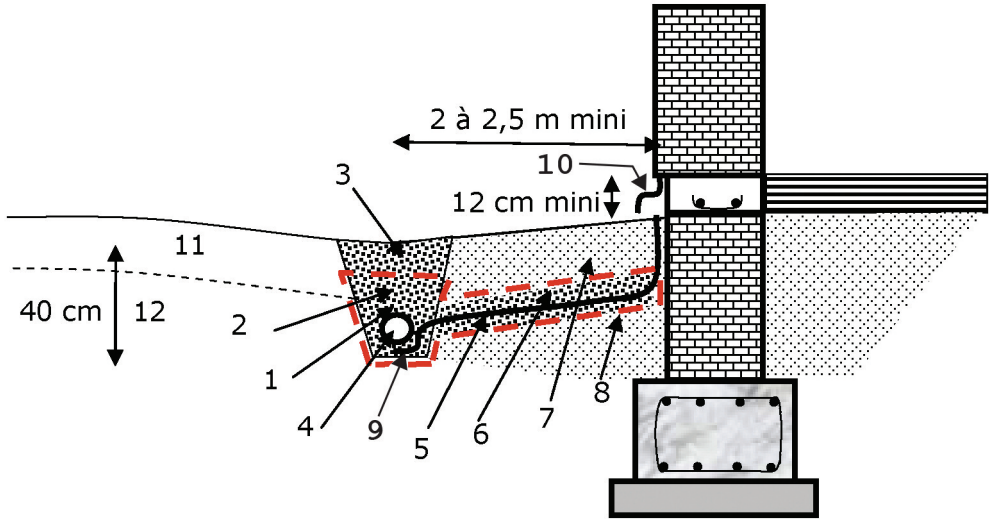
1 Trottoir en béton armé conforme au DTU 13.3
2 Caniveau ou drain superficiel éventuel
3 Arase sanitaire et coupure capillaire
4 Ancrage de la fondation
5 Bêche éventuelle

Figure 19
Schéma de principe du trottoir périphérique



Figure 20
Large trottoir avec caniveau de collecte des eaux de ruissellement (Source Socabat)

- La mise en place sous la terre végétale d'une géomembrane (membrane anti-évaporation), dans les cas notamment où un revêtement superficiel étanche n'est pas réalisable (en particulier dans les terrains en pente) (figures 21 et 22). La géomembrane est raccordée aux façades par un système de couvre-joint ou de bande soline, et protégée par une couche de forme sur laquelle peut être mis en œuvre un revêtement non poinçonnant : pavés, terre végétale, etc.



1. Cailloux 30/60
2. Graviers 5/15
3. Sable 0/3
4. Collecteur drainant type drain routier 0,5cm/m
5. Géomembrane pente 5 %
6. Sable 0/3 2 couches de 5 cm
7. Remblai
8. Fond de forme de terrassement (pente 5 %)
9. Géotextiles
10. Profilé métallique ou plastique
11. Terrain perméable (terre végétale)
12. Terrain imperméable

Figure 21
Schéma de mise en œuvre d'une géomembrane



Figure 22
Géomembrane en cours de pose (Source Socabat)

Une pente de 2 % est donnée au dispositif pour éloigner les eaux du bâtiment. La collecte des eaux de ruissellement est réalisée par un fossé, une noue ou un drain routier (collecteur drainant) comme présenté dans la section 2.2.5.

Pour être pleinement efficace, le dispositif d'étanchéité est mis en œuvre sur la totalité du pourtour de la construction. 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 au profit des mesures de renforcement S3 sur les fondations.

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, c'est-à-dire faiblement, ventilé.

2.3.3 Gestion des arbres (E2)

Les arbres et arbustes pompent dans le sol la quantité d'eau nécessaire à leur croissance. Ils le font d'abord dans la motte de terre contenue dans les racines puis, par succion, les racines et radicelles provoquent la dessiccation des sols argileux autour de cette motte. Quand la construction se trouve dans la zone d'influence de la végétation, la teneur en eau des sols argileux ou marneux sous les fondations peut être modifiée par rapport à l'état existant avant la construction. Une recommandation pratique forfaitaire consiste pour cette raison à tenir les arbres éloignés de la maison, à une distance égale à 1,5 fois la hauteur de l'arbre à maturité (figure 23). Le guide 1 contient des indications plus précises sur l'extension des racines des arbres en fonction de leur espèce. L'étude géotechnique détaillée du site permet d'estimer le volume et la position des terrains argileux ou marneux concernés sous la fondation et donc de mieux évaluer les contraintes vis-à-vis de la végétation.

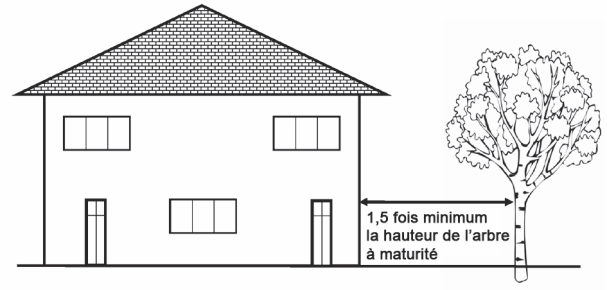


Figure 23
Espace minimal entre une maison et un arbre

Distance entre les arbres et la construction

Quand des arbres existent à proximité de l'emprise projetée de la construction, il convient de tenir compte de leur influence potentielle, à savoir :

- tenter autant que possible d'implanter le bâti à l'extérieur de leur « champ d'action » (on considère en général que la distance d'influence est égale à une fois ou une fois et demi la hauteur de l'arbre à l'âge adulte) ;

- abattre les arbres gênants le plus en amont possible du début des travaux (de façon à permettre un rétablissement des conditions naturelles de teneur en eau du sol).

L'abattage est accompagné d'un dessouchage complet pour éviter le pourrissement des racines qui engendre l'apparition d'un réseau souterrain propice à des venues d'eau.

Bien que certaines essences, chênes, peupliers et saules aient un impact connu plus important que d'autres, il est difficile de limiter ces mesures à ces espèces. Un noisetier, un albizzia, un bouleau peuvent aussi déclencher un tassement différentiel. Il faut se garder de sous-estimer l'influence de la végétation arbustive. Il y a lieu de placer les haies arbustives à 1,5 fois leur taille adulte de toute construction, y compris des ouvrages annexes comme les trottoirs et terrasses (haie de thuyas, lauriers, etc.).

Quand des plantations sont projetées, on cherchera à respecter une distance minimale entre le tronc et la construction égale à 1,5 fois la hauteur adulte de la végétation.

Une haie d'arbres ou d'arbustes peut être conservée bien que ne respectant pas la recommandation d'éloignement, à condition de couper sévèrement chaque année les repousses. Mais, si des radicelles sont trouvées à proximité des fondations à l'ouverture des fouilles, ou plus tard dans la « vie » de la maison, la végétation présente alors un risque pour la construction.

À défaut de vouloir ou de pouvoir (végétation chez le voisin) appliquer les mesures précédentes, la mise en place d'un écran anti-racines est à envisager.

Installation d'un écran anti-racines

Si la construction ne peut pas être située à une distance suffisante des arbres, la mise en place d'un écran vertical permet d'éviter la propagation des racines des arbres sous la construction. Cette coupure trouvera sa place au plus près des arbres dont il faut se protéger. La profondeur minimale de l'écran est de 2 m. Le réseau racinaire peut dessécher un sol argileux jusqu'à 5 mètres de profondeur pour une forêt de chênes adultes. La profondeur de l'écran sera adaptée à l'agressivité de la végétation et à la profondeur possible du réseau racinaire (Figure 24). Il doit aussi être suffisamment long pour éviter que les racines le contournent.

Ce dispositif est constitué en général d'un écran rigide, associé le cas échéant à une géomembrane, mis en place verticalement dans une tranchée. 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 est à porter aux matériaux utilisés (caractéristiques de la géomembrane, etc.). L'appel à un professionnel peut s'avérer nécessaire pour la réalisation du dispositif.

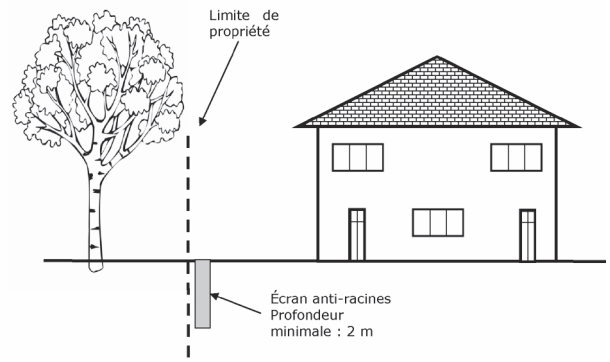


Figure 24
Schéma de principe pour la mise en place d'un écran anti-racine

Plusieurs techniques sont envisageables :

- Un film polyester ou une géomembrane peut prendre place dans la fouille de 30 cm de largeur que l'on remblaiera avec les déblais extraits. On prendra soin de protéger la coupure capillaire par un plastique alvéolé (figure 25).

- La solution traditionnelle de la fouille de 30 cm de largeur remplie de gros béton. Les terres d'excavation sont à évacuer (figure 26).

- Un écran en palplanches. 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). Le recours à des fondations profondes est une solution alternative dans ce cas (figure 27).

Dans le cas où des arbres d'une propriété voisine peuvent causer des désordres sur la nouvelle construction, la pose d'un écran anti-racines est à privilégier.



Figure 25
Voile en polyester
(Source Socabat)



Figure 26
Écran en béton classique.
Tranchée de 30 cm remplie de gros béton
(Source Socabat)



Figure 27
Écran métallique
(Source Socabat)

Chapitre 3.
Mesures concernant la structure

3.1 Introduction

Les règles de l'art de la construction permettent d'édifier des structures adaptées aux conditions usuelles d'interaction des bâtiments avec les sols. Les fondations assurent l'équilibre des charges transmises par les poteaux ou les murs avec les résistances mobilisées sous les fondations.

La présence sous les fondations ou sous les dallages de sols argileux ou marneux capables de retrait et de gonflement du seul fait des variations de teneur en eau, c'est-à-dire sans modification des charges appliquées par la structure, menace cet équilibre.

L'effet du retrait ou du gonflement du sol sous les fondations est habituellement localisé. Il peut se développer sous les angles ou sous un mur de la maison, ce qui provoque des déformations inusuelles des fondations et de la maçonnerie ou de la structure en poteau-poutre de la construction. Dans les maisons modernes, souvent construites en béton armé, ou avec des parpaings chaînés, le tassement ou soulèvement local du sol peut développer des réseaux de fissures (guide 3). Ces fissures peuvent être maîtrisées en limitant les variations d'humidité du sol (chapitre 2 de ce guide), en renforçant la résistance des fondations, des longrines ou des murs ou en gérant la déformabilité globale de la construction par la création de blocs rigides séparés par des joints. Ce chapitre décrit les recommandations générales de la construction des maisons (S0), applicables quel que soit le sol de fondation, puis les précautions particulières pour les sols peu sensibles (S1), que l'on peut résumer en une profondeur de fondation forfaitaire, la recherche de conditions de fondations homogènes et des conditions sur les ossatures en poteau-poutre et les dallages. On indique ensuite pour les sols sensibles (S2) le recours à des fondations superficielles plus profondes et du découpage de la construction en blocs rigides de géométrie régulière et, pour les sols très sensibles (S3) le renforcement significatif de la partie inférieure de la construction.

3.2 Construction suivant les règles de l'art (S0)

3.2.1 Fondations et chaînage de la structure

La majorité des bâtiments d'habitation « classiques » est fondée superficiellement, dans la tranche du terrain concernée par les variations saisonnières de teneur en eau. Les sinistres sont dus, pour une grande part, à une inadaptation dans la conception et/ou la réalisation des fondations.

Même sur un sol réputé non sensible, la conception des fondations s'appuie sur certaines recommandations :

- adopter une profondeur suffisante, à adapter en fonction de la portance du sol et de la profondeur de pénétration du gel ;
- éviter toute dissymétrie dans la profondeur des semelles de fondation ;
- recourir à des fondations continues et armées, bétonnées en pleine fouille sur toute leur hauteur (les fondations coffrées sont toutefois possibles bien que de réalisation plus complexe).

La profondeur des fondations selon les règles de l'art est de 0,5 m au minimum en climat tempéré et peut dépasser 1 m dans les régions plus froides.

Les fondations doivent respecter les préconisations formulées dans la norme NF DTU 13.12. Les schémas de principe des figures 28, 29 et 30 rappellent les plus élémentaires de ces préconisations.

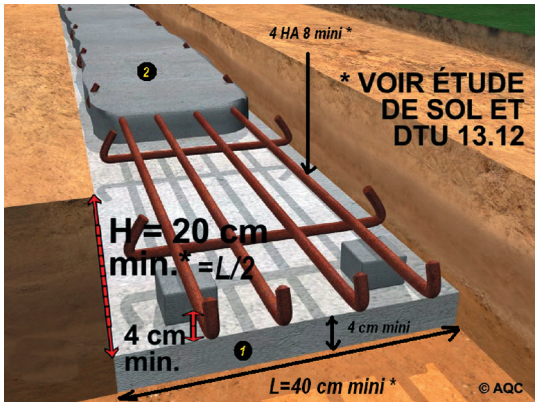


Figure 28
Fondation de maison individuelle en partie courante - zone 1 : béton de propreté dosé à 150 kg de ciment/m^3 de béton ; zone 2 : béton de semelle filante (en cours de coulage sur l'illustration) dosé au minimum à 250 kg de ciment/m^3 de béton (ciment CEM III) avec enrobage des armatures de 4 cm minimum (les valeurs correspondent à des moyennes données à titre indicatif) (Source AQC)

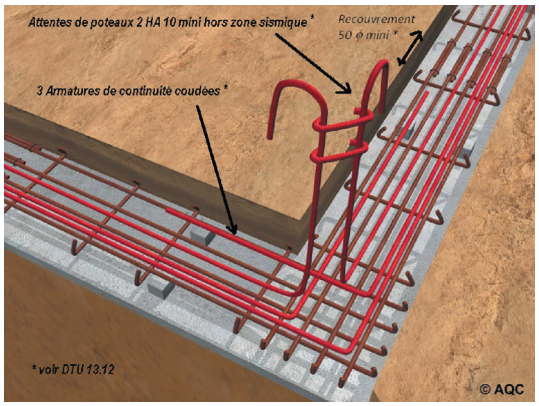


Figure 29
Armatures pour assurer la continuité aux angles de la fondation et armature en attente pour les chaînages verticaux (les valeurs correspondent à des moyennes données à titre indicatif) (Source AQC)

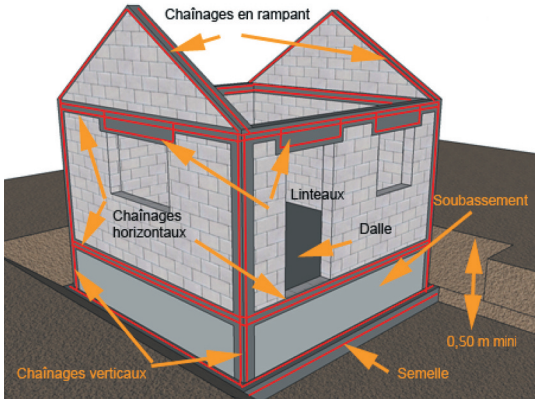


Figure 30
Schéma de principe des chaînages de maison individuelle (Source abc maçonnerie.com)

Un grand nombre de sinistres concernent des constructions dont la rigidité, insuffisante, ne leur permet pas de résister aux distorsions générées par les mouvements différentiels du sol. Une structure parfaitement rigide permet au contraire une répartition des efforts permettant de minimiser les désordres de façon significative, à défaut de les écarter.

Même sur un sol réputé non sensible, une règle de base est de construire une maison avec l'armature nécessaire dans la structure et les semelles de fondation. La rigidification de la structure du bâtiment nécessite la mise en œuvre de chaînages horizontaux (haut et bas) et verticaux (poteaux d'angle) pour les murs porteurs liaisonnés.

Le dispositif de rigidification mis en œuvre pour la structure s'appuie sur les préconisations formulées dans la norme NF DTU 20.1 :

- « Les murs en maçonnerie porteuse et les murs en maçonnerie de remplissage doivent être ceinturés à chaque étage, au niveau des planchers, ainsi qu'en couronnement, par un chaînage horizontal en béton armé, continu, fermé ; ce chaînage ceinture les façades et les relie au droit de chaque refend ». Cette mesure s'applique notamment pour les murs pignons au niveau du rampant de la couverture.

- « Les chaînages verticaux doivent être réalisés au moins dans les angles saillants et rentrant des maçonneries, ainsi que de part et d'autre des joints de fractionnement du bâtiment ».

La réalisation de linteaux au-dessus des ouvertures est nécessaire.

Les liaisons entre les différents chaînages sont conçues pour assurer le transfert des efforts de traction (figure 31). Elles doivent faire l'objet d'une attention particulière et respecter les recommandations suivantes :

- La continuité et le recouvrement des divers chaînages concourant en un même nœud doivent être assurés dans les trois directions.

- Les recouvrements doivent être au minimum de 50 fois le diamètre des armatures.

- Les dispositions adoptées ne doivent donner lieu à aucune poussée au vide (l'intérieur d'un coude doit toujours être orienté vers la pleine masse de béton, jamais vers la paroi proche).

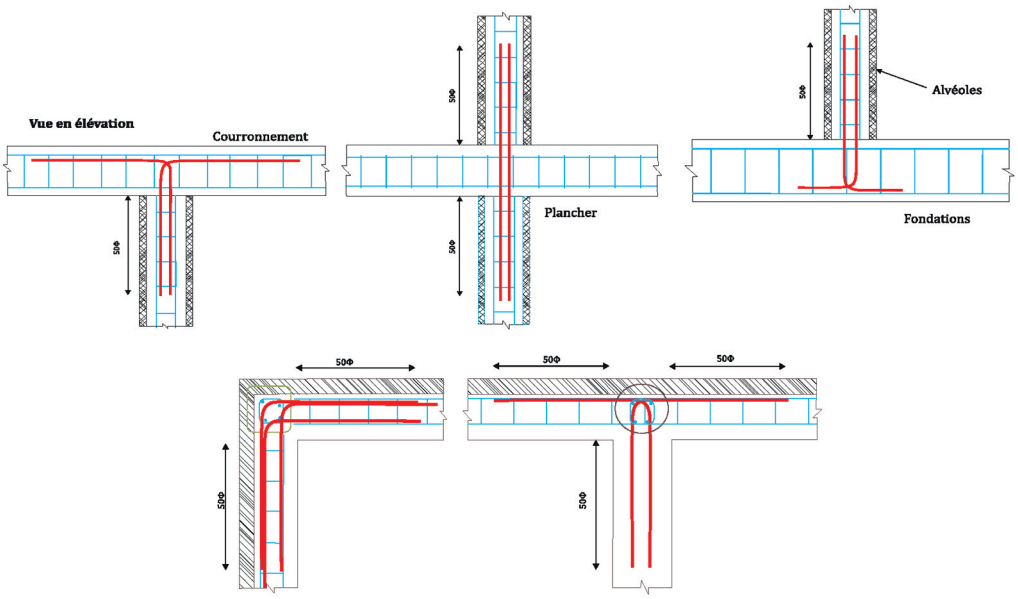


Figure 31
Exemple de liaisons entre chaînages

Ces préconisations relèvent de la construction suivant les « règles de l'art ». Cependant, au regard du nombre de sinistres constatés sur des maisons fondées sur semelles peu ou non armées, pas assez profondes, avec une structure en maçonnerie, sans chaînage, il a paru indispensable de les rappeler.

3.2.2 Adaptation des fondations aux pentes

Les fondations doivent être encastrées de manière homogène sur tout le pourtour du bâtiment. Cette recommandation vaut également pour les terrains en pente où l'encastrement aval vis-à-vis du terrain fini extérieur doit être au moins aussi important que l'encastrement amont.

Les couches superficielles du sol sont souvent parallèles à la topographie. Ainsi, pour bénéficier d'un sol de même nature à la base des différentes fondations, il est préférable, lorsque la pente le permet, d'avoir recours à des fondations à des niveaux différents (suivant la ligne de pente) plutôt que de procéder par déblai ou déblai/remblai pour fonder au même niveau.

Les recommandations précédentes ne visent qu'à limiter les effets des variations de teneur en eau dans le sol. Elles ne dispensent donc évidemment pas de respecter la profondeur d'encastrement imposée par les conditions de stabilité et de résistance du sol de fondation. À cet égard, la norme NF DTU 13.12 stipule que, pour des fondations à des niveaux différents, les niveaux des fondations successives doivent être tels qu'une pente maximale de 3 de base pour 2 de hauteur relie les arêtes des semelles les plus voisines (figure 32).

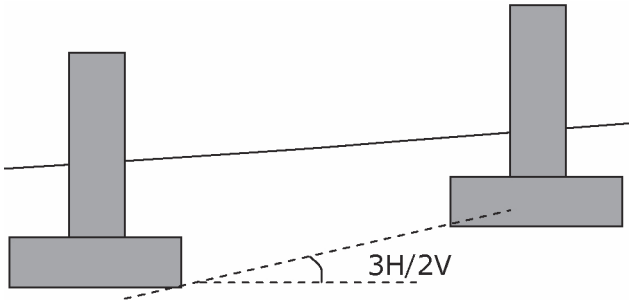


Figure 32
Fondations à des niveaux différents.
Pente maximale permettant d'éviter la poussée de la fondation amont sur la fondation aval

Lorsque la pente naturelle du terrain est inférieure à 3H/2V, les recommandations précédentes invitent à fonder suivant la ligne de pente sans déblai ni remblai. On est conduit dans ce cas à réaliser des redans dans les semelles filantes orientées suivant la pente (figure 33).

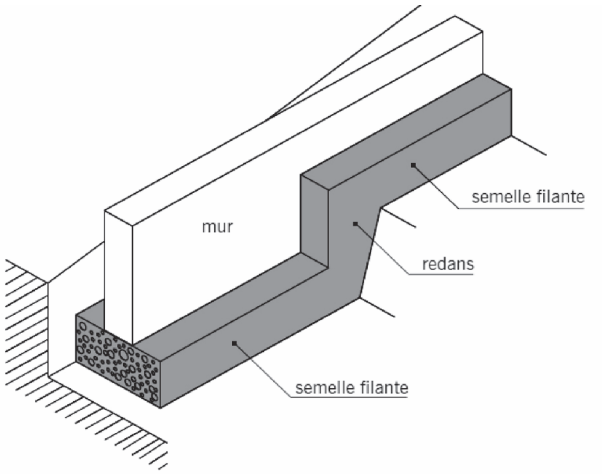


Figure 33
Semelles filantes décalées en hauteur pour « suivre »
la ligne de pente

La figure 34 précise les principes constructifs à appliquer au niveau droit d'un redans pour assurer la stabilité et la continuité de la fondation.

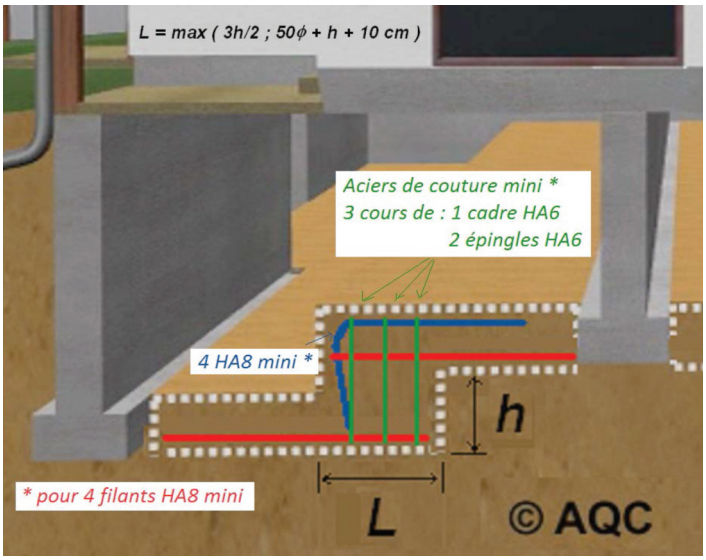


Figure 34
Longueur de chevauchement et ferraillage du redan (Source AQC)

Lorsque la pente naturelle du terrain est supérieure à 3 de base pour 2 de hauteur, on ne peut pas respecter les conditions précédentes d'homogénéité de l'encastrement et de position des semelles voisines (figure 32) et il faut réaliser une plateforme en déblai ou en déblai/remblai.

On comprend que l'idéal est, dans ce cas, de fonder à différents niveaux en suivant la pente maximale permise pour les fondations (3 de base pour 2 de hauteur) et de reproduire cette pente au niveau du sol fini. Ainsi, l'homogénéité d'encastrement est respectée.

Si l'on choisit une plateforme horizontale (figure 35), les fondations amont reposent sur des terrains habituellement plus résistants que les fondations aval. Il est conseillé dans ce cas de placer les fondations aval à une profondeur supérieure à celle des fondations amont par rapport au terrain fini extérieur (deux rangs de parpaings ou de briques). Cette préconisation est d'autant plus importante que la pente est orientée vers le Sud. En effet, dans ce cas, les sols à l'aval d'une construction sont soumis à un ensoleillement plus important que ceux situés en amont, à l'ombre de la bâtisse. La dessiccation y est donc plus marquée. Un encastrement aval plus profond compense cette dissymétrie.

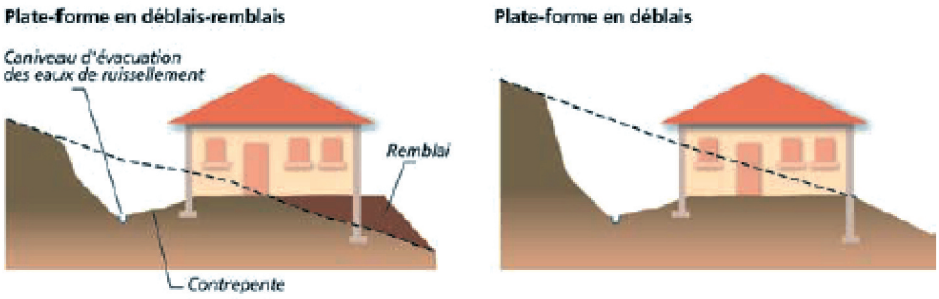


Figure 35
Fondations sur une plate-forme horizontale située dans une pente (MEDAD, 2007)

Comme précédemment, les semelles orientées selon la pente devront comporter un ou plusieurs redans.

Enfin, en cas de remblai, il est recommandé d'appuyer la fondation aval sur un sol insensible aux variations de teneur en eau qui peut se trouver sous le remblai.

3.2.3 Désolidarisation des parties de structures fondées différemment

Deux parties de bâtiment accolées et fondées différemment peuvent subir des mouvements d'ampleur différente. Il convient de désolidariser ces structures afin que les mouvements de l'une ne se transmettent pas à l'autre. Toutes les parties d'un bâtiment sont concernées : différences de niveau de fondation, de type de fondation ou de charges appliquées dans un corps de bâtiment, extension d'un bâtiment existant, ouvrages annexes et aménagements extérieurs (garage, appentis, terrasse, etc.). La mise en place d'un joint de rupture (figure 36) sur toute la hauteur du bâtiment y compris les fondations permet de désolidariser ces parties.

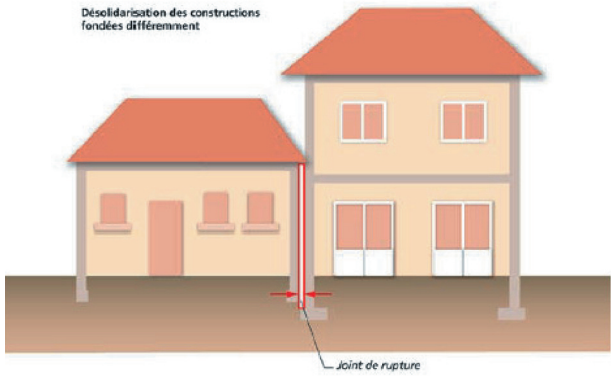


Figure 36
Joints de rupture entre les parties d'un bâtiment fondées différemment (MEDAD, 2007)

La présence d'un sous-sol partiel (par ailleurs déconseillé en cas d'aléa de retrait-gonflement même faible) peut entraîner des tassements différentiels de la construction. Il faut donc également placer des joints de rupture aux endroits appropriés.

3.2.4 Choix des matériaux

Les matériaux utilisés pour la construction dans les zones où les sols de fondation sont susceptibles de retrait et gonflement doivent présenter des performances de résistance et un niveau de durabilité largement éprouvés. Les recommandations suivantes s'appliquent :

- être conformes, pour ceux relevant du domaine traditionnel, aux documents normatifs en vigueur (DTU et Normes NF ou EN) ;
- être couverts par un avis technique pour les matériaux et procédés innovants.

Par ailleurs, il convient que les matériaux respectent des exigences de caractéristiques minimales, afin d'éviter une détérioration prématurée des performances mécaniques de l'ouvrage.

Ces considérations conduisent à établir les recommandations suivantes :

Béton

Béton prêt à l'emploi

En cas de béton prêt à l'emploi, la résistance caractéristique minimale du béton à la compression à 28 jours doit être de 25 MPa. Il convient alors de demander du C25/30.

Pour les ouvrages de faibles épaisseurs, la consistance demandée doit être « très plastique » (classe de consistance S3 au sens de la NF EN 206/CN) afin d'obtenir une mise en place du béton optimale. Il est également recommandé de choisir une classe d'exposition XC2 (au sens de la NF EN 206/CN).

Ces informations sont à communiquer au producteur de béton et doivent figurer sur le bon de livraison. Dans tous les cas d'utilisation, l'ajout d'eau sur chantier est à proscrire.

Béton fait sur chantier

Le dosage minimal en ciment est à adapter selon les recommandations du DTU 13.11.

Armatures pour béton

Les aciers utilisés pour constituer les armatures de béton doivent être à haute adhérence, de nuance Fe E 500 (limite élastique à 500 MPa) et disposer d'un allongement garanti sous charge maximale d'au moins 5% (armatures de classe B).

Éléments de maçonnerie

Les éléments de maçonnerie peuvent être pleins ou creux. Ils doivent être conformes aux prescriptions de la norme NF DTU 20.1.

3.3 Recommandations forfaitaires pour les sols peu sensibles (S1)

3.3.1 Encastrement des fondations superficielles

La profondeur des fondations (profondeur d'encastrement) doit tenir compte de l'amplitude de retrait et gonflement du sol. Seule une étude géotechnique spécifique est en mesure de déterminer précisément cette amplitude (guide 1). Cette étude doit être réalisée par un bureau d'études géotechnique.

Pour les sols peu sensibles, la profondeur d'encastrement minimale par rapport au niveau final du terrain extérieur est fixée à 0,8 m.

Cette profondeur minimale ne dispense pas de respecter la profondeur recommandée par la mise hors gel lorsqu'elle est supérieure.

La recommandation ci-dessus ne vise qu'à limiter les effets des variations de teneur en eau dans le sol. Elle ne dispense pas non plus de respecter la profondeur d'encastrement imposée par les conditions de stabilité et de résistance du sol de fondation.

Les fondations doivent être encastrées de manière homogène sur tout le pourtour du bâtiment. Il convient sur terrain plat que les semelles de fondations filantes ne présentent aucun redan. Sur des terrains en pente, l'encastrement aval doit être au moins aussi important que l'encastrement amont : la réalisation de redan est alors nécessaire.

Dans des sols hétérogènes, on cherchera à construire les fondations à une profondeur à laquelle le sol retrouve une nature homogène. Le respect de cette condition peut conduire à approfondir tout ou partie des fondations, au-delà de la profondeur minimale liée à la sensibilité des sols. Si c'est impossible, il faut tenir compte de l'hétérogénéité du sol de fondation dans la conception de la maison.

3.3.2 Précautions particulières

Certaines solutions constructives telles que les ossatures à poteaux-poutres et les dallages présentent une sensibilité accrue aux mouvements du sol. Ils doivent faire l'objet d'une étude particulière et de précautions de mise en œuvre adaptées, dès lors que le sol de fondation est jugé sensible, même faiblement.

Ossatures à poteaux-poutres

Pour ce type de structure, les charges sont transmises au sol par des semelles superficielles isolées placées sous les poteaux.

Les semelles superficielles isolées rendent ces constructions particulièrement sensibles au phénomène de retrait-gonflement. Pour une structure à ossature et remplissages de maçonnerie, un retrait localisé sous une semelle isolée provoque une déformation de l'ossature qui peut se traduire par des désordres dans l'ossature elle-même ou dans les maçonneries de remplissage qui ne sont pas prévues pour supporter des efforts.

Les structures à ossatures et remplissages doivent faire l'objet d'une étude spécifique.

Dallages

Les dallages reposant directement sur le sol en place peuvent être sujets à de nombreux désordres. Ils doivent faire l'objet d'une étude spécifique.

Il en est de même pour les solutions mixtes dallages-pieux.

La solution préférable est un plancher porté en béton au-dessus d'un vide sanitaire largement dimensionné pour qu'un gonflement du sol ne puisse le combler.

Les planchers en béton peuvent être constitués par :

- des éléments préfabriqués de poutrelles en béton armé ou précontraint et entrevous associés à une dalle de compression coulée en œuvre et armée par un treillis soudé ;

- des prédalles en béton armé ou précontraint associées à une dalle complémentaire coulée en œuvre ;

- une dalle coulée en place.

Les autres types de planchers en béton ne sont pas décrits dans le présent guide, mais peuvent être utilisés à condition de respecter les prescriptions des textes spécifiques les concernant (DTU par exemple).

3.4 Recommandations forfaitaires pour les sols sensibles (S2)

Les recommandations applicables aux constructions sur terrains sensibles sont de même nature que pour les terrains peu sensibles. La profondeur d'encastrement minimale recommandée par rapport au terrain fini extérieur est fixée forfaitairement à 1,2 m (seule une étude de sol peut définir la profondeur optimale). Elle ne dispense pas de respecter la profondeur imposée par la mise hors gel lorsqu'elle est supérieure, et la profondeur d'encastrement imposée par les conditions de stabilité et de résistance du sol de fondation.

L'amplitude plus importante des retraits et gonflements du sol sous les fondations peut solliciter plus fort la résistance de la structure de la construction. Le découpage de la construction en blocs rigides séparés par des joints de rupture est une façon efficace de limiter, voire empêcher les dommages dus au retrait et gonflement du sol.

Chaque bloc doit avoir une géométrie régulière et des conditions de fondation homogènes.

Les formes recommandées sont compactes et sans décrochements, presque rectangulaires, avec une plus grande dimension au plus égale à deux fois la plus petite. Les formes en L, T, X, U ne sont pas recommandées (figure 37). Il est recommandé qu'un retrait de la construction n'excède pas 20 % de la surface de la maison et que la somme des retraits ne dépasse pas 40 % de cette surface totale (figure 38). Il doit y avoir au minimum deux murs parallèles dans chaque direction principale du bâtiment. Deux murs peuvent être considérés comme parallèles, si l'angle entre leurs directions ne dépasse pas 15 degrés (figure 39).

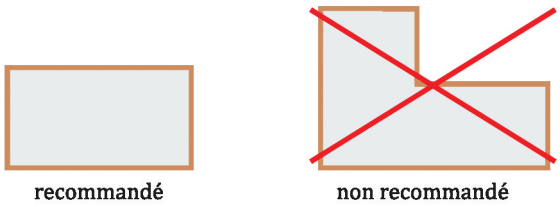


Figure 37
Différentes formes d'une maison

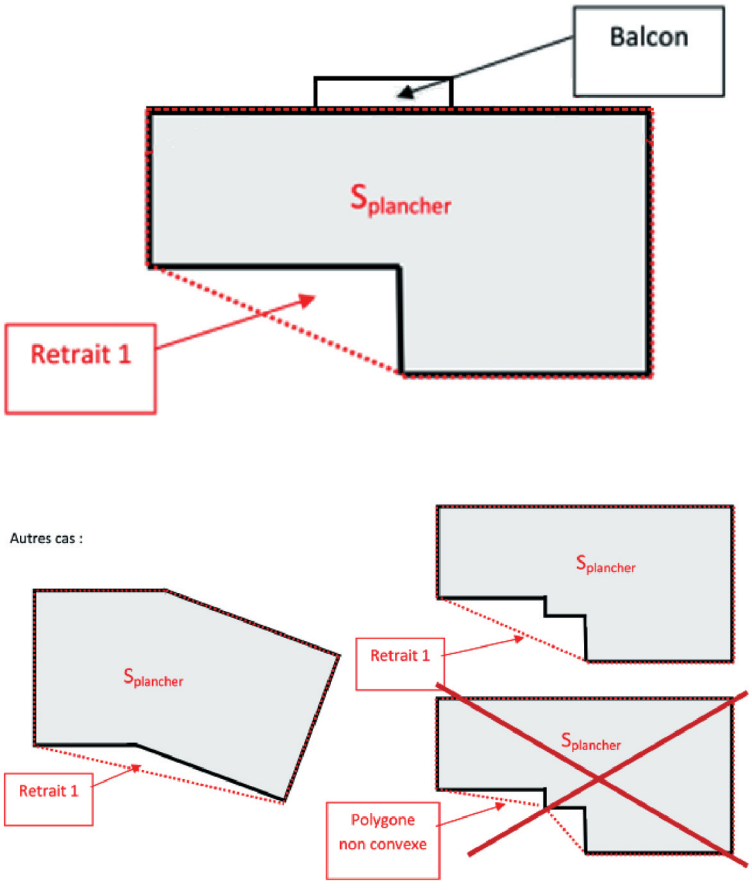


Figure 38
Recommandations pour la forme d'une maison et gestion des retraits de la construction

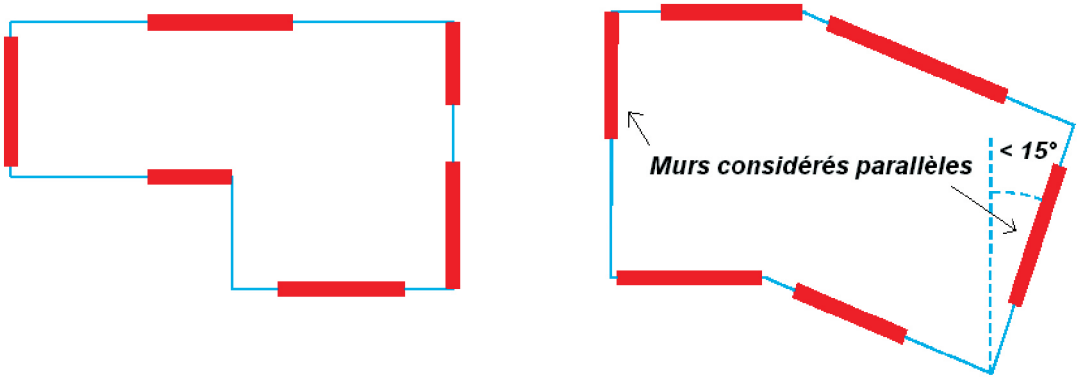


Figure 39
Conditions pour considérer deux murs parallèles

Les fondations doivent être encastrées de manière homogène sur tout le pourtour du bâtiment et ne présenter aucun redan si le terrain est plat. Notamment, les sous-sols partiels qui induisent des hétérogénéités d'encastrement doivent être évités. Si ce n'est pas possible, il convient de désolidariser les parties de structure correspondantes.

La construction doit éviter les porte-à-faux importants qui compliquent une redistribution correcte des efforts en cas de tassement localisé (figure 40).

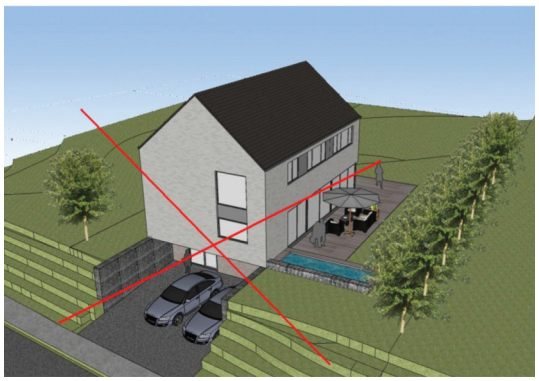


Figure 40
Porte-à-faux déconseillé

Tous les murs porteurs verticaux doivent être continus de la fondation jusqu'à la toiture.

Lorsque les niveaux de la construction n'ont pas la même géométrie, l'écart entre les surfaces de plancher de deux niveaux successifs ne doit pas dépasser 20 %. Si cette recommandation n'est pas respectée, il faut désolidariser les parties de structures fondées différemment (figure 41).

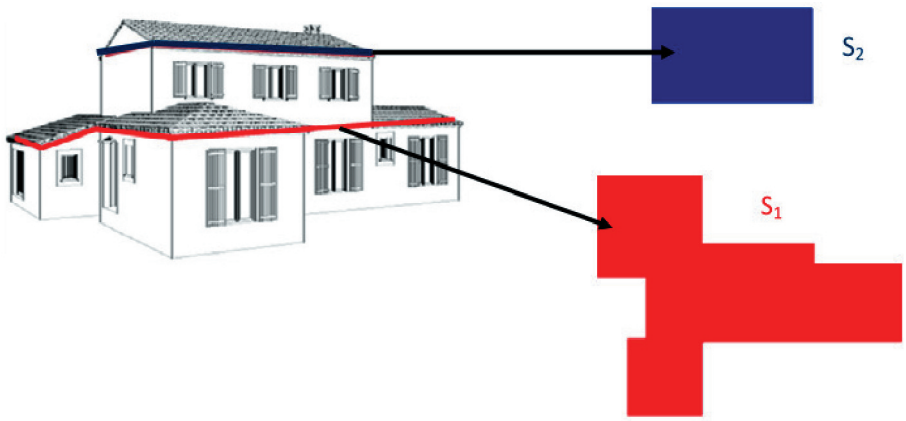


Figure 41
Illustration de la règle des retraits en élévation

3.5 Recommandations forfaitaires pour les sols très sensibles (S3)

Les recommandations applicables aux constructions sur les terrains très sensibles au retrait-gonflement sont les mêmes que pour les terrains sensibles. La profondeur d'encastrement minimale recommandée par rapport au terrain fini extérieur est aussi fixée forfaitairement à 1,2 m (seule une étude de sol peut définir la profondeur optimale). Elle ne dispense pas de respecter la profondeur imposée par la mise hors gel lorsqu'elle est supérieure, et la profondeur d'encastrement imposée par les conditions de stabilité et de résistance du sol de fondation. La différence réside dans la nécessité de renforcer les fondations et les soubassements des constructions.

Les murs inférieurs de la construction (ceux du niveau reposant sur le sol) peuvent être conçus solidaires, sur tout ou partie de leur hauteur, de la semelle sur laquelle ils reposent pour former un soubassement monobloc. Cette disposition permet d'obtenir une section de semelle en T renversé d'inertie très sensiblement supérieure à celle des semelles filantes classiques telles que montrées à la section 3.2.

Les figures 42 et 43 présentent deux solutions de ce type : une première en T renversé de largeur minimale 40 cm, optimale en ce qui concerne les matériaux mais nécessitant un coffrage, et une autre bétonnée en pleine fouille, de largeur standard 50 cm, d'exécution plus simple. Les fondations sont encastrées à 1,2 m au minimum, comme recommandé de façon forfaitaire.

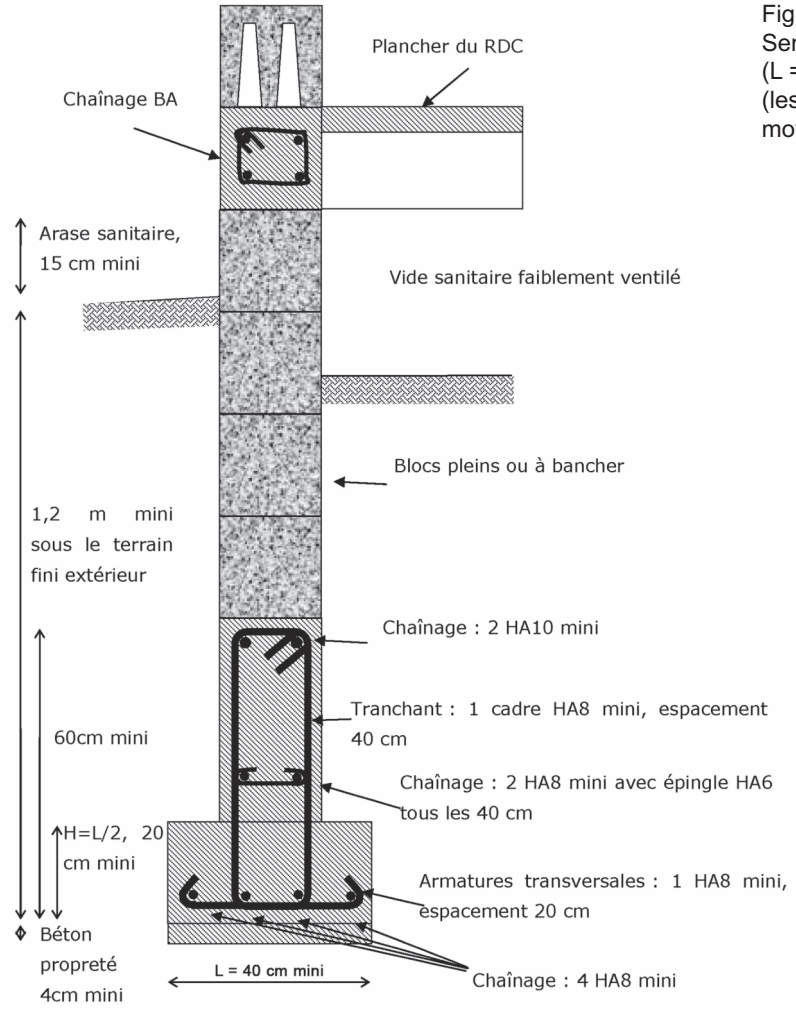


Figure 42
Semelle en T renversé
(L = 40 cm et H = 60 cm)
(les valeurs correspondent à des moyennes données à titre indicatif)

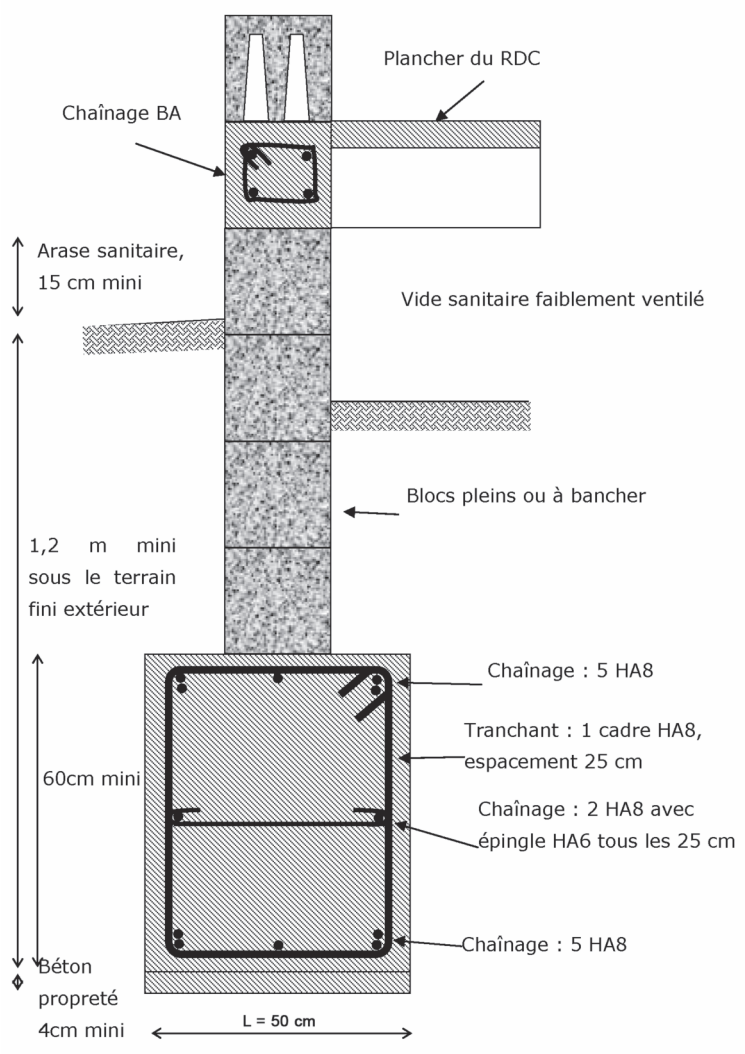


Figure 43
Semelle bétonnée en pleine fouille
(L = 50 cm et H = 60 cm)
(les valeurs correspondent à des moyennes données à titre indicatif)

Les semelles sont armées dans toutes les directions au ferraillage minimal assurant la condition de non-fragilité. Ce ferraillage ne vise qu'à donner à la fondation la ductilité nécessaire pour absorber les défauts de portance partiels qui pourraient survenir en cas de tassement différentiel du sol. Il ne dispense évidemment pas de calculer l'armature nécessaire à l'équilibre des efforts dans la semelle, l'armature transversale en fond de semelle notamment.

Références

FREEMAN T.-J., DRISCOLL R.-M.-C., LITTLEJOHN G.-S. *Has your house got cracks ?* Thomas Telford, Londres, 154 p., **2002**.

Le retrait-gonflement des argiles – Comment prévenir les désordres dans l'habitat individuel ? Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables, **2007**.

Sécheresse et construction, guide de prévention. La documentation française, **1993**.

Sites internet

Portail de la prévention des risques majeurs du ministère de la Transition écologique et solidaire, www.prim.net

Documents relatifs aux cartes d'aléa retrait-gonflement
www.georisques.gouv.fr

Agence qualité construction, www.qualiteconstruction.com

Caisse centrale de réassurance, www.ccr.fr

Fiche bibliographique

Collection techniques et méthodes		**Sous collection** guide technique
ISSN 2492-5438	**ISBN** Papier : 978-2-85782-730-6 Pdf : 978-2-85782-725-2	**Référence** GTI 4-2
Titre Retrait et gonflement des argiles - Protéger sa maison de la sécheresse : Conseils aux constructeurs de maisons neuves, guide 2		
Coordinateur Jean-Vivien Heck (CSTB)		
Auteurs Ifsttar et CSTB		
Rédacteurs Maurice Armand (UMF), Patrice Beaufort (Capeb), Franck Béchade (expert, ex-Socabat), Sébastien Burlon (Ifsttar), Jean-Vivien Heck (CSTB), Frédéric Henry (AQC), Catherine Jacquard (Fondasol), Jean-Pierre Magnan (Ifsttar), Didier Valem (FFB)		
Date de publication Juillet 2017	**Langue** Français	

Résumé

Ce guide expose un ensemble de recommandations à appliquer pour protéger une nouvelle construction des désordres qui peuvent être provoqués par la présence de sols argileux ou marneux sensibles au retrait-gonflement. Ces désordres affectent la structure de la maison mais sont dus au mouvement du sol. Pour les éviter, on peut chercher à limiter les déformations du sol mais aussi à adapter la conception de la maison en jouant sur les fondations, le chaînage des murs et l'agencement des éléments de la construction.

L'application de ces recommandations est décidée en suivant une démarche structurée en étapes, la « stratégie de la construction ». La première étape consiste à rechercher les textes réglementaires qui concernent la parcelle sur laquelle une maison doit être construite et à les appliquer.

En l'absence de textes règlementaires, la démarche s'appuie sur la définition d'un niveau de risques liés à l'environnement de la construction, à la nature et aux propriétés du sol sous la construction. Chaque niveau de risque est associé à un ensemble de recommandations relatives à l'environnement (E) et à la structure (S) de la construction.

Les recommandations E0 sur l'environnement forment un socle de mesures commun à toutes situations. Elles portent notamment sur la préparation du terrain (soin apporté à la plateforme par un terrassement adapté au site) et sur la gestion de l'eau sur le site pour limiter les variations de teneur en eau pendant le chantier et pendant la vie de l'ouvrage, pour les terrains plats et en pente.

Les recommandations E1 et E2 répondent à la présence de sols argileux ou marneux. Lorsque les conditions environnementales sont favorables, les recommandations E1 visent à l'imperméabilisation de la surface du terrain autour de la construction, pour éviter l'assèchement et l'humidification des sols. Lorsque les conditions environnementales sont défavorables, les recommandations E2 ont pour objectif de contrôler l'influence des arbres.

Les recommandations S0 à S3 sur la structure sont graduées en fonction de la sensibilité du sol sous la construction. Elles vont de la simple application des règles de l'art pour S0 à un renforcement des fondations et soubassements pour S3. Les recommandations S1 et S2 correspondent à un encastrement plus profond des fondations et des règles favorisant les conceptions régulières à la fois en plan et en élévation.

Les recommandations présentées dans ce guide répondent à un très grand nombre de situations pour lesquelles leur application sera suffisante pour diminuer très notablement la sensibilité de l'ouvrage au phénomène de retrait-gonflement des sols argileux. Elles ne sont pas exhaustives et des solutions alternatives existent mais nécessitent une étude détaillée du sol et de la structure de la construction par des bureaux d'étude spécialisés.

Mots clés

Retrait, gonflement, argile, solutions constructives, structure, fondations.

Nombre de pages

50

Publication data form

Collection technics and methods		**Sub collection** technical guide
ISSN 2492-5438	**ISBN** Print : 978-2-85782-730-6 Pdf : 978-2-85782-725-2	**Reference** GTI 4-2
Title Shrinkage and swelling of clays - Protecting houses during a drought: Advice for the builders of new houses - guide 2		
Coordinator Jean-Vivien Heck (CSTB)		
Authors Ifsttar and CSTB		
Writers Maurice Armand (UMF), Patrice Beaufort (Capeb), Franck Béchade (expert, ex-Socabat), Sébastien Burlon (Ifsttar), Jean-Vivien Heck (CSTB), Frédéric Henry (AQC), Catherine Jacquard (Fondasol), Jean-Pierre Magnan (Ifsttar), Didier Valem (FFB)		
Publication date July 2017	**Language** French	

Summary

This guide presents a set of recommendations for protecting new buildings from damage due to the presence of clayey or marly soils that are sensitive to shrinkage and swelling. The damage in question affects the structure of the house and can be avoided by limiting the ground deformation or modifying the design of the house by altering the foundations, the wall ties and the layout of building units.

These recommendations are applied in several stages, the first of which is to identify the regulatory texts concerning the plot.

In the absence of regulatory texts, the procedure involves the identification of a risk level related to the environment and the nature and properties of the underlying soil. Each level of risk is linked to a set of recommendations relating to the environment (E) and the structure (S) of the construction.

Environmental recommendations defining general measures that apply in all situations are referred to as type E0. Especially, they deal with the preparation of the subgrade (appropriate earthworks) and the management of water to limit water content variations both during the construction and the life of the structure.

The presence of clayey or marly soils is covered by two different sets of recommendations, E1 and E2. Type E1 recommendations set out to waterproof the soil surface around the building to prevent the underlying soil from becoming dry or moist. When environmental conditions do not allow this, type E2 recommendations aim to mitigate the impact of trees.

Type S0 to S3 structural recommendations are graduated according to the sensitivity of the ground under the construction. They range from simple application of the rules of good practice (S0) to strengthening the foundations and substructures (S3). S1 and S2 involve the increase of the foundation depth and the design rules setting out to achieve horizontal and vertical regularity.

The recommendations in this guide are adequate for a very large number of situations and will greatly reduce the sensitivity of the structure to the shrink-swell behaviour of clayey soils. However, they are not exhaustive and alternative solutions exist, but these require a detailed study of the ground and the structure by specialized consultancies.

Key words

Shrinkage, swelling, clay, execution procedures, structure, foundations.

Number of pages

50

Ce guide expose un ensemble de recommandations à appliquer pour protéger une nouvelle construction des désordres qui peuvent être provoqués par la présence de sols argileux ou marneux sensibles au retrait-gonflement. Ces désordres affectent la structure de la maison mais sont dus au mouvement du sol. Pour les éviter, on peut chercher à limiter les déformations du sol mais aussi à adapter la conception de la maison en jouant sur les fondations, le chaînage des murs et l'agencement des éléments de la construction.

L'application de ces recommandations est décidée en suivant une démarche structurée en étapes, la « stratégie de la construction ». La première étape consiste à rechercher les textes réglementaires qui concernent la parcelle sur laquelle une maison doit être construite et à les appliquer.

En l'absence de textes règlementaires, la démarche s'appuie sur la définition d'un niveau de risques liés à l'environnement de la construction, à la nature et aux propriétés du sol sous la construction. Chaque niveau de risque est associé à un ensemble de recommandations relatives à l'environnement (E) et à la structure (S) de la construction.

Les recommandations E0 sur l'environnement forment un socle de mesures commun à toutes situations. Elles portent notamment sur la préparation du terrain (soin apporté à la plateforme par un terrassement adapté au site) et sur la gestion de l'eau sur le site pour limiter les variations de teneur en eau pendant le chantier et pendant la vie de l'ouvrage, pour les terrains plats et en pente.

Les recommandations E1 et E2 répondent à la présence de sols argileux ou marneux. Lorsque les conditions environnementales sont favorables, les recommandations E1 visent à l'imperméabilisation de la surface du terrain autour de la construction, pour éviter l'assèchement et l'humidification des sols. Lorsque les conditions environnementales sont défavorables, les recommandations E2 ont pour objectif de contrôler l'influence des arbres.

Les recommandations S0 à S3 sur la structure sont graduées en fonction de la sensibilité du sol sous la construction. Elles vont de la simple application des règles de l'art pour S0 à un renforcement des fondations et soubassements pour S3. Les recommandations S1 et S2 correspondent à un encastrement plus profond des fondations et des règles favorisant les conceptions régulières à la fois en plan et en élévation.

Les recommandations présentées dans ce guide répondent à un très grand nombre de situations pour lesquelles leur application sera suffisante pour diminuer très notablement la sensibilité de l'ouvrage au phénomène de retrait-gonflement des sols argileux. Elles ne sont pas exhaustives et des solutions alternatives existent mais nécessitent une étude détaillée du sol et de la structure de la construction par des bureaux d'étude spécialisés.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de la Transition écologique et solidaire

Ministère de la Cohésion des territoires

CSTB
le futur en construction

IFSTTAR

LES COLLECTIONS DE L'IFSTTAR

9 782857 827252

ISSN : 2492-5438
Référence : GTI 4-2
Crédit photo : Ifsttar
Juillet 2017

TECHNIQUES ET MÉTHODES

Retrait et gonflement des argiles

Analyse et traitement des désordres créés par la sécheresse

Guide 3



guide technique

Retrait et gonflement des argiles

Analyse et traitement des désordres créés par la sécheresse

Guide 3

Juillet 2017

IFSTTAR

TECHNIQUES ET MÉTHODES

Ce guide a été élaboré dans le cadre du projet ARGIC2 (Analyse du retrait-gonflement et de ses incidences sur les constructions) financé par la DGPR (Direction générale de la Prévention des Risques) du MTES (Ministère de la Transition écologique et solidaire) et par la DHUP (Direction de l'Habitat, de l'Urbanisme et des Paysages) sous la double tutelle du MTES et du MCT (Ministère de la Cohésion des territoires).

Le groupe de rédaction du guide était constitué des membres suivants :
Jean-Bernard Kazmierczack (Ineris) en charge de la coordination du guide,
Franck Béchade (Socabat),
Sébastien Burlon (Ifsttar),
Catherine Jacquard (Fondasol),
Catherine Labat (CFEC),
Jean-Pierre Magnan (Ifsttar).

Les représentants des ministères en charge du suivi du guide étaient :
Mathieu Blas (DHUP), François Hédou (DGPR) et Cécile Rousseau (DGPR).

L'ensemble des partenaires du projet ARGIC2 comprend :
Armines, AQC, BRGM, Capeb, CFEC, CSTB, FFB, Fondasol, I2M-GCE (université de Bordeaux), Ifsttar, Ineris, Lemta (université de Lorraine), LGCIE (Insa de Lyon), LMSSMat-ECP, LOMC (université du Havre), Socabat et UMF.

Socabat et l'Agence qualité construction (AQC) sont remerciés pour avoir permis l'utilisation de certaines de leurs photos.

Comment citer cet ouvrage :
Ifsttar et Ineris - Retrait et gonflement des argiles - Analyse et traitement des désordres créés par la sécheresse, guide 3. Marne-la-Vallée : Ifsttar, 2017. Techniques et méthodes, GTI 4-3, 58 pages, numéro ISBN 978-2-85782-726-9

Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux - Ifsttar
14-20, boulevard Newton - Cité Descartes - Champs-sur-Marne - 77447 Marne-la-Vallée cedex 2
www.ifsttar.fr
Les collections de l'Ifsttar
techniques et méthodes - guide technique - réf. : GTI 4-3
ISBN 978-2-85782-726-9 – ISSN 2492-5438

En application du code de la propriété intellectuelle, l'Ifsttar interdit toute reproduction intégrale ou partielle du présent ouvrage par quelque procédé que ce soit, sous réserve des exceptions légales.

Cet ouvrage est mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution. Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.
Les termes de cette licence sont accessibles à l'adresse :
http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

Avertissement

La rédaction des trois guides *Retrait et gonflement des argiles* a été lancée en 2011 en relation avec un projet de loi portant réforme du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles (Catnat) afin d'accompagner les professionnels de la construction pour la mise en application du contenu de cette loi concernant le risque retrait-gonflement des argiles. Ces guides établis en 2017 sont à considérer comme des documents utiles à la prévention du risque retrait-gonflement des argiles et ils sont diffusés indépendamment du projet de loi.

Le guide 1 propose une démarche pour définir la sensibilité des sols supports de la construction au phénomène de retrait-gonflement, le guide 2 propose des principes de conception d'une maison individuelle sur un site plus ou moins sensible au retrait-gonflement et le guide 3 traite des techniques de réparation des maisons individuelles suite à des désordres imputables au phénomène de retrait-gonflement. Ces guides sont informatifs. Ils ne sont ni normatifs ni réglementaires.

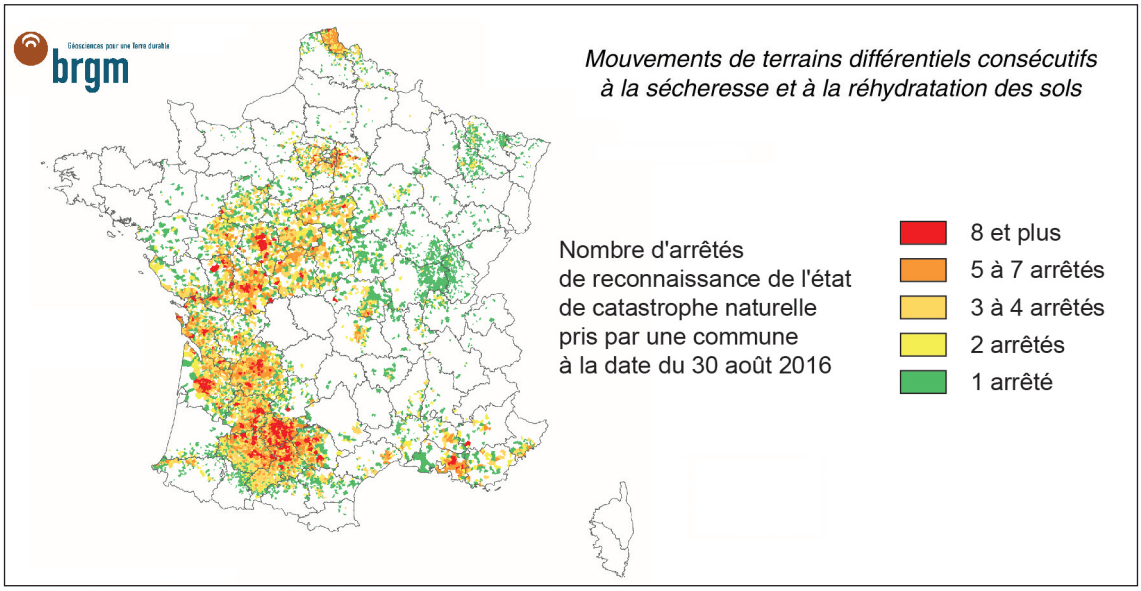
Il est important de souligner que l'application du guide 2 nécessite la connaissance de la sensibilité au risque retrait-gonflement des sols supports du projet de construction. Cette information ne peut être obtenue que par une reconnaissance géotechnique. Ainsi, les informations contenues dans le guide 2 ne doivent pas être considérées comme des dispositions techniques forfaitaires à appliquer sans réserve.

Pour tout projet de construction de maison individuelle, il est essentiel de réaliser une étude géotechnique préalable. Celle-ci doit être adaptée au projet et à son environnement en s'inspirant de la démarche présentée dans le guide 1.

Préambule

Les phénomènes de retrait et de gonflement des sols argileux sont observés depuis longtemps dans les pays au climat sec, où ils sont à l'origine de nombreux désordres causés tant aux bâtiments qu'aux voiries. En France, où les pluies sont plus régulières et les variations saisonnières moins marquées, ces phénomènes n'ont été mis en évidence que plus récemment, en particulier à l'occasion des sécheresses des années 1976, puis 1989 et 1990 et enfin 2003. Les désordres alors observés sur les constructions concernent essentiellement les maisons individuelles. Ils représentent par ailleurs pour les assurances un coût très important. Les régions affectées par ces problèmes sont la Plaine des Flandres, le Bassin parisien, une grande partie de l'Ouest de la France avec notamment le Bassin aquitain, la Provence, la vallée de la Saône entre la Bourgogne et la Franche-Comté ainsi qu'une partie de la Lorraine.

Il est toutefois possible de gérer ces problèmes de retrait-gonflement lors de la construction de la maison ou lors de réparations à entreprendre suite à l'apparition de désordres. Une série de trois guides *Retrait et gonflement des argiles* a donc été élaborée pour présenter les solutions à ces problèmes.



Le guide 1 *Caractériser un site pour la construction* propose une démarche de détermination de la sensibilité au retrait-gonflement d'une parcelle (qui est celle utilisée dans le guide 2). Cette démarche est divisée en cinq étapes, qui comprennent la consultation des informations existantes (cartes, PPR, etc.), une visite du site et éventuellement la réalisation de sondages puis d'essais de laboratoire pour l'identification des sols et pour l'estimation de leur aptitude au retrait-gonflement.

Le guide 2 *Protéger sa maison de la sécheresse* présente les principes de conception d'une maison individuelle sur un site plus ou moins sensible au retrait-gonflement. Ces principes concernent à la fois l'environnement de la maison et notamment la gestion des eaux et la structure de la maison avec des recommandations sur les profondeurs des fondations. Les solutions proposées sont classées en fonction des conditions de sol sous la construction et de conditions environnementales plus ou moins favorables.

Le guide 3 *Analyse et traitement des désordres créés par la sécheresse* traite des techniques de réparation des maisons individuelles suite à des désordres imputables au phénomène de retrait-gonflement. Il aborde plus largement des sujets liés à l'expertise de ce type de sinistre, aux principales méthodes de réparation et aux procédures de prise en charge de ces réparations par les assurances.

Sommaire

Introduction 9

Chapitre 1. Quels désordres peut-on observer sur une maison ? 11
1.1 Pourquoi apparaît-il des désordres sur les maisons ? 11
1.2 Indices et classement des désordres 11
1.3 Description des désordres induits par le retrait-gonflement des argiles 14
1.4 Synthèse des informations 15

Chapitre 2. Comportement structurel d'une maison 17
2.1 Diversité des modes de construction des maisons 17
2.2 Les structures types de maison 18
2.3 Les fondations 18
2.4 Les planchers 21
2.5 Les murs 22
2.6 Les chaînages 22
2.7 Les différents types de joints 23

Chapitre 3. Origines des désordres 25
3.1 Pourquoi chercher les origines de désordres ? 25
3.2 Les désordres dus au retrait-gonflement du sol 25
3.3 Les autres sources de désordres 27

Chapitre 4. Analyse des désordres 31
4.1 La stabilité de la structure est-elle menacée ? 31
4.2 Diagnostic de l'expert 31
4.3 Suivi des déformations 32
4.4 Le mouvement continue-t-il ? 32

Chapitre 5. Traitement et réparation des désordres 33
5.1 Introduction 33
5.2 Les principes d'actions 33
5.3 Limites d'utilisation de ces techniques 43

Chapitre 6. Assurances : coûts et démarches 45
6.1 Quels sont les coûts habituels des travaux de réparation ? 45
6.2 Quand les assurances peuvent-elles prendre en charge le coût des travaux envisagés ? 46

Références 49

Annexe 1
Fiche de synthèse des observations 51

Annexe 2
Mémo chantier agence qualité construction 53

Fiche bibliographique 54

Publication data form 56

Introduction

Les sols, surtout les argiles et les marnes, peuvent être soumis à des mouvements de retrait-gonflement et avoir tendance à gonfler lors des périodes pluvieuses et à se rétracter lors des périodes de sécheresse. Quand ces mouvements du sol ont lieu sous les fondations d'une maison individuelle, ils sont à l'origine de tassements différentiels qui peuvent provoquer des désordres plus ou moins importants sur celle-ci. La structure de la maison et les matériaux qui la constituent peuvent être plus ou moins sensibles à ces mouvements.

Ces désordres se traduisent en général par des fissures, qui peuvent nécessiter la mise au point de solutions de traitement ou de réparation, en fonction de leur évolution dans le temps, de leur importance et de la zone de la maison affectée. Toutefois, toutes les fissures dans une maison ne sont pas dues à des phénomènes de retrait-gonflement. Par ailleurs, les causes du retrait-gonflement des sols ne sont pas uniquement liées à des périodes trop sèches ou trop pluvieuses et d'autres facteurs, comme la végétation ou des défauts d'exécution, interviennent très largement dans les désordres constatés.

La mise au point de solutions de réparation doit alors s'appuyer sur une démarche qui vise notamment à identifier les causes et les évolutions des désordres observés sur la maison.

Afin de détailler cette démarche générale, ce guide aborde successivement les sujets suivants :

- la description des désordres qui peuvent être observés sur une maison ;
- le comportement structurel d'une maison, avec notamment la description des principales parties dont elle est constituée ;
- l'origine des désordres ;
- l'analyse des désordres, pour préciser leur évolution ;
- le traitement des désordres, pour diminuer ou stopper leur évolution ;
- les démarches liées à la prise en charge du coût des désordres.

Il est important de préciser que la démarche présentée dans ce guide ne dispense pas le propriétaire d'une maison de faire appel aux services d'un expert. Elle fournit simplement des éléments permettant de comprendre sa démarche et d'engager, auprès des assurances, les procédures nécessaires au traitement et à la réparation des désordres constatés.

Chapitre 1.
Quels désordres peut-on observer sur une maison ?

1.1 Pourquoi apparaît-il des désordres sur les maisons ?

L'apparition de désordres sur une maison est très commune. En général, les désordres les plus sérieux sont ceux dus aux mouvements des fondations de la maison. Ces mouvements peuvent être imputables à une multitude de phénomènes parmi lesquels le retrait et/ou le gonflement des argiles. Il est donc important de savoir reconnaître les désordres induits par ce phénomène, d'en apprécier l'importance et l'évolution possible afin de choisir la solution de traitement la plus adéquate.

Sur une maison individuelle, les désordres (principalement des fissures) apparaissent du fait de la présence de points de faiblesse qui sont généralement bien connus : les ouvertures (fenêtres et portes), les défauts de liaison des chaînages ou des armatures, les zones où les fondations de la maison changent de configuration (par exemple, la présence d'un sous-sol partiel ou la jonction de redans mal ferraillés) ou encore celles où une extension a été construite.

1.2 Indices et classement des désordres

1.2.1 Les indices de désordres

Les désordres associés à un mouvement des fondations se manifestent en général par l'apparition de fissures sur la maison. La direction et la largeur de celles-ci dépendent du processus qui en est à l'origine (figure 1).

Le tableau 1 synthétise les indicateurs de mouvements de fondations. Ceux associés au retrait-gonflement des argiles induisent des mouvements spécifiques des fondations. Connaître ces mouvements typiques permet d'identifier plus facilement les désordres imputables à ce phénomène particulier.

Néanmoins, les fissures peuvent également être dues à d'autres phénomènes qui sont décrits dans la suite du guide (chapitre 3).



Figure 1
Exemple de cheminement de fissure en escalier
(Source Socabat)

Tableau 1
Indicateurs des mouvements des fondations

Indicateurs communs aux mouvements des fondations	Indicateurs caractéristiques d'un retrait-gonflement du sol
Quelques fissures isolées aux points de faiblesse de la maison (ouverture de porte ou de fenêtre, discontinuité de matériaux).	Les fissures apparaissent apres une période prolongée de sécheresse.
Les fissures apparaissent à l'intérieur et à l'extérieur du mur sur une même zone. Elles suivent un cheminement caractéristique en « dessin d'escalier ».	Les fissures s'ouvrent en été et se referment en hiver.
Les fissures peuvent s'expliquer par un mouvement, d'ensemble de la maison.	Les fissures les plus larges sont situées sur les murs exposés au Sud ou près des arbres.
Les fenêtres et les portes coincent.	Les murs de jardin et les autres structures sur fondations superficielles présentent des désordres evidents.
Le papier peint se froisse dans les coins entre les murs et le plafond et des fissures apparaissent dans les cloisons.	Les fissures affectent des plafonds et des cloisons.
Apparition d'espaces entre les plinthes et le plancher ou les murs.	Les fissures horizontales et avec désaffleur[1] sont parfois caractéristiques de l'influence de la végétation.
Les drains et les tuyaux sont hors d'usage.	Le nivellement précis du dallage ou du plancher sur vide sanitaire présente des zones d'affaissements et de gonflements.
Les murs présentent un défaut de verticalité ou de niveau.	

[1] Désaffleur : écart de planéité visible sous la forme d'un décrochement dans le plan (sur une façade, une poutre, carrelage, etc.)

Pour compléter ce tableau, il convient de signaler qu'il existe une confusion possible avec d'autres origines de fissuration (contraintes thermiques, retrait hydraulique de la maçonnerie, présence de racines, etc.) et que, si la maison répond aux critères de construction parasismique, les indicateurs proposés ci-dessus seront complétés par des fissures horizontales et verticales autour des chainages verticaux et horizontaux.

1.2.2 Le classement des désordres

Les mouvements de fondations induits par le retrait-gonflement des argiles se traduisent par des désordres d'importance variable suivant l'intensité et la fréquence du phénomène qui les génère. Le tableau 2 présente une échelle de classement des dommages de 0 à 5 (0 pour le plus faible à 5 pour le plus important). Ce tableau propose une classification indicative des désordres basée sur des considérations de sécurité. C'est pourquoi une fissure de 1 mm est considérée, par exemple, dans la classe de dommages dits « légers » puisqu'elle ne menace pas la sécurité de l'habitation. Elle doit toutefois être considérée avec sérieux car elle peut résulter de tensions ayant fragilisé la structure.

Il faut retenir que la largeur des fissures est un des facteurs de la détermination de la catégorie de dommages mais ne doit pas être utilisée seule comme mesure directe de gravité.

Des éléments tout aussi importants sont à considérer. Il s'agit :

- de l'évolution des fissures dans le temps ;
- de voir si leur apparition peut être associée à un évènement particulier (travaux à proximité, plantation de végétation, etc.) ;
- de la forme des fissures : en sifflet, en escaliers, rectilignes, etc. ;
- de la cinétique des mouvements.

Tableau 2
Classification indicative des désordres appliquée au retrait-gonflement des argiles

Catégorie de désordres	Classes de dommages	Description des dommages	Ouverture caractéristique des fissures
Désordres architecturaux	0 : négligeables	Microfissures. Fissures qui ne sont normalement pas distinguables des fissures dues au retrait ou aux mouvements thermiques.	< 0,1 mm
	1 : très légers	Fissures isolées et limitées aux murs intérieurs.	< 0,3 mm
	2 : légers	Fissures extérieures avec ou sans répliques intérieures sur les doublages et les cloisons.	≤ 1 mm
Désordres fonctionnels	3 : modérés	Fissures plus importantes nécessitant des réparations. Les tuyaux d'évacuation et d'alimentation d'eau peuvent présenter des pathologies. Les portes et les fenêtres sont gauchies, les plafonds suspendus commencent à se fissurer.	Plusieurs mm
	4 : sérieux	Fissures plus larges, fenêtres et portes endommagées, inclinaison visible des planchers, liaisons mécaniques des chaînages rompues. Conséquences dommageables sur les doublages, les cloisons et surtout les plafonds.	Nombreuses fissures de plusieurs mm
	5 : très sérieux	Structure instable à étayer, inclinaison des structures, fenêtres cassées, risque de ruine de la structure et des équipements comme les plafonds suspendus.	Non applicable au retrait-gonflement des argiles

De ce fait, une fissure de 0,2 mm expertisée en hiver peut être aussi inquiétante qu'une fissure de 2 mm expertisée en été. Généralement, en présence de sols sensibles, les fissures s'agrandissent lors des périodes sèches et se referment lors des périodes humides (figure 2).



Figure 2
Exemple de la même fissure ouverte de 2 mm en fin d'été et de 0,5 mm en fin d'hiver
(Source Socabat)

L'ancienneté des fissures doit aussi être appréhendée. En général, les fissures récentes sont nettes et plutôt propres tandis que les fissures plus anciennes renferment des saletés. Ces éléments peuvent permettre d'identifier dans le cas de mouvements des fondations la zone de la maison qui s'est mise en rotation ou en mouvement.

1.3 Description des désordres induits par le retrait-gonflement des argiles

1.3.1 Mécanisme d'apparition des fissures

Les fissures dues au phénomène de retrait-gonflement des argiles apparaissent en général à la fin d'une période sèche lorsque le sol présente un tassement maximal. Elles évoluent en fonction des conditions climatiques : elles s'agrandissent lors des périodes sèches et peuvent avoir tendance à se refermer lors des périodes humides. Lors de ces cycles, elles peuvent s'agrandir et se propager dans la maison ; les désordres créés sont alors évolutifs.

Ces fissures présentent une forme particulière (figure 3 à figure 5). En effet, lorsque le terrain se rétracte ou gonfle de manière hétérogène sous la maison, les fondations se retrouvent en porte-à-faux. Des efforts supplémentaires apparaissent alors dans la structure de la maison et les fissures vont apparaître là où la maison présente des défauts ou des faiblesses de résistance.

Les zones de faiblesse comme les ouvertures de fenêtres et de portes ou les zones marquées par l'absence de chaînage ou par des défauts d'exécution vont donc être concernées par ces fissures. En fait, sous l'effet du retrait ou du gonflement du terrain, la maison va se « découper » en blocs délimités par des fissures. Les fissures traduisent donc le mouvement d'un bloc par rapport à l'autre.

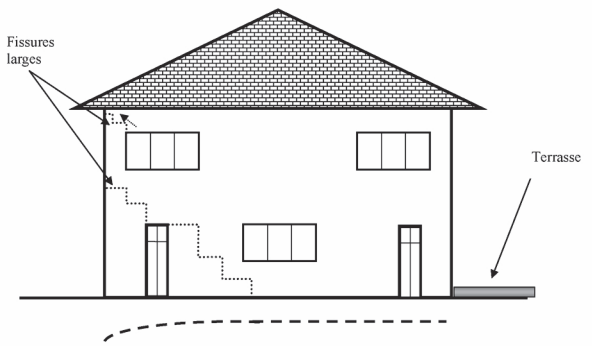


Figure 3
Mode de déformation provoqué par un retrait périphérique du sol sous la maison

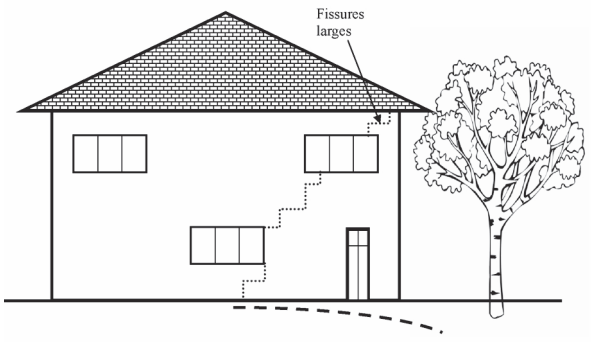


Figure 4
Mode de déformation provoqué par un retrait localisé du sol induit par la présence d'un arbre

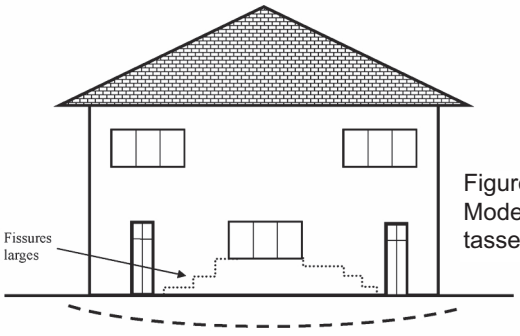


Figure 5
Mode de déformation provoqué par le tassement d'un mur de façade

1.3.2 Les zones affectées de la maison

Les fissures induites par un mouvement des fondations sont en général peu nombreuses mais présentent des largeurs qui peuvent atteindre plusieurs millimètres. Elles affectent à la fois les murs porteurs mais également les éléments de second œuvre (cloisons, plafonds, etc.). Elles peuvent être considérées comme véritablement significatives lorsqu'elles présentent une largeur de quelques millimètres (Tableau 2).

Les mouvements de fondations peuvent aussi avoir des répercussions sur d'autres éléments constitutifs de la maison (blocage de porte ou fenêtre, apparition de contrepente d'une gouttière, etc.). L'examen du papier-peint et des peintures à la jonction entre les cloisons et les murs peut aussi révéler des mouvements de plus faible amplitude.

1.3.3 Les alentours de la maison

D'autres structures peuvent aussi être affectées par les phénomènes de retrait-gonflement. Il est donc instructif d'examiner si l'inclinaison des murets du jardin, des coffrets de raccordement n'a pas été modifiée, si les routes à proximité ne présentent pas de fissures, notamment si elles sont bordées d'arbres, et de manière plus générale de s'intéresser à tout ouvrage qui comporte des fondations superficielles.

1.4 Synthèse des observations

Il est important pour l'expert et pour le propriétaire de la maison de consigner l'ensemble des observations qu'il fait quant aux désordres et à leur évolution (le suivi de l'évolution est traité dans la suite du guide au chapitre 4) (annexe 1).

Le relevé précis des dommages est impératif sur des plans, comme par exemple les plans du permis de construire, avec :

- l'ensemble des dommages intérieurs et extérieurs ;
- l'environnement des constructions : pentes, drains, réseaux de recueil des eaux de pluie, puisards, tranchées techniques d'alimentation d'eau, d'électricité ou de gaz ;
- les dispositions constructives de maîtrise des teneurs en eau : trottoir, terrasse ;
- la végétation : nature des arbres et des haies, distance, hauteur, diamètre des troncs.

Les fissures sont caractérisées par leur longueur, leur ouverture et leur désaffleur. Pour les longues mises en observation, les différentes mesures sont centralisées dans un tableau de suivi avec un numéro de repérage pour chaque fissure sur les plans. La synthèse de ces informations a deux objectifs :

- Le premier est un suivi précis des dommages, ouverture/fermeture des fissures et de leur propagation. La compilation de ces mesures fera référence et ne pourra plus être mise en doute.
- Le second est de contribuer à établir le mode de déformation de la maison et donc de déterminer à terme l'origine des désordres.

Une fiche de synthèse établie à partir de modèles (exemples fournis en annexe) peut alors être établie. Chaque visite doit faire l'objet d'une fiche. Une fois la première visite faite, les suivantes doivent être réalisées avec les fiches précédentes de manière à bien identifier l'évolution des désordres. Lorsque toutes les façades sont schématisées, il est important de les représenter selon un même sens de rotation de manière à bien identifier les fissures qui pourraient être communes à deux façades.

Chapitre 2. Comportement structurel d'une maison

2.1 Diversité des modes de construction des maisons

L'observation des désordres sur une maison permet d'évaluer leur gravité et d'envisager leur origine. Cette phase de diagnostic est plus aisée si l'on connaît la structure de la maison et son fonctionnement mécanique général. L'objectif de ce chapitre est donc de comprendre comment une maison est construite.

Il n'est pas rare que, dans une rue, seules une ou deux maisons soient endommagées par le tassement de retrait du sol. L'explication réside souvent dans des différences des méthodes de construction ou dans une différence de composition des sols.

Les pratiques de construction ont changé significativement au cours du 20e siècle. Par exemple, afin de réduire les coûts et la pénibilité sur les chantiers, les blocs creux ont remplacé la maçonnerie pleine. L'utilisation du béton armé pour les fondations a rigidifié cette partie de l'ouvrage.

Il ne s'agit pas de procéder dans ce chapitre à une description exhaustive des différents éléments structurels d'une maison mais plutôt de se focaliser sur ceux sur lesquels les effets du retrait-gonflement des sols vont avoir un effet sensible. Au préalable, une présentation des structures types de maison est réalisée (figure 6).

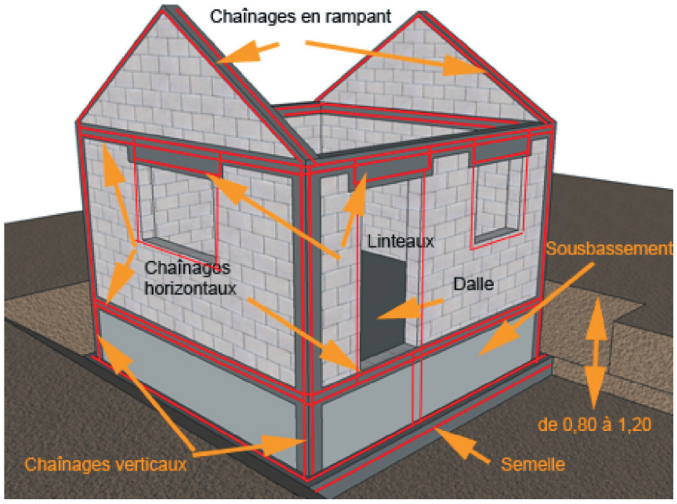


Figure 6
Illustration de la terminologie utilisée dans le guide
(Source ABC maçonnerie, www.abc-maconnerie.com)

2.2 Les structures types de maison

Deux principaux types de construction peuvent être distingués : les structures poteau-poutre et les structures à murs porteurs. Ces deux types de structure vont se comporter de manière sensiblement différente vis-à-vis du retrait-gonflement des terrains.

Les mouvements des fondations transmis aux structures poteau-poutre ne sont en général pas suffisamment importants pour créer des désordres sur l'ossature de la maison. En revanche, les mouvements de flexion ou de distorsion des poutres et des poteaux peuvent être suffisants pour créer des dommages au niveau des murs, du toit ou des cloisons.

Les structures à murs porteurs, qui sont plus courantes, subissent directement les mouvements des fondations. Ce sont donc les murs porteurs qui fissurent en général en premier, à moins qu'ils soient suffisamment chaînés auquel cas, comme pour les structures poteau-poutre, ce sont les cloisons et les murs non porteurs qui subissent des désordres.

2.3 Les fondations

Différents types de fondations existent. Il s'agit :

- des fondations superficielles, semelles isolées ou filantes (les plus courantes) ;
- des fondations profondes : sur pieux ou sur puits ou plots ;
- des radiers ;
- des dallages.

En France, les fondations pour les bâtiments légers de faible hauteur sont en général superficielles. Leurs règles de conception et de réalisation sont définies par la norme NF P 94-261 (qui décline l'Eurocode 7 en France) pour le dimensionnement, le document techique unifié 13.11 (Fondations superficielles - NF document techique unifié P11-211) pour l'exécution et le document techique unifié 13.12 (NF P11-711) pour les règles de calcul des fondations superficielles. Pour les maisons anciennes, la conception et l'exécution des fondations obéissent en général à des règles traduisant les bonnes habitudes de construction, qui ont d'ailleurs pour la plupart servi à l'élaboration des normes de dimensionnement et d'exécution actuelles.

Dans certains cas particuliers, des fondations profondes sont nécessaires. C'est alors le document techique unifié 13.2 (NF document techique unifié P11-212) qui sert de référence. On pourra également se reporter à la norme NF P 94-262 pour le dimensionnement.

Pour une construction existante, il est demandé, en cas de travaux, de veiller à ne pas aggraver la vulnérabilité du bâtiment au séisme et, en cas de travaux impactant significativement la structure (article 3 de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié), de respecter l'Eurocode 8 ou les règles PSMI 89 avec des exigences spécifiques.

Pour plus d'informations sur les règles parasismiques applicables aux maisons individuelles, consulter les sites :

- www.developpement-durable.gouv.fr/-catastrophes-et-risques-naturels-.html ;
- www.planseisme.fr.

2.3.1 Fondations superficielles

Les fondations superficielles sont de deux types. Il y a d'une part les semelles isolées qui, comme leur nom l'indique, sont séparées les unes des autres (elles peuvent être reliées par des longrines) et, d'autre part, les fondations continues, dites semelles filantes (figure 7). Cette seconde catégorie est beaucoup plus efficace contre les mouvements du sol car en cas de zone d'appui « affectée par le retrait », les parties adjacentes peuvent reprendre une partie des efforts.

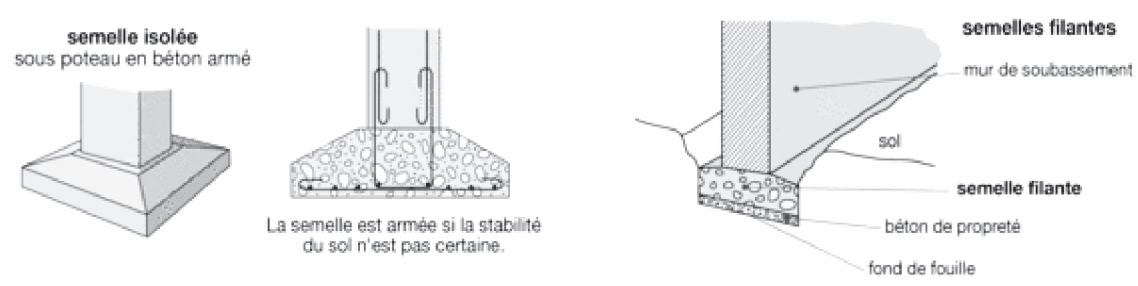


Figure 7
Illustration d'une semelle isolée et d'une semelle filante (Source AQC)

Le mode de construction des fondations filantes a évolué au cours du temps. Deux types principaux de fondations peuvent être rencontrés : les fondations en maçonnerie construites surtout au 19e siècle et pendant la première moitié du 20e siècle et les fondations en béton armé ou non qui aujourd'hui constituent l'essentiel du marché.

Dans le cas de fondations en maçonnerie, le mur et la fondation forment généralement un même ensemble. La base de la fondation peut être élargie par rapport au mur de manière à pouvoir répartir de manière homogène les charges transmises par la maison au sol support (figure 8). La largeur de la fondation diminue progressivement par encorbellements successifs jusqu'à présenter la même largeur que le mur de la maison. La profondeur de la base de ces fondations peut être variable suivant le poids de la maison supportée et la nature du terrain. En général, elle se situe vers 0,5 m de profondeur, sauf quand la mauvaise qualité du sol a nécessité un approfondissement. Elle présente une souplesse relativement importante, ce qui lui permet de s'adapter aux mouvements générés par le retrait-gonflement du sol.

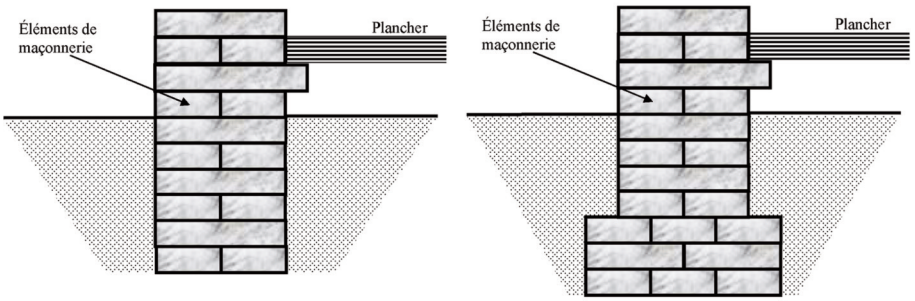


Figure 8
Fondation en maçonnerie (semelle filante ou isolée)

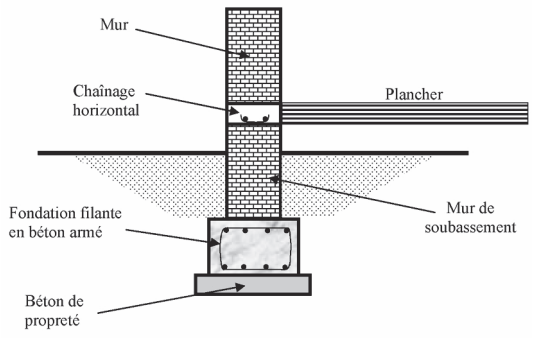


Figure 9
Fondation filante en béton armé

Au cours du temps cette technique a évolué, tout d'abord en posant au niveau du fond de fouille la maçonnerie sur un béton de propreté. Les éléments de maçonnerie sous le niveau de terrain ont ensuite été remplacés par du béton armé plus résistant et permettant de limiter les volumes de déblai à évacuer (figure 9).

Dans le même temps, la largeur de la fondation a été réduite à environ 50 cm. Ce type de fondations présente donc une rigidité plus importante mais a perdu en capacité d'adaptation aux mouvements du sol. La profondeur de ces fondations a peu évolué puisque le DTU 13.12 recommande des valeurs comprises entre 0.5 et 1 m de profondeur en signalant toutefois que la présence de sols argileux, donc sensibles au phénomène de retrait-gonflement, peut conduire à augmenter cette valeur. Il est à noter que ces valeurs sont imposées par la prise en compte du gel (profondeur hors-gel). Ce type de fondations peut éventuellement être mis en œuvre à des profondeurs plus importantes, de l'ordre de 2 à 3 m, lorsque le terrain le nécessite.

Au cours des cent dernières années, les fondations sont devenues progressivement plus profondes, plus résistantes et plus rigides. Ces changements présentent à la fois des avantages et des inconvénients. Les avantages sont que, parce que les fondations sont plus profondes, les variations de teneur en eau des sols supports sont plus atténuées qu'en surface et que, parce qu'elles sont plus résistantes, elles tendent à répartir les effets des mouvements du sol sur de plus grandes surfaces, en réduisant la distorsion. L'inconvénient est que, en cas de tassement ou de gonflement excessif, les fondations tendent à se fissurer en un point, en concentrant le mouvement sur une courte longueur de mur et en produisant des désordres plus sévères dans la maison.

2.3.2 Les fondations profondes

Ce type de fondation devient nécessaire quand la construction de fondations filantes à des profondeurs supérieures à 1,5 m s'impose (figure 10). Les coûts d'excavation des terrains, d'évacuation des déblais et des volumes de béton à couler deviennent alors prohibitifs. Par conséquent, lorsque des profondeurs de fondation de plusieurs mètres sont requises, il est souvent plus économique de construire des puits isolés ou de réaliser des pieux. Les massifs en tête des pieux ou des puits seront reliés par une poutre en béton armé (une longrine) qui supporte les murs. Ce type de fondations met en principe à l'abri la maison de tout mouvement du sol du au retrait-gonflement des argiles.

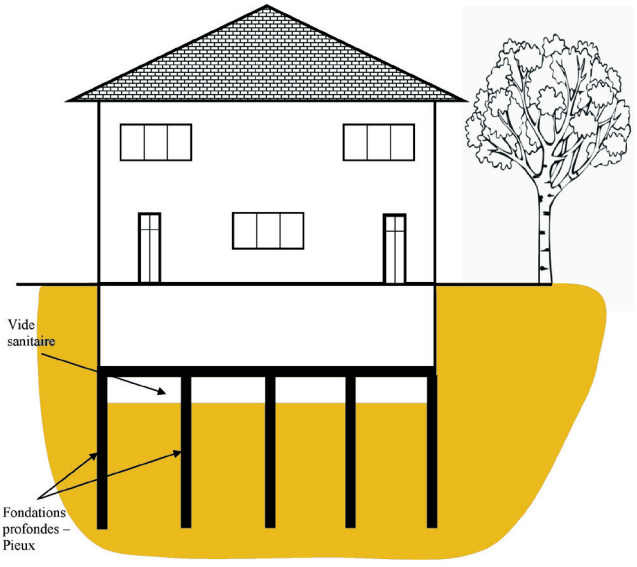


Figure 10
Fondation profonde sur pieux

2.3.3 Les radiers

Une autre forme de fondation utilisée pour les bâtiments de faible hauteur est le radier, constitué d'une dalle de béton armé couvrant toute la surface du bâtiment. Le radier, qui est souvent construit sur un lit de pierres concassées, répartit les charges de la fondation et peut contribuer à réduire la distorsion de la maçonnerie du fait du mouvement différentiel du sol. Les radiers sont pour cette raison utilisés communément sur les sols mous et les remblais ou dans les zones d'affaissements miniers. Toutefois, leur application pour la construction sur les argiles sujettes au retrait-gonflement est limitée. Un radier est plus onéreux que des constructions conventionnelles utilisant des fondations filantes même profondes. De ce fait, les radiers sont peu utilisés en pratique pour les maisons individuelles.

2.3.4 Les dallages

Selon le DTU 13.3 (NF P 11-213-3) conception, calcul et exécution - Partie 3 : cahier des clauses techniques des dallages de maisons individuelles, un dallage est un ouvrage en béton de grandes dimensions par rapport à son épaisseur, éventuellement découpé par des joints. Il repose uniformément sur la couche de forme, éventuellement par l'intermédiaire d'une interface. Le dallage peut intégrer une couche d'usure ou recevoir un revêtement (figure 11).

La couche de forme est constituée de sable, de granulats concassés, de tout-venant ou d'une grave ciment sur une épaisseur H1 de 100 à 300 mm selon les charges à transmettre. Celle-ci est compactée de manière à obtenir une plate-forme stable, apte à recevoir le corps du dallage.

Couche d'usure : il s'agit des procédés constitués d'un mélange granulats durcisseurs, de ciment, d'additifs ou d'adjuvants destinés à être incorporés au béton frais de façon à lui conférer certaines propriétés de résistance, mécanique, d'esthétique ou de planéité.

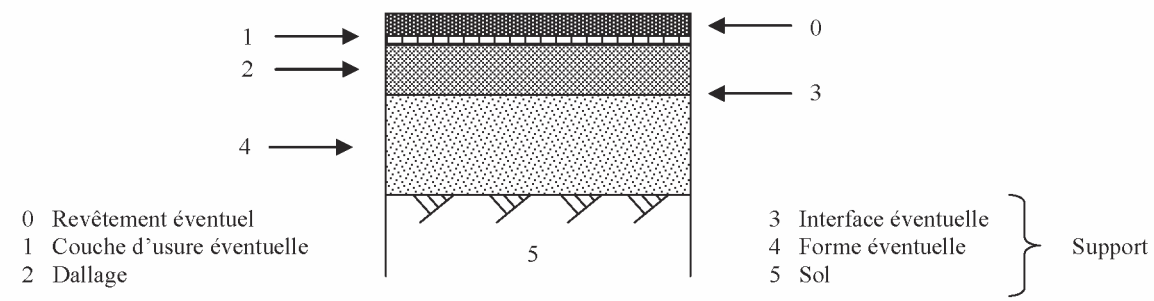


Figure 11
Constitution d'un dallage (Source DTU 13.3)

2.4 Les planchers

La construction du plancher a aussi changé au cours du 20e siècle. Les planchers du rez-de-chaussée les plus anciens sont usuellement construits en bois et appuyés sur les fondations et des murs intermédiaires. Ce plancher autoportant ménage un vide sanitaire qui est parfois approfondi sous une partie de la maison pour créer une cave. Avec l'avènement du béton comme matériau de construction, le plancher bois a été largement remplacé par une dalle en béton (voir dallages au 2.3.4).

Il est donc devenu de plus en plus courant d'utiliser une dalle béton armé, qui peut être attachée aux fondations. Ce type de plancher comporte des poutrelles de béton armé ou précontraint, dont les intervalles sont remplis de blocs de béton ou de polystyrène (système connu sous le nom de « poutrelles - hourdis » - figure 12) ou en coulant une dalle pleine avec 2 nappes de treillis soudé sur un coffrage breveté formant des vides.

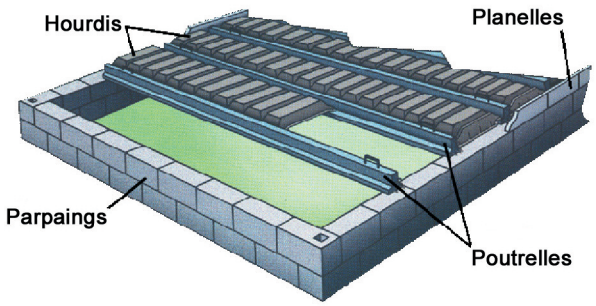


Figure 12
Illustration du système par poutrelles et hourdis
(Source Construire avec demeures du Nord, www.construire-avec-ddn.com)

2.5 Les murs

Les murs, généralement réalisés en maçonnerie, peuvent avoir des natures très différentes suivant leur rôle dans la maison. Il est d'usage de distinguer :

- les maçonneries porteuses ;
- les maçonneries de remplissage ;
- les maçonneries de façade non porteuse ou en doublage ;
- les maçonneries de cloisonnement.

Il est important de repérer la fonction d'un mur dans une maison afin de savoir si les désordres qui s'y développent peuvent avoir uniquement des conséquences esthétiques ou, au contraire, mettre en danger la stabilité complète de la maison.

2.6 Les chaînages

Les chaînages en béton sont armés de barres d'acier de quelques millimètres d'épaisseur destinées à rigidifier la maison. Il est en général complexe de les identifier une fois la maison construite. Ils sont disposés verticalement en général aux angles de la maison et quelquefois au milieu des murs de façade si la maison présente des dimensions importantes. Ils sont aussi disposés horizontalement au niveau de chaque plancher y compris celui du rez-de-chaussée. Une attention particulière doit être apportée aux liaisons entre les chaînages verticaux et horizontaux, aux attentes des chaînages verticaux avec les ferraillages de semelles.

Les chaînages sont très efficaces pour limiter les effets du retrait-gonflement des argiles. De ce fait, les maisons individuelles situées en zones sismiques 2 et 3 et, construites dans le respect des règles forfaitaires de la norme NF P 06-013 sont susceptibles de mieux résister aux phénomènes de retrait-gonflement des argiles que les constructions « classiques ».

2.7 Les différents types de joints

Les constructions de dallages nécessitent la réalisation de différents types de joints. En maisons individuelles, les dallages désolidarisés des blocs de fondations sont une cause de sinistres de tassement différentiel récurrents. Des vides sous plinthes apparaissent. Les joints de rupture sont préconisés dès qu'il y a risque de mouvement différentiel entre deux structures. Ce joint assure l'indépendance complète des deux structures. Les fondations sont aussi désolidarisées (exemple : garage en RDC / maison en R + 1).

Les joints de dilatation permettent également de désolidariser deux structures (par exemple, la maison et le garage) de manière à ce que les dilatations induites par les variations de température ne génèrent pas de dommages. Leur absence peut générer des dommages sévères.

Les joints de retrait permettent de gérer les phénomènes de retrait du béton lors de sa prise.

Les joints parasismiques ont pour but d'éviter tout entrechoquement entre les corps de bâtiment qu'ils séparent. Un joint parasismique est un espace vide de tout matériau, présent sur toute la hauteur de la superstructure des bâtiments ou parties de bâtiments qu'ils séparent. Ses dimensions sont calculées en fonction des déformations possibles des constructions avec des valeurs minimales réglementaires (règles de type PS-MI) de façon à permettre le déplacement des blocs voisins sans aucune interaction.

Chapitre 3.
Origines des désordres

3.1 Pourquoi chercher les origines de désordres ?

Les causes de désordres sur une maison peuvent être liées à une multitude de facteurs, qui peuvent être concomitants (retrait-gonflement des sols mais également des défauts de conception, de construction ou d'autres phénomènes comme les vibrations ou les dilatations thermiques). L'analyse des conséquences, c'est-à-dire des fissures, n'est pas toujours suffisante pour mettre en évidence la ou les origines du problème. Il peut alors être nécessaire de procéder à une analyse systématique de l'ensemble des causes de désordres susceptibles d'intervenir sur une maison. Il est alors possible, à partir de cette analyse, d'établir un projet de traitement ou de réparation des désordres ou tout simplement de les laisser évoluer si aucun risque supplémentaire n'est à craindre.

3.2 Les désordres dus au retrait-gonflement du sol

3.2.1 Le comportement des sols vis à vis de l'eau

Les sols contiennent toujours une certaine quantité d'eau. Celle-ci n'est pas toujours visible car elle est piégée entre les différents grains (la mesure de la taille de ces grains s'appelle la granulométrie) qui constituent le sol et qui dans certains cas peuvent avoir des tailles microscopiques. Si la taille de ces grains est petite (< 2 µm), on parle de sols argileux, si elle est supérieure à 60 à 80 µm on parle de sols sableux. Pour des grains de tailles intermédiaires, on parle de limons. Suivant la proportion des grains de différentes tailles, on parle de sables limoneux ou argileux ou d'argiles limoneuses ou sableuses. La quantité d'eau contenue dans un sol varie suivant la nature de celui-ci : pour des sols argileux, elle peut atteindre 40 à 50 % du volume, pour un sol sableux, elle représente moins de 25 % du volume.

Selon leur nature et leur structure, les sols présentent une sensibilité plus ou moins importante à l'eau. Les sols sableux ne sont pas sensibles à la variation de la quantité d'eau qu'ils renferment. Les sols argileux y sont en revanche plus sensibles, du fait de la nature minéralogique des particules qui les composent.

Les sols argileux ont un comportement vis-à-vis de l'eau proche de celui d'une éponge. Lorsqu'ils sont secs ou qu'ils renferment une très faible quantité d'eau et qu'ils sont mis en contact avec de l'eau, ils augmentent de volume en absorbant l'eau et deviennent en général plus déformables. Inversement, ils diminuent de volume lorsqu'ils sèchent et deviennent moins déformables. Ces comportements sont liés à des phénomènes physico-chimiques à l'intérieur des feuillets argileux, ou physiques comme la succion ou la capillarité entre particules.

En pratique, l'argile d'un sol peut donc se rétracter ou augmenter de volume quand la quantité d'eau diminue ou augmente dans le terrain. Sous une maison (peu d'évaporation) et à proximité, les sols ont donc des comportements différents qui influencent la manière dont la maison peut se déformer. Les figures 3 à 5 montrent ces différents modes de déformation.

Au cours de la vie d'une maison, dès sa construction (annexe 2) et pendant les décennies qui suivent son achèvement, la quantité d'eau dans le sol située sous la maison ou à proximité peut varier sous l'effet de plusieurs phénomènes :

- Lors d'épisodes pluvieux, la quantité d'eau dans le sol augmente si ce dernier est suffisamment perméable et que l'eau peut s'y infiltrer.
- Lors de la construction d'un bâtiment, une mauvaise gestion du chantier peut entraîner une concentration d'eau au niveau de la plateforme ou des fondations (figure 13).
- Une mauvaise gestion des eaux pluviales (figure 14) ou un mauvais entretien des conduites d'eau ou des puisards peut conduire à des fuites puis au déversement dans le sol à proximité immédiate ou sous la maison de quantités d'eau non négligeables.
- Lors d'une période de sécheresse, la quantité d'eau dans le sol diminue par évaporation sous l'effet de la chaleur.
- Près d'arbres, les racines de ces derniers sont susceptibles de pomper dans le sol des quantités d'eau très importantes. Les racines sont un formidable accélérateur du retrait des sols argileux.
- La mise en place de systèmes de pompage dans le sol contribue de manière évidente à une diminution de la quantité d'eau dans le terrain.

Pendant et après la construction d'une maison, il est donc important dans le cas de sols argileux de maîtriser la teneur en eau des sols sous la maison et à son voisinage.



Figure 13
Défaut de gestion des eaux pluviales en phase de construction
(Source Socabat)

3.2.2 Présence de la végétation ou d'autres systèmes de pompage

Si des arbres sont plantés ou existent à proximité de la maison (distance inférieure à la taille adulte de l'arbre), leurs racines vont pomper l'eau contenue dans le sol provoquant des mouvements différentiels (figure 15). Comme ces tassements ne sont pas homogènes, des désordres vont apparaître sur la maison. Les arbres ont un pouvoir d'absorption d'eau très important (500 litres d'eau par jour pour un chêne adulte, par exemple) qui peut entraîner des diminutions impressionnantes de la quantité d'eau contenue dans le sol.

Par ailleurs, leurs racines, situées en général dans les deux premiers mètres de terrain, sont susceptibles de se développer sur des longueurs bien supérieures à leur hauteur. Enfin, les racines d'un arbre ont la capacité de détecter les zones vers lesquelles la quantité d'eau contenue dans le sol est plus importante. En général, les racines cherchent donc à atteindre les zones de terrain situées sous la maison où se trouvent les dernières réserves d'eau disponibles. La présence d'un arbre à proximité de la maison, même si elle constitue un aspect esthétique et agréable, est donc un véritable risque pour la durabilité de celle-ci.

L'existence de systèmes de pompage dans un jardin peut provoquer le même phénomène que celui causé par des arbres. L'abaissement du niveau de la nappe risque de provoquer à terme un tassement plus ou moins important du terrain. Les fondations de la maison peuvent alors subir des tassements différentiels, qui vont à leur tour provoquer des fissures ou d'autres types de désordres.



Figure 14
Défaut de gestion des eaux pluviales
(Source Socabat)



Figure 15
Fissures traitées provoquées par la présence d'un arbre
(Source Socabat)

3.3 Les autres sources de désordres

Les désordres constatés sur une maison ne sont pas nécessairement liés à des variations de la quantité d'eau dans le sol. Les autres sources de désordres sont nombreuses et, parmi celles que l'on attribue généralement à tort au retrait-gonflement, on trouve :

- des sols hétérogènes ;
- des pentes ;
- des défauts de conception ;
- des défauts de construction ;
- les vibrations ;
- les tranchées ou terrassements à proximité d'une maison ;
- les effets du gel et de la température.

Les désordres peuvent également résulter d'une combinaison de ces différentes sources.

3.3.1 Hétérogénéité de l'assise de la maison

La présence d'un sol hétérogène peut être la cause de dommages sur une maison. En effet, une maison reporte sa masse sur le sol par l'intermédiaire des fondations. Celles-ci répartissent sous forme de pressions la masse de la maison. Si le sol ne présente pas la même consistance, il est possible qu'il ne se déforme pas de la même façon sous l'effet des pressions transmises par les fondations. Des tassements différentiels apparaissent et imposent à la maison des déformations plus ou moins sévères. Cette situation est relativement courante quand la maison est construite pour une partie sur des terrains rapportés et pour l'autre partie sur des terrains naturels en place (ce qui est d'ailleurs proscrit par les règles de l'art).

3.3.2 Les pentes

La construction d'une maison sur une pente nécessite des aménagements spécifiques. En effet, les terrains situés dans des pentes ont toujours une légère tendance à se déplacer vers le bas de celle-ci : on parle de phénomène de reptation. Le terrain a tendance à emporter les fondations de la maison et à provoquer des désordres sur celles-ci. Cette configuration nécessite donc l'ancrage des fondations amont et aval dans des terrains homogènes via des fondations renforcées, avec des redans correctement ferraillés.

3.3.3 Les défauts de conception

Les défauts de conception sur une maison sont en général peu nombreux. En effet, la conception d'une maison ne nécessite pas un dimensionnement comme pour un ouvrage de génie civil ou un bâtiment. À défaut d'étude de sol, pourtant vivement conseillée, les règles de l'art sont appliquées (voir le guide 2 et le site internet de l'Agence Qualité Construction - www.qualiteconstruction.com).

Ces règles permettent d'éviter les principaux défauts de conception énumérés ci-après :

- ancrage insuffisant des semelles de fondation ;
- fondations hétérogènes, par exemple avec la présence d'un sous-sol partiel ;
- problème de dessouchage ;
- fouille à proximité des fondations canalisant des eaux souterraines, ou réalisée sans blindage occasionnant un tassement ;
- terrain en pente, plateforme en déblai avec les fondations amont et aval non ancrées dans la même couche de sol ;
- sous-sol partiel sans ossature renforcée et désolidarisée ;
- ferraillages insuffisants ;
- dallage réalisé sur terre-plein en lieu et place d'un plancher sur vide sanitaire.



3.3.4 Les défauts d'exécution

Les défauts de construction sont quant à eux plus fréquents. Ils se manifestent lors du chantier par une mauvaise gestion des eaux pluviales, comme cela a été évoqué précédemment ou par une mauvaise mise en place des ferraillages (figure 16). Ces ferraillages contribuent à rigidifier la maison. Les défauts les plus courants concernant les ferraillages sont leur mise en place au contact direct du terrain ou le manque d'acier de liaison.

Figure 16
Mauvaise mise en place des ferraillages (défaut de recouvrement, de liens entre ferraillages, attente de liaisons des poteaux). (Source Socabat)

3.3.5 Les vibrations

Les vibrations induites par la circulation routière, par le passage de trains ou par toute sorte de sources vibratoires peut constituer une cause de dommages pour une maison. Ces vibrations se propagent dans le sol et atteignent la maison. Suivant l'intensité de ces vibrations, leur répétition dans le temps et la solidité de la maison, des fissures peuvent apparaître. Seules des mesures de vibrations permettent de s'assurer que les seuils définis par différentes recommandations sont respectées.

3.3.6 Les tranchées ou terrassements à proximité d'une maison

Les tranchées (ou les terrassements) réalisées à proximité immédiate d'une maison perturbent le transfert du poids de l'habitation vers le sol si l'excavation intercepte le bulbe de report des efforts (figure 17). Il se crée alors un phénomène d'appel au vide qui tend à attirer la fondation vers la tranchée, générant ainsi un déplacement néfaste. Ceci doit impérativement être évité.

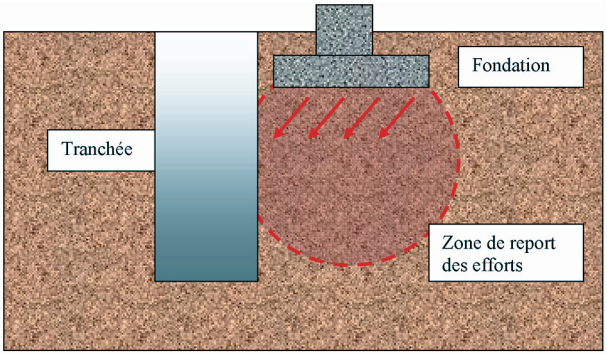


Figure 17
Impact d'une tranchée à proximité d'une fondation

3.3.7 Effets du gel et de la température

Le gel et les variations thermiques constituent aussi des causes de mouvement de la maison. Néanmoins, dans de très nombreux cas, les désordres qu'ils engendrent sont de relativement faible ampleur et ne peuvent pas être assimilés à ceux provoqués par le retrait-gonflement des argiles.

Chapitre 4.
Analyse des désordres

Les désordres sont généralement constatés et analysés par un expert. Dans la grande majorité des cas, cet expert est désigné par l'assureur concerné par la réparation et l'indemnisation des dommages.

4.1 La stabilité de la structure est-elle menacée ?

Dès que des fissures sur une maison paraissent préoccupantes (à cet égard, les indications des tableaux 1 et 2 du chapitre 1 peuvent être utiles), il convient de procéder à une expertise technique pour déterminer la gravité et l'origine de ces fissures.

L'expert s'attachera à déterminer si ces fissures :

- compromettent la stabilité de la maison ;
- s'accompagnent d'une déformation excessive de la structure ;
- ou si, par ailleurs, elles affectent les murs extérieurs dans leur fonction de paroi destinée à préserver le clos de l'ouvrage.

Dans les cas les plus graves, l'expert peut être amené à préconiser des mesures conservatoires, comme par exemple la mise en place d'étais pour soutenir la structure. Dans d'autres cas, si les fissures sont à l'origine d'infiltrations d'eau ou d'entrées d'air excessives, des traitements appropriés pourront être prescrits ; cela peut notamment se traduire par la mise en œuvre d'un calfeutrement des fissures de façade sur les parois les plus exposées aux agents atmosphériques (pluie, vent).

4.2 Diagnostic de l'expert

L'expert s'attachera dans un premier temps à effectuer un relevé des fissures : localisation, amplitude, direction, forme, longueur, traversante ou non, etc.

Dans un deuxième temps, l'expert essayera de déterminer :

- le calendrier et les conditions de réalisation des travaux, et plus particulièrement des terrassements et des fondations ;
- dans quelles circonstances sont apparues les premières fissures : pendant le chantier ? immédiatement après le chantier ? plusieurs années après ? pendant une période estivale ou de sécheresse ? pendant une période pluvieuse ? suite à une modification de la végétation ? à des travaux dans le voisinage ?
- si ces fissures ont évolué dans le temps : aggravation régulière et continue ? cycle d'ouverture et fermeture ? en corrélation avec les cycles saisonniers ? stabilisation en cours ou non ? ouverture l'été ?
- le cas échéant, si des pavillons du voisinage présentent le même type de fissuration.

Pour préciser son diagnostic, l'expert prendra en considération d'autres paramètres qui ne sont pas obligatoirement en relation avec la sécheresse mais peuvent expliquer les fissures :

- hétérogénéité du sol d'assise des fondations (poche de remblais, ancienne carrière remblayée, présence d'éperons rocheux, etc.) ;
- stabilité de pente et de talus (glissement de terrain, phénomène de reptation, cavités naturelles ou artificielles, etc.) ;
- conception architecturale (sous-sol partiel, étage partiel, conservation d'une végétation trop proche, dallage sur terre-plein, etc.) ;

- défaut d'exécution (manque de ferraillage au niveau des semelles ou des chaînages, mauvaise mise en place des armatures ou mauvais liaisonnement entre armatures, etc.) ;
- phénomènes alternés de retrait / dilatation de la maçonnerie en fonction des variations de température et d'humidité ;
- vibrations : circulation routière, passage de trains, chantier voisin, etc.

En fonction de ces premières investigations, l'expert se prononcera sur la nécessité ou non de mettre en place un dispositif de suivi des fissures, qui permettra d'observer leur évolution sur une période de plusieurs cycles de saisons. L'expert peut également être amené à confier une mission particulière à un bureau d'études géotechniques (nature et succession des couches de terrain, variation de l'humidité dans le sol, essais de laboratoire pour caractériser le comportement des couches les plus sensibles, étude de stabilité, circulation d'eau, etc.) pour disposer de données complémentaires.

4.3 Suivi des déformations

Le cas échant, l'expert préconisera la mise en place de témoins en plâtre, de jauges à vernier, de relevé de niveaux à effectuer par un géomètre, etc. (figure 18).

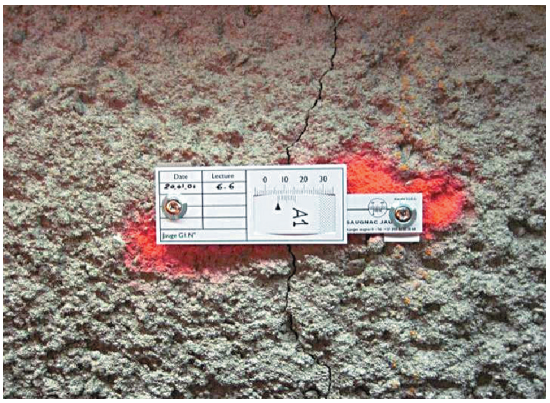


Figure 18
Exemple de jauge à vernier mesurant l'ouverture d'une fissure
(Source Socabat)

Plusieurs relevés doivent être faits à intervalles réguliers ou à des périodes caractéristiques. Pour conforter le diagnostic de l'expert, ces relevés doivent permettre de connaître l'évolution des fissures dans le temps :

- soit une aggravation ;
- soit une évolution vers la stabilisation ;
- indépendamment de toute notion d'aggravation ou de stabilisation, comportement cyclique des fissures (ouverture ou fermeture au gré des saisons).

4.4 Le mouvement continue-t-il ?

Si les constatations de l'expert montrent que les fissures sont quasiment stabilisées, qu'il s'agisse de constatations sur place ou d'une observation sur plusieurs saisons, des travaux peuvent être entrepris sans attendre. Ils pourront se limiter au traitement des fissures et de leurs conséquences sans nécessité de conforter l'ouvrage. Dans certains cas où les fissures sont jugées sans gravité, il peut même être décidé de les laisser en l'état.

S'il apparaît en revanche une évolution significative des fissures (allongement des fissures, variations de l'ouverture des fissures, apparition de nouvelles fissures), l'expert devra s'attacher à en déterminer la ou les causes techniques et proposer des solutions de réparation.

Chapitre 5.
Traitement et réparation des désordres

5.1 Introduction

Lorsque l'analyse des désordres a permis de caractériser l'ampleur des dommages (localisation, taille, orientation), d'en identifier l'origine et les mécanismes en jeu (défauts de conception ou de construction, fuites, végétation) et d'évaluer leur potentialité d'évolution (stabilisation des phénomènes ou non), il devient alors possible d'envisager de traiter et de réparer l'habitation concernée.

Le travail d'analyse des dommages, qui doit s'appuyer sur une expertise (voir chapitre 4), permet de déterminer les zones de l'habitation impactées et de définir les principes d'actions à mettre en œuvre. Au nombre de quatre, ces principes concernent l'environnement proche de l'habitation, le sol lui-même, les fondations (zone de contact entre le sol et l'habitation) et enfin la structure de l'habitation. De nombreuses techniques plus ou moins lourdes en termes de mise en œuvre et de coût de réalisation existent. Dans tous les cas, l'intervention de spécialistes (bureau d'études et/ou maître d'œuvre) assurant la conception et la direction des travaux est requise.

5.2 Les principes d'actions

S'il est confirmé que les fondations ont bougé et que la poursuite du mouvement est vraisemblable, une décision doit être prise sur la façon de prévenir les dommages ultérieurs. Une solution consiste à reprendre les fondations en sous-œuvre. Cependant, la reprise en sous-œuvre est une solution relativement brutale et souvent onéreuse et il convient d'explorer d'abord d'autres options telles que : réduire l'influence de l'environnement comme celle de la végétation proche ou d'un regard fuyard, stabiliser le sol ou encore renforcer la structure.

Les trois types d'actions généralement préconisées et mises en œuvre sur des constructions légères endommagées par l'effet de la sécheresse et de la réhydratation des sols sont regroupés dans le tableau 3, qui renvoie aux parties correspondantes du présent guide.

Tableau 3
Synthèse des techniques disponibles

Principes	Techniques correspondantes	Partie
5.2.1 Agir sur l'environnement proche de l'habitation	Retirer des arbres	5.2.1.1
	Élaguer des arbres	5.2.1.2
	Couper des racines	5.2.1.3
	Poser des barrières anti-racines	5.2.1.4
	Collecter et évacuer les eaux de toiture	5.2.1.5
	Vérifier l'étanchéité des réseaux	5.2.1.6
	Poser un écran horizontal imperméable en périphérie des murs extérieurs	5.2.1.7
	Réaliser un drainage périphérique	5.2.1.8
5.2.2 Agir sur les fondations	Réaliser une reprise en sous-œuvre pour approfondir le niveau de fondation par des :	
	- plots jointifs réalisés par phases alternées ;	5.2.2.1
	- plots discontinus reliés ou non par une longrine ;	5.2.2.2
	- minipieux ou micropieux ;	5.2.2.3
	- injections sous fondations.	5.2.2.4
	Dispositions constructives propres à limiter l'effet du retrait-gonflement sur les structures	5.2.2.5
	Reprise en sous-œuvre partielle	5.2.2.6
	Travaux spécifiques aux dallages	5.2.2.7
5.2.3 Agir sur la structure de l'habitation	Renforcement par chaînage	5.2.3.1
	Rigidifier la structure	5.2.3.2
	Réaliser des joints de rupture	5.2.3.3
	Réparer les fissures	5.2.3.4

5.2.1 Actions sur l'environnement proche de l'habitation

Les premières actions à envisager concernent le maintien du niveau d'humidité dans l'environnement proche de l'habitation, en agissant par exemple sur les réseaux existants ou les systèmes de drainage. Lorsque le soulèvement du sol a été provoqué par l'enlèvement d'arbres, il est très difficile d'empêcher le processus de gonflement d'aller jusqu'à sa fin. Lorsque le retrait a été amplifié par les arbres, l'une des techniques suivantes peut réduire leur influence et constituer un remède très efficace sur le plan économique.

5.2.1.1 Retirer des arbres

L'enlèvement de tous les arbres (sur une distance autour de l'habitation de l'ordre de 1,5 fois à 2 fois la hauteur de l'arbre) aura l'effet le plus important et le plus immédiat sur le niveau de dessiccation du sol.

Dans la plupart des cas, il n'y a pas d'avantage à réduire par étapes la dimension de l'arbre plutôt que de l'abattre en une seule fois. Le temps pris par le sol pour atteindre un nouvel état d'équilibre dépend largement de la perméabilité du sol. Il peut prendre d'une à plusieurs années et cette durée de retour à l'équilibre est un facteur à prendre en compte lorsque l'on décide de l'enlèvement d'un arbre.

Lorsque l'arbre est plus vieux que la maison, il n'est pas recommandé d'enlever complètement l'arbre parce qu'il y a un risque que cela provoque un regonflement du sol dommageable pour la construction. Dans ce cas, une étude devra déterminer le potentiel de soulèvement du sol en contact avec les fondations avant de décider si l'arbre peut être enlevé ou non.

5.2.1.2 Élaguer des arbres

Certaines formes d'élagage en préventif consistent en la « réduction de la cime », la « taille en cime » ou « l'étêtage ». L'étêtage, dans lequel la plupart des branches sont enlevées et la hauteur du tronc principal est réduite, est souvent préconisé à tort, parce que la plupart des conseils publiés relie la hauteur de l'arbre à la probabilité de dommages. En fait, c'est la surface du feuillage qui est le facteur important. Il faut toutefois retenir que l'élagage de l'arbre s'entend uniquement en mode « préventif ». En mode « curatif », cette méthode ne fonctionne pas. Les racines ont déjà commencé à pomper l'eau sous la maison. On veillera alors à couper l'arbre ou à couper les racines avec un écran.

5.2.1.3 Couper des racines

Il se peut que la suppression ou la réduction d'un arbre dangereux ne soit pas toujours possible. Par exemple, il peut appartenir à un voisin ou à une autorité locale ou faire l'objet d'une instruction de préservation d'arbre. Dans ce cas, d'autres techniques peuvent être utilisées à l'intérieur de la propriété. Une option est la taille des racines, qui est généralement réalisée en creusant entre l'arbre et la propriété endommagée une tranchée suffisamment profonde pour qu'elle coupe la plupart des racines. La tranchée ne doit pas être trop proche de l'arbre au risque de mettre en péril sa stabilité. Au cours du temps de nouvelles racines vont pousser pour remplacer celles qui ont été coupées.

5.2.1.4 Poser des barrières anti-racines

Les barrières anti-racines sont une variante permanente de la taille des racines. Cependant, au lieu de remplir simplement la tranchée de sol après avoir coupé les racines, soit on la remplit de béton, soit on la borde d'une couche imperméable pour constituer une barrière « permanente » contre les racines. Celles-ci doivent être mises en place sur une profondeur suffisante pour recouper les racines des arbres (de 2 ou 4 m suivant le contexte). Elles ne doivent pas être construites trop près des fondations existantes, de façon à ne pas risquer de provoquer des désordres au moment de la construction. Ces écrans pourront être mis en place au raccordement avec le trottoir périphérique (figure 19), complétant ces dispositions constructives. Il est également possible de foncer des écrans métalliques, ou de poser des voiles en polyester ou une géomembrane, pour assurer cette fonction.

L'attention est attirée sur le risque de déviation ou retournement des réseaux racinaires des arbres : si d'autres constructions sont avoisinantes, les racines peuvent aller chercher de l'eau sous les maisons avoisinantes ou dans les drains proches.

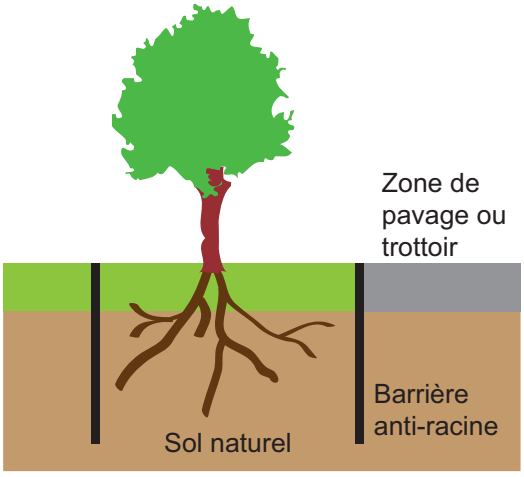


Figure 19
Exemple de barrière antiracine associée à une protection horizontale périphérique (trottoir)

5.2.1.5 Collecter et évacuer les eaux de toiture

Afin de limiter les apports d'eau au niveau des fondations, il convient de mettre en place des chéneaux de collecte des eaux de toiture, et de rejeter celles-ci dans un réseau étanche. Cette disposition peu onéreuse doit être systématique dans les terrains argileux. L'utilisation d'une chaîne en lieu et place de la descente d'eau pluviale traditionnelle est à proscrire.

5.2.1.6 Vérifier l'étanchéité des réseaux

L'étanchéité de tous les réseaux situés sous la construction ou à proximité doit être vérifiée et des mesures correctives mises en œuvre si cela s'avère nécessaire.

5.2.1.7 Poser un écran horizontal imperméable en périphérie des murs extérieurs

En empêchant l'eau de pénétrer dans le sol autour du bâtiment et en limitant l'évaporation, par la mise en place d'un trottoir périphérique, les variations hydriques restent faibles, ce qui limite l'apparition des phénomènes de retrait, puis de gonflement. L'efficacité d'un tel dispositif réside dans l'étanchéité du trottoir, qui peut être constitué d'une dalle en béton armé sur support dûment compacté ou d'une géomembrane recouverte de terre végétale. Dans les deux cas, la jonction du dallage ou de la géomembrane avec le mur doit être étanche.

Ce trottoir, d'une largeur minimale de 1,5 m à 2,5 m, se terminera par une bêche d'extrémité. Il faudra aussi veiller à assurer l'évacuation des eaux de ruissellement, en donnant aux trottoirs une légère pente vers l'extérieur et en collectant les eaux par un drain d'extrémité.

5.2.1.8 Réaliser un drainage périphérique

Lorsqu'il a été mis en évidence un problème de circulation d'eau dans le sol, venant affecter les fondations de la construction et/ou son soubassement (vide sanitaire, cave), il est nécessaire de prévoir un dispositif de drainage propre à éliminer ces alimentations en eau. Le drainage au voisinage immédiat des fondations présente l'inconvénient de provoquer, au niveau des fondations, une certaine humidification du sol. Il est interdit.

Une distance d'environ 2 m entre les fondations et le drainage est conseillée (figure 20). Par ailleurs, la pente entre l'arase inférieure des fondations et le fond de la tranchée ne doit pas dépasser 1V/3H (vertical/horizontal).

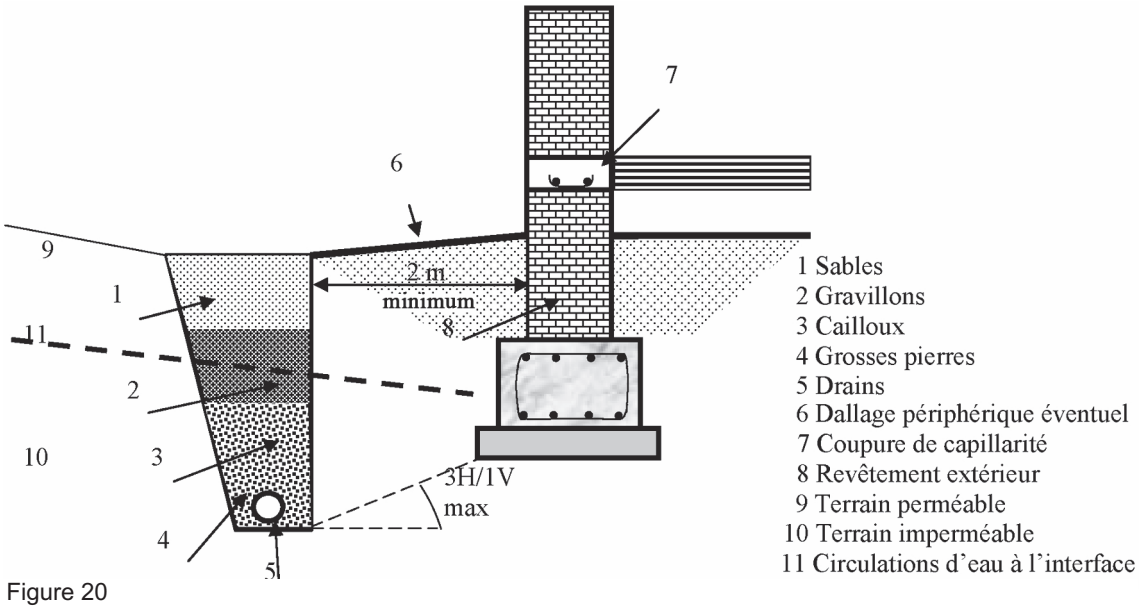


Figure 20
Exemple de drainage périphérique (Source DTU 20.1)

5.2.2 Actions sur les fondations (zone de contact entre le sol et l'habitation)

Lorsqu'il est établi que les fondations existantes sont inadaptées, on peut les modifier et/ou les reprendre en sous-œuvre, ce qui signifie : soit prendre des mesures propres à limiter l'effet du retrait-gonflement sur les structures, soit réaliser de nouvelles fondations ou, le plus souvent, prolonger les fondations existantes vers le bas pour atteindre des terrains plus stables.

Il existe essentiellement trois méthodes de reprise en sous-œuvre pour les fondations de bâtiments : la création d'un massif de béton, le système des puits et poutres, et les (mini ou) micropieux. Le choix de la méthode de reprise en sous-œuvre est principalement conditionné par :

- la géologie du site, et la présence ou non à faible profondeur d'un horizon porteur ;
- les amplitudes potentielles de retrait et de gonflement (guide 1) ;
- les caractéristiques de la structure : présence ou non de refends intérieurs, facilité ou non d'intervenir depuis l'intérieur ou l'extérieur des murs porteurs, aptitude de la fondation à répartir les efforts sur la reprise en sous-œuvre ;
- les caractéristiques de l'environnement : accessibilité du site, présence de réseaux, présence de végétation, mitoyenneté ;
- le critère économique.

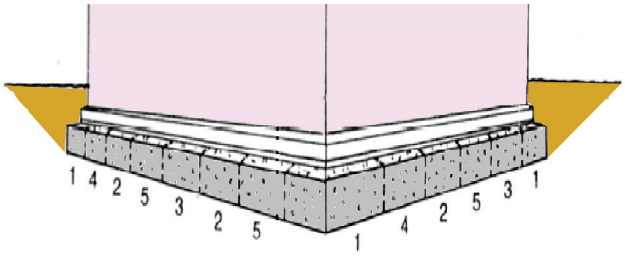
Dans tous les cas, il est préconisé, avant tous travaux de remise en état, de respecter une période d'au moins un an à l'issue des travaux de confortement afin de permettre les réajustements de la structure sur ses nouveaux appuis.

5.2.2.1 Plots jointifs réalisés par phases alternées

La reprise en sous-œuvre par un massif de béton est souvent appelée « reprise en sous-œuvre traditionnelle », parce que ce principe a été utilisé pendant des siècles. Dans le passé, lorsque les coûts de la main d'œuvre étaient faibles et avant que l'on dispose de béton prêt à l'emploi, la reprise en sous-œuvre traditionnelle était réalisée en maçonnerie. De nos jours, le rattrapage du bon niveau d'assise de la semelle de fondation est réalisé en gros béton.

La reprise en sous-œuvre par un massif de béton consiste à approfondir les semelles filantes ou isolées de façon à ce qu'elles atteignent une couche dont les propriétés physiques sont adéquates. La reprise en sous-œuvre est exécutée par plots, comme indiqué sur la figure 21. La distance entre les plots est déterminée par la capacité de la semelle de fondation à travailler en flexion comme une longrine. Cette capacité doit être vérifiée par le calcul, après avoir fait un sondage destructif dans la semelle pour connaître le ferraillage existant. Si celui-ci est insuffisant, soit on rapproche les plots, soit une longrine de raidissement est réalisée. Pour des maisons en maçonnerie continue de briques ou de pierres sans fondation en béton armé, cette longrine est systématique.

Les groupes de plots de même numéro (figure 21) peuvent être excavés simultanément, de sorte que 20 à 25% du mur au plus soit laissé sans support. Le béton est coulé dans l'excavation en laissant un vide de 75 à 150 mm entre le béton et la surface inférieure de la fondation existante. Dès que le béton a pu durcir pendant un temps suffisant, cet espace est bourré de béton humide dont les granulats ont une dimension maximale de 10 mm et qui contient juste assez d'eau pour permettre au mélange de garder la forme d'une boule quand on le serre dans la main. Ce mélange aura peu tendance à diminuer de volume au séchage. Le compactage dans un espace limité évite l'effet du retrait par séchage, crée une liaison intime entre l'ancienne fondation et la nouvelle et empêche tout tassement.



Les plots sont numérotés pour indiquer une séquence typique d'exécution des travaux

Figure 21
Reprise en sous-œuvre par plots alternés

La mise en œuvre ne nécessite pas de matériels spécifiques mais une bonne technicité. Il convient en particulier d'assurer une bonne verticalité et indépendance des parois du massif pour limiter les frottements parasites liés aux mouvements du sol encaissant. L'avantage du coût de la reprise en sous-œuvre par un massif de béton diminue rapidement quand la profondeur désirée augmente, à cause du coût croissant des matériaux, de l'évacuation des déblais, du blindage de la fouille, et du coût élevé de l'excavation à la main.
Bien qu'il soit possible de réaliser des massifs de béton par plot jusqu'à des profondeurs de 4 m et plus, il est peu probable que cela soit la solution la moins chère au-delà de 2 m.
Enfin, ce choix de reprise, qui crée un écran continu vis-à-vis des circulations d'eau et des échanges hydriques, doit être analysé en considérant l'existence ou non de dallages éventuellement non encore affectés par des désordres, et que l'effet d'une barrière pourrait endommager.

5.2.2.2 Plots discontinus reliés ou non par une longrine

Une variante de la reprise en sous-œuvre classique par plots alternés est la reprise en sous-œuvre discontinue. Au lieu de former une bande continue sous la fondation existante, la reprise en sous-œuvre est réalisée par plots séparés. La distance entre les plots est déterminée par la résistance de la fondation existante. Elle peut être une solution économique dans des circonstances favorables et est spécialement adaptée au cas où les fondations existantes sont en béton armé. Une reconnaissance de la quantité de ferraillage dans la fondation existante est nécessaire.

Cette technique consiste donc à reporter les charges de la construction dans un terrain de bonnes caractéristiques mécaniques et insensible aux variations hydriques, au moyen de plots en gros béton. Ceux-ci sont généralement creusés de façon manuelle, avec blindage pour tenir les parois de fouille lorsque nécessaire. Le bétonnage se fait en deux étapes, avec mise en œuvre d'un gros béton presque en sous-face de semelle (environ 10 cm), puis un calage au mortier sans retrait assurant le contact semelle/plot, mis en œuvre deux à trois jours après le gros béton.

La reprise en sous-œuvre par plots continus (puits et poutres) est réalisable dans la plupart des conditions de terrain, à condition que la machine de forage puisse accéder autour de la construction. Toutefois, elle tend à devenir économique seulement pour des profondeurs supérieures à 4 m environ. Les excavations peuvent être effectuées dans les sols lâches ou gorgés d'eau en utilisant un blindage de tranchée, mais cela augmente considérablement le coût. Cette reprise en sous-œuvre est particulièrement adaptée aux

argiles sensibles au retrait gonflement, dont on attend la poursuite de leurs variations de volume. Les plots peuvent être excavés jusqu'à la profondeur où les effets du retrait et du gonflement sont minimaux et, à condition que leurs parois soient protégées contre les effets du frottement latéral, le bâtiment peut être isolé des effets des futures variations de volume du sol (figure 22).

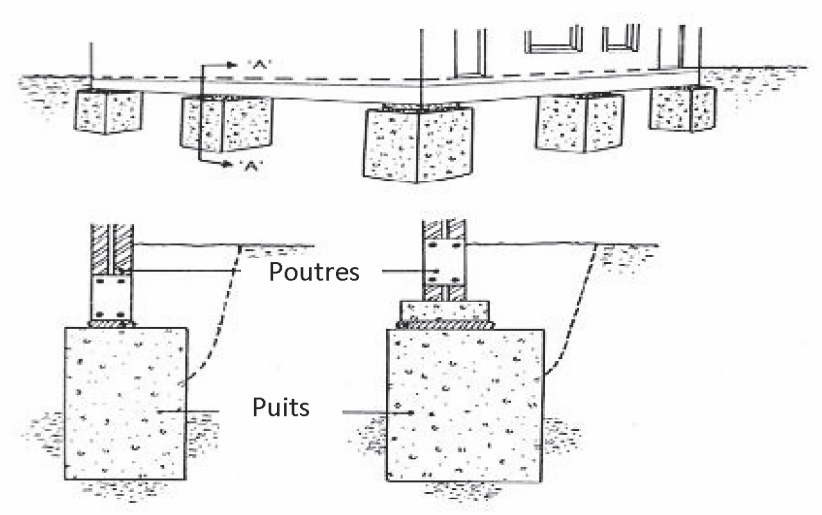


Figure 22
Reprise en sous-œuvre par plots discontinus (puits et poutres)
(D'après : *has your house got cracks ?*)

5.2.2.3 Minipieux ou micropieux

Dans cette méthode de reprise en sous-œuvre, il est fondamental d'assurer le transfert des charges de la structure aux micropieux au moyen de plots ou longrines solidarisés convenablement à la semelle ou au mur existant. Les modalités à mettre en œuvre dépendent de l'aptitude de la semelle à reporter les efforts sur les micropieux.

Typiquement, les diamètres des micropieux sont compris entre 80 mm et 150 mm (jusqu'à 300 mm). Ils sont généralement réalisés par forage et coulés en place. Ils doivent obligatoirement être armés. La technique adoptée dépend largement des conditions de sols. On se reportera aux prescriptions de conception et d'exécution en vigueur, spécifiques aux fondations profondes.

Dans le cas de constructions anciennes, cette technique va s'avérer délicate à mettre en œuvre et onéreuse, compte tenu de la nécessité de créer une structure en béton armé intégrée dans la maçonnerie existante.

5.2.2.4 Les injections sous fondations

Elles sont réalisées par injections de résines plus ou moins expansives. Lorsque les désordres sont limités et que les sols d'assise ne sont pas très sensibles au phénomène de gonflement, il est parfois réalisé un traitement par injection à la résine à partir d'un réseau de forages de petit diamètre réalisés sous les fondations. Cette technique présente l'avantage de conserver le fonctionnement mécanique de la semelle sur appuis répartis uniforme.

L'efficacité de cette technique est variable selon la structure et la compacité du sol en place. La collectivité ne dispose pas encore d'un retour d'expérience de la tenue dans le temps de ces injections, ni de leurs effets sur la circulation des eaux superficielles.

5.2.2.5 Dispositions constructives propres à limiter l'effet du retrait-gonflement sur les structures

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, c'est-à-dire les semelles ou les longrines existantes, mais aussi les faces latérales des plots de reprise ou celles des micropieux, jusqu'à la profondeur au-delà de laquelle le sol ne subit plus les effets du retrait-gonflement (généralement 2 à 3 mètres de profondeur, quand la végétation n'impacte pas plus profondément le profil hydrique).

Pour les micropieux, cette protection est assurée par mise en œuvre d'un tubage extérieur ; pour les plots, on recourt généralement à la mise en place d'une interface glissante (polystyrène, …) sur les parois bien verticales des excavations, avant de couler le béton.

On protège aussi des risques de gonflement sous les éléments de structure (longrines, semelles), en interposant un vide entre le sol et les longrines ; généralement, ce vide est aménagé en réalisant le coffrage des longrines nouvelles sur un matériau putrescible ou biodégradable. Sous les semelles existantes (quand elles servent de « longrine » après une reprise en sous-œuvre par plots discontinus ou micropieux), il convient d'aménager ce vide manuellement.

Quand il n'est pas possible d'adopter ces dispositions constructives, il conviendra de vérifier par le calcul que les éléments de structure (longrines, micropieux, plots) peuvent reprendre les efforts parasites (frottements négatifs, traction) liés aux effets du retrait-gonflement :

- pression de soulèvement affectant la sous-face des longrines de répartition ou des semelles, et se répercutant sur les micropieux ou les plots en termes d'effort de soulèvement ;
- frottement latéral s'exerçant sur les parois des plots ou des micropieux, augmentant les descentes de charge dans le cas du retrait, ou les diminuant jusqu'à provoquer des efforts de traction dans le cas du gonflement.

Lorsqu'il existe un vide sanitaire, la mise en place de polyane armé sur le sol dans le vide sanitaire permet de limiter les variations de teneur en eau par évaporation due aux courants d'air.

5.2.2.6 Reprise en sous-œuvre partielle

Lorsqu'une partie seulement d'un bâtiment a été affectée par le mouvement du sol, il peut être envisagé de limiter la reprise en sous-œuvre à une partie de la structure ; on parle alors de « reprise en sous-œuvre partielle ».

La reprise en sous-œuvre d'une maison mitoyenne où il n'est pas possible d'étendre le schéma de réparation aux propriétés voisines, constitue également une reprise en sous-œuvre partielle.

Pour éviter l'apparition de désordre à la jonction des deux parties de bâtiment, une solution consiste à réaliser un joint de rupture (voir partie 5.2.3.3) entre la partie à traiter et la partie saine. Cette opération est toutefois très complexe à mettre en œuvre et limite la reprise en sous-œuvre partielle à des cas rares, qui doivent être étudiés par un bureau d'étude de structures.

5.2.2.7 Travaux spécifiques aux dallages

Lorsque les sols sont très sensibles aux variations hydriques, aucune solution de confortement du dallage n'est pérenne. On réalise donc un plancher, accroché sur les fondations existantes, avec création d'un vide entre celui-ci et le sol.

Cette surcharge doit être prise en compte dans le dimensionnement de la reprise en sous-œuvre des fondations, généralement effectuée en même temps. Pour un plancher reconstruit seul, il est préférable de dissocier les appuis du plancher de ceux de l'existant, ou de s'assurer que les fondations sont aptes à reprendre cette surcharge. En fonction de la portée du plancher, des appuis supplémentaires peuvent s'avérer nécessaires.

5.2.3 Actions sur la structure de l'habitation

Lorsque les désordres sont stabilisés, il est possible de réparer et/ou de renforcer la structure en fonction des dommages.

5.2.3.1 Renforcement par chaînage

Sur la base d'une analyse réalisée par un bureau d'étude de structures, il est possible de réaliser un chaînage horizontal en tête des murs, pouvant être associé à des chaînages verticaux. Les structures s'apparentent alors à des portiques, très rigides, au sein desquelles les maçonneries ne jouent plus que le rôle de matériau de remplissage (figure 23).



Figure 23
Exemple de chaînage apparent en façade (type croix de St-André) (Source Socabat)

5.2.3.2 Rigidifier la structure

Lorsque la semelle de fondation doit être renforcée, une longrine périphérique en béton armé peut être réalisée.

Une technique relativement nouvelle, appelée « corsetage », consiste à couler une poutre en béton armé autour du périmètre du bâtiment, habituellement au niveau du sol. La poutre est connectée à la maçonnerie au moyen d'armatures d'acier et de « goujons » et la poutre est ensuite mise en tension en utilisant une clé dynamométrique ou un vérin hydraulique. Le corset rigidifie le bâtiment au niveau de la fondation et l'aide à ponter les zones locales de tassement.

5.2.3.3 Réaliser des joints de rupture

La mise en place d'un joint de rupture entre deux zones de la construction est préconisée lorsqu'une reprise en sous-œuvre partielle est réalisée. Cette opération doit dissocier complètement les deux zones par sciage, y compris au niveau des fondations (dans la pratique ceci est rarement réalisé du fait des difficultés de mise en œuvre, limitant fortement l'efficacité de la méthode). Il convient de plus de s'assurer de la compatibilité du joint avec le bon comportement de la structure, ce qui nécessite un diagnostic préalable par un bureau d'études de structures.

5.2.3.4 Réparer les fissures

Les fissures doivent faire l'objet d'un traitement, qui consiste à réaliser une ouverture profonde, puis un harpage tous les 50 cm (couturage de la fissure, au moyen d'agrafes métalliques, scellées dans l'élément porteur, de part et d'autre de la fissure), la mise en place d'une armature de type treillis recouvrant la fissure, et le bétonnage de l'ensemble au moyen d'un mortier sans retrait (figure 24).



Figure 24
Exemple de réparation des fissures
(Source Socabat)

5.3 Limites d'utilisation de ces techniques

Les techniques utilisées pour traiter les désordres créés par la sécheresse ont souvent des limites, qui sont indiquées dans le tableau 4.

Tableau 4
Limites d'utilisation des techniques disponibles

Principes	Techniques correspondantes	Principales limites d'utilisation
Agir sur l'environnement proche de l'habitation	Retirer / Élaguer des arbres	Problèmes environnementaux et de voisinage
	Couper des racines	Risque d'altération de la végétation Problème éventuel de stabilité des arbres
	Poser des barrières anti-racines	Risque de contournement des barrières et de retournement
	Collecter et évacuer les eaux de toiture	Aucune Évacuation des eaux à plus de 10 m de l'habitation
	Vérifier l'étanchéité des réseaux	Aucune
	Poser un écran horizontal imperméable en périphérie des murs extérieurs	Aucune sauf mitoyenneté
	Réaliser un drainage périphérique	Éloigner le drainage de 2 m des fondations Difficulté possible de mitoyenneté
Agir sur les fondations	Réaliser une reprise en sous-œuvre pour approfondir le niveau de fondation par des : - plots jointifs réalisés par phases alternées ; - plots discontinus reliés ou non par une longrine ; - minipieux ou micropieux ; - injections sous fondations.	Dépend de la technicité de l'entreprise Nécessite une étude puis une mise en œuvre très soignée par une entreprise spécialisée
	Dispositions constructives propres à limiter l'effet du retrait-gonflement sur les structures	Modification esthétique
	Reprise en sous-œuvre partielle	Assez délicat Étude approfondie nécessaire
	Travaux spécifiques aux dallages	Inadapté aux sols gonflants
Agir sur la structure de l'habitation	Renforcement par chaînage	Modification esthétique
	Rigidifier la structure	Délicat à réaliser
	Réaliser des joints de rupture	Délicat à réaliser Modification esthétique
	Réparer les fissures	À n'entreprendre qu'après stabilisation de la structure

Chapitre 6.
Assurances : coûts et démarches

Deuxième poste d'indemnisation au titre du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles en France, juste derrière les inondations, le retrait-gonflement présente un coût collectif très important, estimé à 5,8 milliards d'euros par la Caisse centrale de réassurance sur la période 1989-2012.

6.1 Quels sont les coûts habituels des travaux de réparation ?

À l'échelle d'un sinistre, les coûts des travaux de réparation sont très variables, allant de quelques centaines d'euros pour les cas les plus légers à plusieurs dizaines, voire centaines de milliers d'euros pour les désordres les plus lourds.

En effet, lorsque la cause des désordres peut être facilement supprimée (abattage des arbres, entretien des canalisations…), un simple rebouchage des fissures peut suffire, avec parfois une reprise du revêtement extérieur et des peintures. Au contraire, si les facteurs déclenchants ne peuvent être supprimés aisément (fondations insuffisantes sur sols très réactifs, hétérogénéité du sol, etc.), un confortement de la structure et une reprise en sous-œuvre sont souvent envisagés, se traduisant en général par la mise en place de micropieux sous les fondations. Cette opération représente en général un coût de plusieurs dizaines de milliers d'euros et nécessite un soin tout particulier dans sa réalisation pour garantir la pérennité de la solution. Dans certains cas très particuliers, il a même été jugé préférable de détruire la maison pour la reconstruire, le coût de cette démarche étant inférieur à celui de la mise en œuvre d'une solution de confortement.

6.1.1 Quelques ordres de grandeur de coûts habituels de travaux de réparation

Ces coûts, exprimés en prix hors taxes (HT), sont donnés à titre indicatif et correspondent à des coûts moyens en 2015 (ils peuvent varier de manière importante d'une région à l'autre et d'un chantier à l'autre).

Pour une construction d'environ 100 m² au sol, le coût des travaux de réparation peut être estimé en moyenne à :

- reprise en sous-œuvre des murs par micropieux et longrines de répartition : 45 à 70 k euros ;
- reprise en sous-œuvre par puits de faible profondeur et longrines de répartition : 30 à 45 k euros ;
- rigidification des fondations existantes par scellement d'une longrine ceinturant l'ouvrage : 15 à 25 k euros ;
- injection et brochage des dallages en rive de l'ouvrage : 6 à 12 k euros ;
- imperméabilisation du pourtour de l'ouvrage par géomembrane : 10 à 20 k euros ;
- mise en place de chaînages intégrés dans la maçonnerie : environ 20 k euros ;
- réalisation d'une tranchée drainante peu profonde à l'amont : 1,5 à 6 k euros (selon la profondeur et l'exutoire, pour une longueur d'une dizaine de mètres) ;
- mise en place d'un écran-antiracine (2 m de profondeur) : 300 à 500 euros par mètre de longueur ;
- abattage, dessouchage et brûlage des arbres (10 à 60 cm de diamètre) : 1 k euros.

6.1.2 Coûts moyens indemnisés

Dans le cadre du régime des catastrophes naturelles, les coûts moyens des sinistres ont été estimés à environ 15 000 euros pour la période 1995-2006. Ce coût est relativement faible au regard des coûts des travaux de réparation, ce qui semble indiquer le nombre important de réparations de faible importance.

Les coûts indemnisés dans le cadre de la garantie décennale sont plus difficiles à prendre en compte car la cause des sinistres est rarement mentionnée. Toutefois, d'après le tableau de bord Sycodés (SYstème de COllecte des DÉSordres) de l'AQC, les coûts indemnisés au titre de la garantie décennale s'élèvent respectivement à environ 8 000 euros et 12 700 euros selon que les désordres affectent la structure ou les fondations.

6.2 Quand les assurances peuvent-elles prendre en charge le coût des travaux envisagés ?

Plusieurs types d'indemnisation sont envisageables, suivant les situations :

- pour des désordres impliquant le gros-œuvre survenant moins de 10 ans après la réception des travaux, les désordres peuvent être pris en charge au titre de la garantie décennale ;
- depuis 1989, l'indemnisation de désordres liés à des tassements différentiels causés par retrait-gonflement des sols argileux peut se faire dans le cadre du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles, garantie figurant obligatoirement dans les contrats d'assurance de type multirisques habitation.

6.2.1 La garantie décennale des constructeurs

6.2.1.1 Le cadre réglementaire

L'assurance construction est régie par la loi Spinetta du 4 janvier 1978 (n° 78-12).

6.2.1.1.1 Obligations des constructeurs

Parmi les principes fondamentaux de l'assurance construction figurent :

- la présomption de responsabilité des constructeurs : un constructeur ne peut s'exonérer de ses responsabilités que par la preuve d'une cause étrangère, c'est-à-dire un cas de force majeure ou une faute du maître de l'ouvrage ou le fait d'un tiers ;
- l'obligation pour les constructeurs de souscrire une assurance de responsabilité décennale.

Les dommages qui mettent en jeu la responsabilité civile décennale des constructeurs sont ceux qui :

- compromettent la solidité de l'ouvrage ou affectent la solidité de ses éléments d'équipements, si ceux-ci font indissociablement corps avec les ouvrages de viabilité, de fondations, d'ossature, de clos ou de couvert ;
- affectent l'ouvrage dans l'un de ses éléments constitutifs ou l'un de ses éléments d'équipement et le rendent impropres à sa destination (exemples : entrée d'air ou d'eau dans la maison).

L'article 1792 du code civil précise que les constructeurs sont responsables des dommages résultant d'un vice du sol.

Comme son nom l'indique, la durée de la garantie est de 10 ans à compter de la réception de l'ouvrage. L'assurance de responsabilité décennale d'un constructeur ne couvre que les activités déclarées par ce dernier à son assureur (par exemple, maçonnerie, couverture, etc.).

6.2.1.1.2 Obligations du maître d'ouvrage

La loi du 4 janvier 1978 impose également au maître d'ouvrage une obligation d'assurance.

Extrait de l'article L242-1 du code des assurances :

« Toute personne physique ou morale qui, agissant en qualité de propriétaire de l'ouvrage, de vendeur ou de mandataire du propriétaire de l'ouvrage, fait réaliser des travaux de bâtiment, doit souscrire avant l'ouverture du chantier, pour son compte ou pour celui des propriétaires successifs, une assurance garantissant, en dehors de toute recherche des responsabilités, le paiement des travaux de réparation des dommages de la nature de ceux dont sont responsables les constructeurs au sens de l'article 1792-1 [...] »

Il s'agit de l'assurance « dommages-ouvrage ». Cette assurance est appelée à intervenir pour financer rapidement, avant toute recherche de responsabilité, les travaux de réparation des désordres de « nature décennale ».

6.2.1.2 Comment faire si votre maison de moins de 10 ans présente des fissures ?

Deux cas de figures sont à envisager :

1. Vous, ou le maître d'ouvrage ayant construit la maison, avez souscrit une police dommages-ouvrage :

- Il convient de déclarer ces désordres par lettre recommandée avec accusé de réception à l'assureur dommages-ouvrage.
- L'assureur dommages-ouvrage missionnera un expert qui se chargera des démarches auprès des constructeurs.
- L'assureur dispose d'un délai de 60 jours courant à compter de la réception de la déclaration du sinistre pour vous notifier sa décision quant au principe de la mise en jeu des garanties prévues au contrat.
- Lorsqu'il accepte la mise en jeu des garanties, l'assureur doit, sur la base du rapport de l'expert qu'il vous communique, présenter dans un délai maximal de 90 jours une offre d'indemnité revêtant le cas échéant un caractère provisionnel. Ce délai de 90 jours peut-être augmenté d'un délai supplémentaire en cas de difficultés exceptionnelles (par exemple, difficultés techniques à déterminer les causes).

2. Vous, ou le maître d'ouvrage ayant construit la maison, n'avez pas souscrit de police dommages-ouvrage :

- Il conviendra de déclarer les désordres - toujours en lettre recommandée avec accusé de réception - aux constructeurs pouvant, selon vous, être impliqués. Pour des problèmes de fondations, il s'agit généralement du maçon. Mais il peut également y avoir eu l'intervention d'un bureau d'études de sol, d'un maître d'œuvre, d'une entreprise de terrassement, etc.
- Si vous avez les attestations d'assurances des constructeurs, vous pouvez en parallèle faire une déclaration de sinistre auprès de leurs assureurs. Un expert sera missionné pour chaque constructeur.
- L'assureur de chaque constructeur vous proposera directement une indemnité, après que les différents experts se soient mis d'accord sur un partage de responsabilité entre constructeurs. Dans ce cas de figure, aucune disposition légale ou réglementaire n'impose un délai aux assureurs saisis pour prendre position sur leur garantie et faire éventuellement une proposition de règlement.

6.2.2 Le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles

6.2.2.1 Qu'est-ce que c'est ?

Institué par la loi du 13 juillet 1982 et codifié aux articles L 125-1 et suivants du code des assurances, ce régime prévoit la protection des biens des assurés contre les dégâts causés par des événements naturels exceptionnels (i.e. d'une intensité anormale), sur

la base du principe de solidarité nationale. Le terme « catastrophe naturelle » désigne les « dommages matériels directs non assurables ayant eu pour cause déterminante l'intensité anormale d'un agent naturel, lorsque les mesures habituelles à prendre pour prévenir ces dommages n'ont pu empêcher leur survenance ou n'ont pu être prises » (article L.125-1 du Code des Assurances).

L'état de catastrophe naturelle est constaté par un arrêté interministériel qui détermine les périodes et la (ou les) commune(s) où s'est produite la catastrophe, ainsi que la nature des dommages couverts par la garantie. L'arrêté interministériel est pris après avis d'une commission, saisie par le préfet sur demande d'une commune. Cette commission reconnaît, sur la base de rapports scientifiques, le caractère exceptionnel du phénomène naturel ayant généré les dommages.

6.2.2.2 Financement

Le régime CatNat est actuellement financé par une prime additionnelle calculée en appliquant un taux unique à la prime du contrat d'assurance de base : il s'élève aujourd'hui à 12 % des primes ou cotisations afférentes aux contrats de base d'assurance « dommages aux biens » (une prime additionnelle de 6 % s'applique également pour les véhicules terrestres à moteur).

Cette garantie ne peut s'appliquer que si l'assuré est couvert par un contrat d'assurance « dommages aux biens » (qui comporte obligatoirement la garantie des conséquences des catastrophes naturelles).

6.2.2.3 Comment faire ?

La démarche à mettre en œuvre pour une indemnisation dans le cadre du régime CatNat est la suivante :

- L'assuré signale ses désordres auprès de la mairie de son domicile et à son assureur.
- La mairie établit un dossier de demandes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pour le phénomène[1] « sécheresse - réhydratation des sols » pour la commune[2].
    - un formulaire de demande communale de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle, précisant la période de reconnaissance sollicitée, est rempli ;
    - le dossier est adressé au service de la sécurité civile de la préfecture du département concerné, qui centralise les dossiers et les transmet à la direction concernée au ministère de l'Intérieur.
- La commission interministérielle examine le dossier sur la base des données météorologiques apportées par Météo France et géologiques issues de la carte d'aléa « argile » du BRGM. La décision finale revient aux ministres compétents (le ministre de l'intérieur, le ministre de l'Économie et des Finances et le secrétaire d'État chargé du Budget et des Comptes publics).
- La décision est publiée au Journal officiel par un arrêté interministériel : liste des communes demanderesses de la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ayant été reconnues et celles dont la reconnaissance a été rejetée.
- Le représentant de l'État dans le département (préfet) notifie et justifie la décision de la commission interministérielle aux communes concernées.
- À compter de la publication de l'arrêté, les sinistrés ont dix jours pour faire parvenir à leur assurance un état estimatif de leurs pertes (si cela n'a pas été fait initialement).
- L'assurance indemnise les dommages dans les trois mois.

(1) Il est à noter que depuis le 1er janvier 2008, pour être recevable, la demande de reconnaissance CatNat doit être fournie dans un délai de 18 mois suivant le début de l'évènement naturel à l'origine des désordres.

(2) Un seul dossier de demande sera établi quel que soit le nombre de désordres.

Références

FREEMAN T.-J., DRISCOLL R.-M.-C., LITTLEJOHN G.-S. *Has your house got cracks ?* Thomas Telford, Londres, 154 p., **2002**.

Le retrait-gonflement des argiles – Comment prévenir les désordres dans l'habitat individuel ? Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables, **2007**.

Sécheresse et construction, guide de prévention. La documentation française, **1993**.

Sites internet

Portail de la prévention des risques majeurs du ministère de la Transition écologique et solidaire, www.prim.net

Documents relatifs aux cartes d'aléa retrait-gonflement
www.georisques.gouv.fr

Agence qualité construction, www.qualiteconstruction.com

Caisse centrale de réassurance, www.ccr.fr

Annexe 1
Fiche de synthèse des observations

N° Dossier	ZZ.11.0001		
Désignation	Maison		
Adresse	xx		
Localité	xx		
Département	21		
Date de visite	13/06/2011	**NOM REDACTEUR:**	XXX
BATI			
Date de construction	**1980**		
Date d'apparition des desordres	**2003**		
Date d'aggravation des desordres	**progressive**		
Type habitation	**R0 / R+1**		
Sous-sol enterre/semi	**enterré**		
sous-sol total/partiel	**partiel (sous la partie en R+1)**		
Type de fondation (filante/isolée/radier)	**filante**		
Murs extérieurs	**non renseigné**		
Refends	**non renseigné**		
cloisons	**non renseigné**		
sous-sol	**dallage**		
Plancher RDC	**plancher sur vide sanitaire (partie en R0)**		
Plancher étage	**non renseigné**		
Plafond	**non renseigné**		
Charpente	**non renseigné**		
chainage	**non**		
EVACUATION DES EAUX DE PLUIE			
cheneaux	**non**		
évacutation des eaux	**pas d'évacuation**		
trottoir	**non**		
drains	**non**		
ENVIRONNEMENT			
Ville/lotissement/campagne	**campagne**		
terrain plat/en pente	**pente moyenne vers le sud**		
Fossé	**non**		
talus	**en amont de la propriété**		
puits	**2 forages d'eau**		

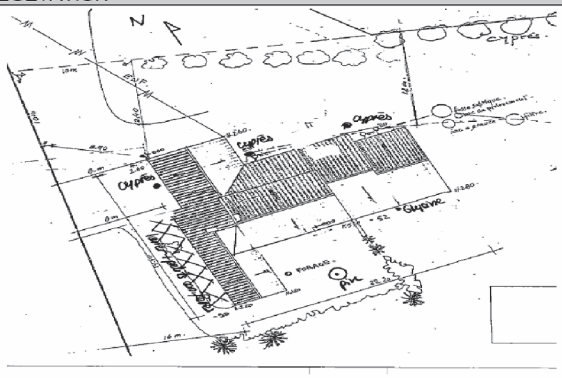
VEGETATION

Haies/arbres isolés

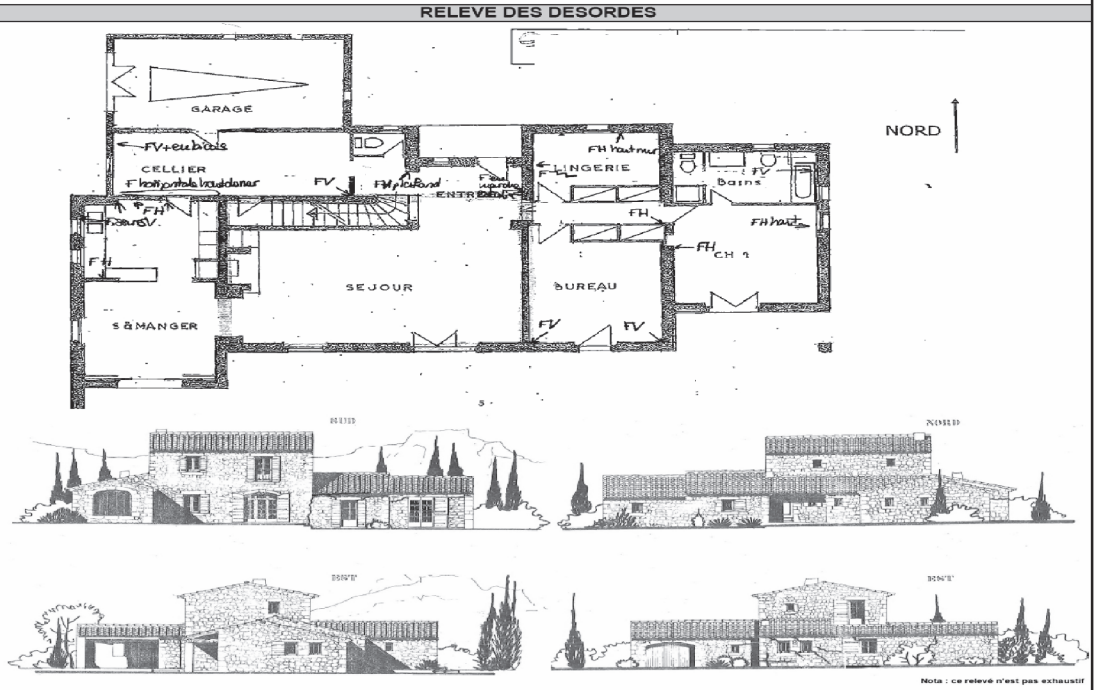
Espèces végétales

Hauteur

Distance à la construction



RELEVE DES DESORDES



Date de la visite : Xx/Yy/Zzzz	Adresse de l'habitation			
	Mentionner les fissures ainsi que leurs dimensions et leur évolution (direction de propagation et d'élargissement)			
Position des désordres à l'extérieur de la maison Note : les fissures continues entre deux façades de la maison doivent être identifiées précisément	Façade 1 *Schéma à réaliser*	Façade 2 *Schéma à réaliser*	Façade 3 *Schéma à réaliser*	Façade 4 *Schéma à réaliser*
Position des désordres à l'intérieur de la maison	Façade 1 *Schéma à réaliser*	Façade 2 *Schéma à réaliser*	Façade 3 *Schéma à réaliser*	Façade 4 *Schéma à réaliser*
Description de l'environnement : indiquer la position des arbres, le sens des pentes, les accumulations d'eau, la position des différents collecteurs, etc.	Vue en plan de la maison *Schéma à réaliser*			

Annexe 2

Mémo chantier
Agence qualité construction

Source AQC



Fiche bibliographique

Collection		Sous collection
techniques et méthodes		guide technique
ISSN 2492-5438	**ISBN** Papier : 978-2-85782-731-3 Pdf : 978-2-85782-726-9	**Référence** GTI 4-3

Titre
Retrait et gonflement des argiles - Analyse et traitement des désordres créés par la sécheresse, guide 3

Coordinateur
Jean-Bernard Kazmierczack (Ineris)

Auteurs
Ifsttar et Ineris

Rédacteurs
Franck Béchade (Socabat), Sébastien Burlon (Ifsttar), Catherine Jacquard, (Fondasol), Jean-Bernard Kazmierczack (Ineris), Catherine Labat (CFEC), Jean-Pierre Magnan (Ifsttar)

Date de publication	Langue
Juillet 2017	Français

Résumé

Ce guide propose une démarche de traitement des désordres qui sont provoqués par le retrait-gonflement des sols et qui affectent les maisons individuelles.

L'observation et la description des désordres sur une maison individuelle doit être le point de départ de la démarche permettant leur traitement. Ces désordres (principalement des fissures) apparaissent sur des points de faiblesse qui sont généralement bien connus. Ils peuvent être classés suivant leur importance et permettent de définir différentes classes de dommage. L'observation de ces désordres permet en général d'identifier le mécanisme qui les déclenche et donc de mettre le sol hors de cause le cas échéant.

L'observation des fissures doit toutefois être associée au fonctionnement mécanique de la maison. Il est donc important de connaître les principales structures types de maison ainsi que les parties essentielles d'une maison : les fondations, les planchers, les murs, les chaînages, etc.

Une fois le sol mis en cause, la recherche des origines précises des désordres devient alors plus aisée mais de multiples pistes doivent être explorées. Le retrait-gonflement des sols n'est pas systématiquement la seule cause des désordres et l'hétérogénéité des sols d'assise, la présence de pentes ou des défauts d'exécution peuvent aussi constituer des causes de ces désordres. Par ailleurs, le retrait-gonflement des sols n'est pas toujours associé à des périodes sèches ou pluvieuses et d'autres causes, comme la végétation ou des défauts d'exécution, interviennent très largement dans les désordres constatés

L'analyse des désordres doit permettre de préciser leur évolution. Les mouvements peuvent être plus ou moins rapides, quelquefois réversibles. Des appareils de mesures simples d'utilisation permettent d'établir ces tendances.

Le traitement des désordres provoqués par le retrait-gonflement des sols, suivant son origine exacte, peut être effectué selon différentes techniques. Il est possible d'agir sur l'environnement de la construction, le sol lui-même, les fondations ou directement la structure de la maison.

Enfin, il est utile de connaître les procédures permettant la prise en charge et l'indemnisation des solutions de réparation ou de traitement. Un point complet sur les démarches à mener auprès des assurances est présenté.

Mots clés
Retrait, gonflement, argile, désordres, suivi, mesures, réparation, assurance.

Nombre de pages
58

Publication data form

Collection technics and methods		**Sub collection** technical guide
ISSN 2492-5438	**ISBN** Print : 978-2-85782-731-3 Pdf : 978-2-85782-726-9	**Reference** GTI 4-3
Title Shrinkage and swelling of clays - Analysis and treatment of damage caused by drought, guide 3		
Coordinator Jean-Bernard Kazmierczack (Ineris)		
Authors Ifsttar and Ineris		
Writers Franck Béchade (Socabat), Sébastien Burlon (Ifsttar), Catherine Jacquard (Fondasol), Jean-Bernard Kazmierczack (Ineris), Catherine Labat (CFEC), Jean-Pierre Magnan (Ifsttar)		
Publication date July 2017	**Language** French	

Summary

This guide outlines a procedure for treating drought damage to single family houses caused by the shrinking and swelling of soils.

The first stage in the procedure is to inspect and describe the damage to the house. The damage in question (mainly cracks) appears at weak points which are generally well known. It can be classified according to its severity, giving rise to a number of damage classes. Generally, the underlying mechanism can be identified from inspections and the ground can be cleared from blame when it is not responsible.

The inspection of cracks must be combined with an understanding of the mechanical behaviour of the house and therefore the knowledge of the different standard house structures and the essential parts of a house – the foundations, floors, walls, wall ties, etc.

If the ground is deemed responsible, the precise source of the damage is easier to find, but a large number of possibilities must be explored. Shrinkage and swelling of the soil is not always the only cause of damage and variations in the supporting soil, the presence of slopes or construction defects may also be responsible. Furthermore, the shrinkage and swelling of soils is not confined to periods of dry or rainy weather, and other causes, such as vegetation or construction defects, are major causes of damage.

Analysis of the damage should establish how it will develop. Movements may vary in rate, and are sometimes cases reversible. Such factors can be established with easy-to-use measurement devices.

Depending on its precise origin, a number of techniques are available to treat damage due to the shrinkage and swelling of soils. Measures can be applied to the environment of the construction, the soil itself, the foundations, or directly to the structure of the house.

Finally, it is useful to be aware of the procedures for obtaining repair and treatment works and compensation. A full account of how to approach insurance companies is given.

Key words
Shrinkage, swelling, clay, disorders, monitoring, measurements, insurance.

Number of pages
58

Ce guide propose une démarche de traitement des désordres qui sont provoqués par le retrait-gonflement des sols et qui affectent les maisons individuelles.

L'observation et la description des désordres sur une maison individuelle doit être le point de départ de la démarche permettant leur traitement. Ces désordres (principalement des fissures) apparaissent sur des points de faiblesse qui sont généralement bien connus. Ils peuvent être classés suivant leur importance et permettent de définir différentes classes de dommage. L'observation de ces désordres permet en général d'identifier le mécanisme qui les déclenche et donc de mettre le sol hors de cause le cas échéant.

L'observation des fissures doit toutefois être associée au fonctionnement mécanique de la maison. Il est donc important de connaître les principales structures types de maison ainsi que les parties essentielles d'une maison : les fondations, les planchers, les murs, les chaînages, etc.

Une fois le sol mis en cause, la recherche des origines précises des désordres devient alors plus aisée mais de multiples pistes doivent être explorées. Le retrait-gonflement des sols n'est pas systématiquement la seule cause des désordres et l'hétérogénéité des sols d'assise, la présence de pentes ou des défauts d'exécution peuvent aussi constituer des causes de ces désordres. Par ailleurs, le retrait-gonflement des sols n'est pas toujours associé à des périodes sèches ou pluvieuses et d'autres causes, comme la végétation ou des défauts d'exécution, interviennent très largement dans les désordres constatés

L'analyse des désordres doit permettre de préciser leur évolution. Les mouvements peuvent être plus ou moins rapides, quelquefois réversibles. Des appareils de mesures simples d'utilisation permettent d'établir ces tendances.

Le traitement des désordres provoqués par le retrait-gonflement des sols, suivant son origine exacte, peut être effectué selon différentes techniques. Il est possible d'agir sur l'environnement de la construction, le sol lui-même, les fondations ou directement la structure de la maison.

Enfin, il est utile de connaître les procédures permettant la prise en charge et l'indemnisation des solutions de réparation ou de traitement. Un point complet sur les démarches à mener auprès des assurances est présenté.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de la Transition écologique et solidaire

Ministère de la Cohésion des territoires

INERIS
maîtriser le risque pour un développement durable

IFSTTAR

LES COLLECTIONS DE L'IFSTTAR

9 782857 827269

ISSN : 2492-5438
Référence : GTI 4-3
Crédit photo : Ifsttar
Juillet 2017