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

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 :
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.

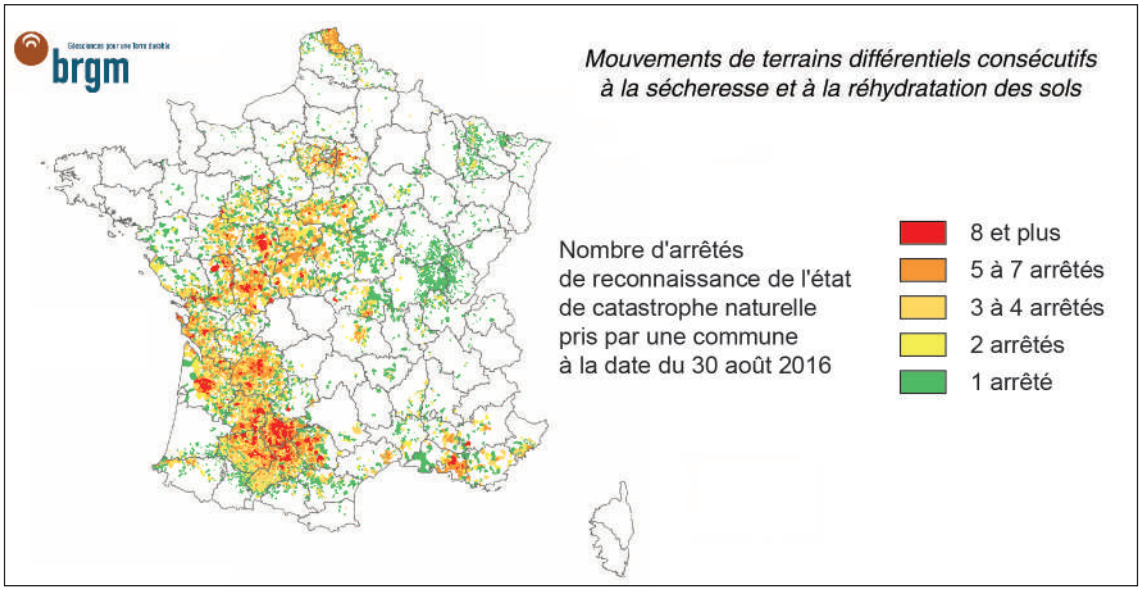
Il est important de souligner que l'application du guide 2 nécessite la connaissance de la sensibilité au risque retrait-gonflement des sols supports du projet de construction. Cette information ne peut être obtenue que par une reconnaissance géotechnique. Ainsi, les informations contenues dans le guide 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).

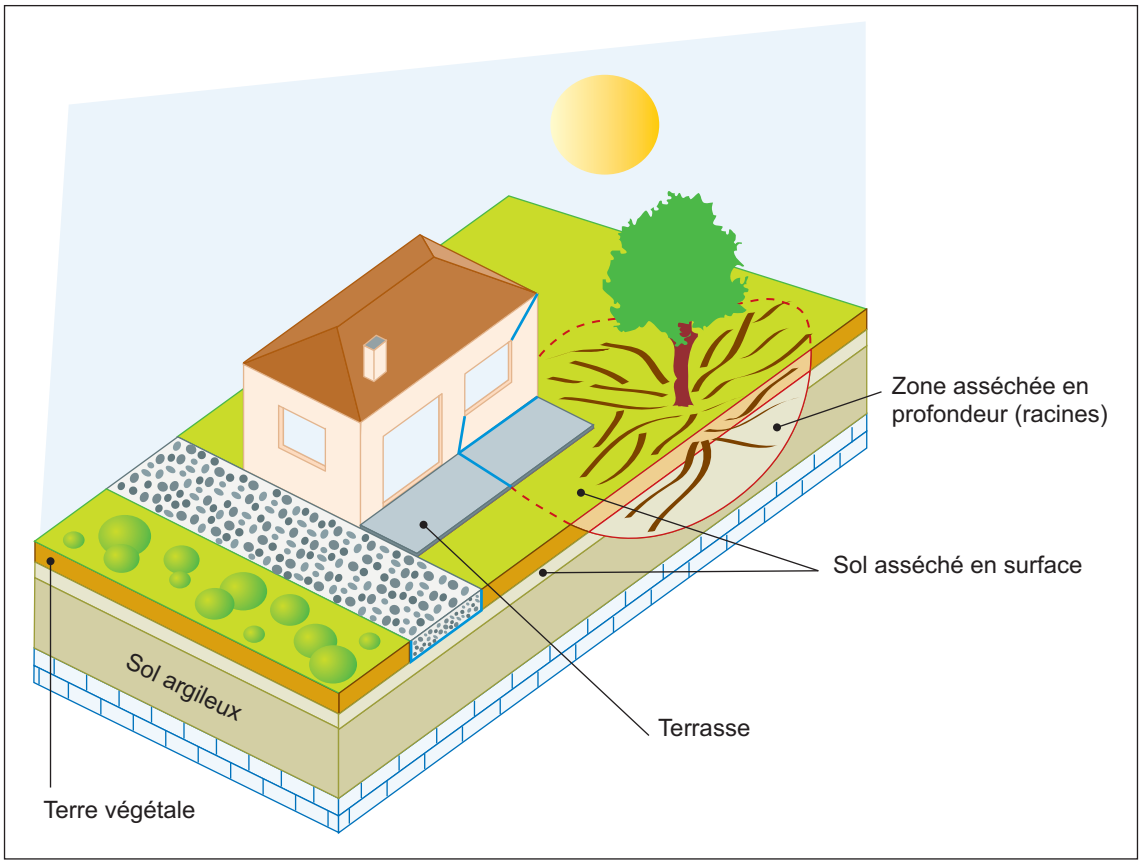


Figure 1
Vue d'une maison individuelle soumise à des phénomènes de retrait-gonflement

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).

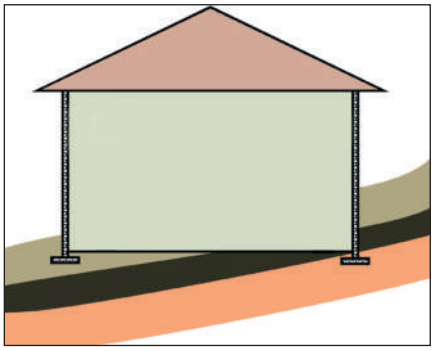


Figure 4
Dispositions constructives à éviter :
terrain en pente et fondations à la même cote

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.

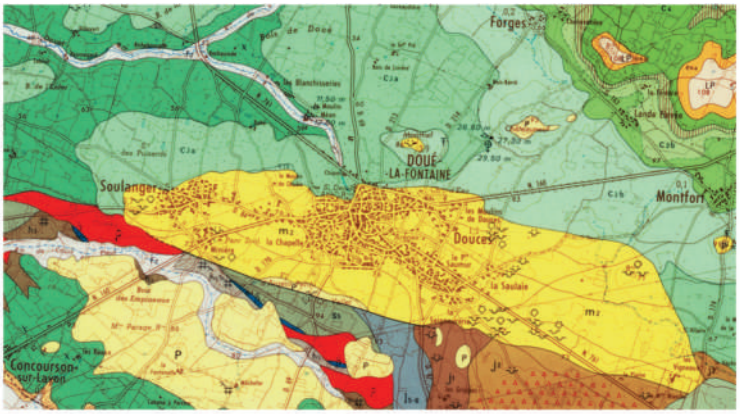
Dans certaines régions, il est possible d'accéder à des cartes pédologiques dérivées des cartes géologiques. La pédologie s'intéresse à l'évolution des sols superficiels sous l'action des climats et de la végétation. Elle prend en compte les propriétés physiques et chimiques des différents « horizons » 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 ?

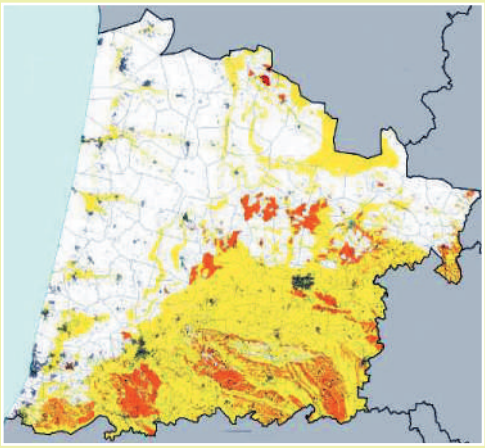
- En ligne : les études pédologiques sont principalement réalisées en France par l'Institut national de la Recherche agronomique (INRA) qui a notamment établi une base de données des sols de France à 1/100 000 (acquisition possible sur www.gissol.fr).
- À la chambre d'agriculture.
- En préfecture, DDT(M) 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.

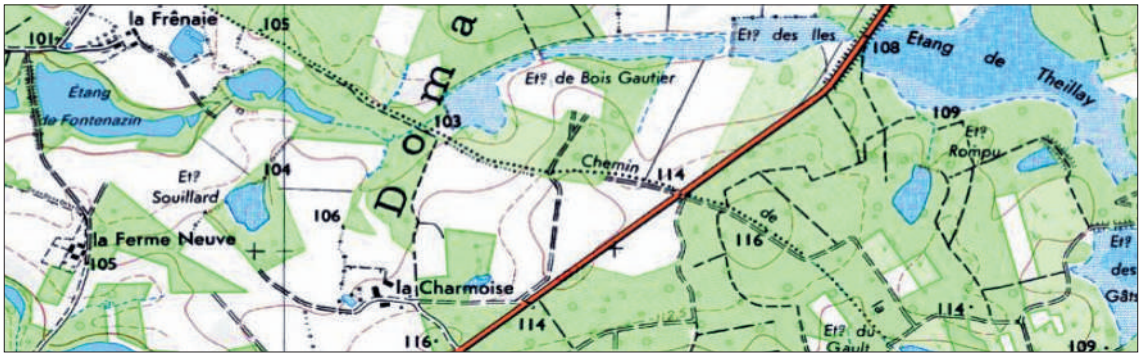


Figure 6 - Extraction du site GéoPortail de l'IGN
Les étangs montrent la présence de sols imperméables, les termes « la Frênaie, la Charmoise et le Theillay » indiquent la présence de frênes, de charmes et de tilleuls.

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)

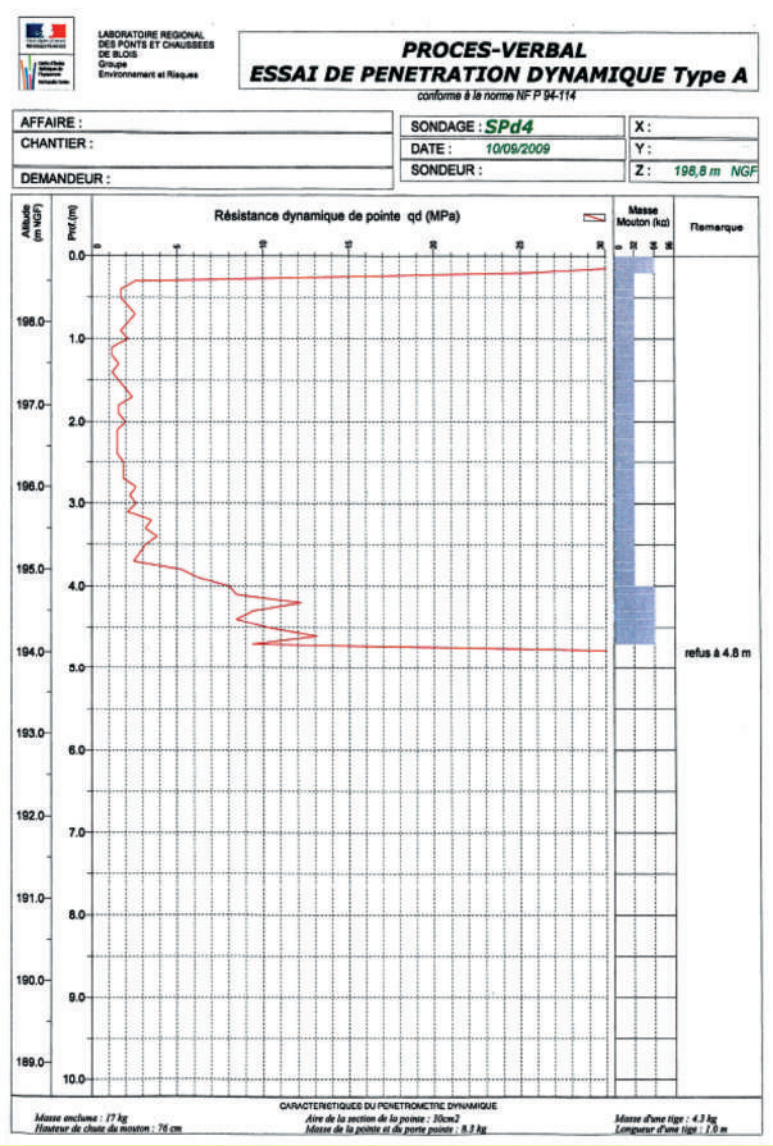
2.3.1.1. Sondages de reconnaissance

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.

<u>Définitions</u>

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.

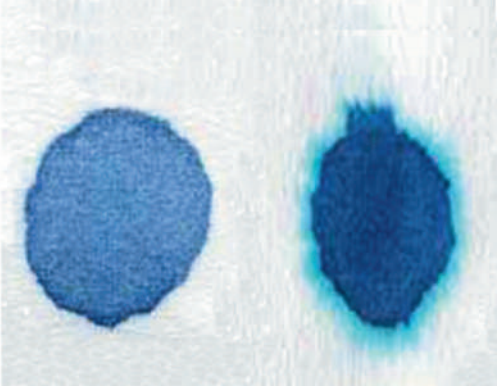
La courbe granulométrique des échantillons peut être déterminée par deux techniques :

- 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)

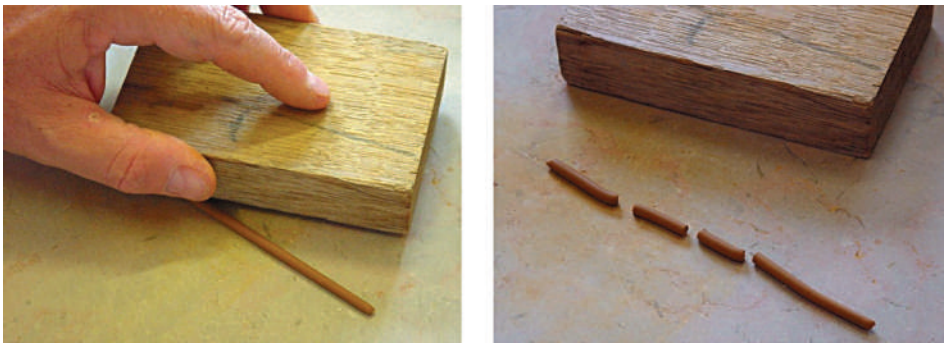
Prélèvement d'une goutte de solution



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.

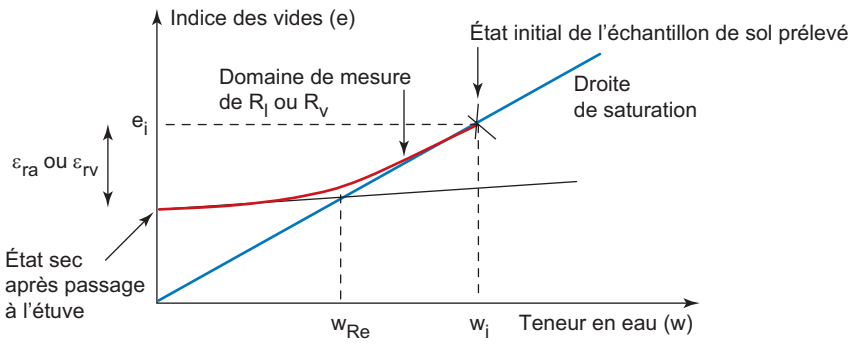
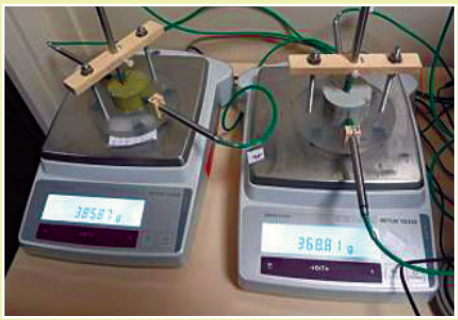


Figure 10
Courbe de retrait schématique
Identification des différents paramètres décrivant le retrait d'un sol

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.

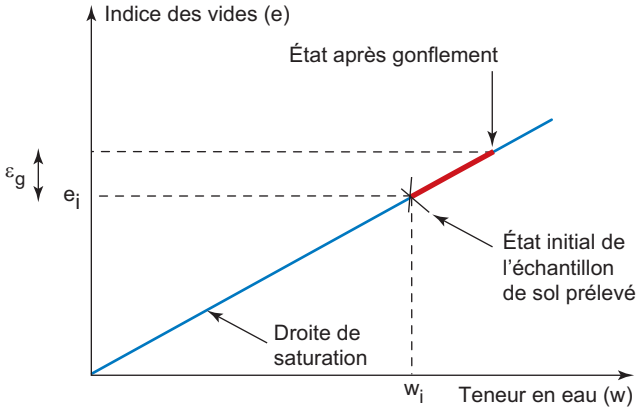
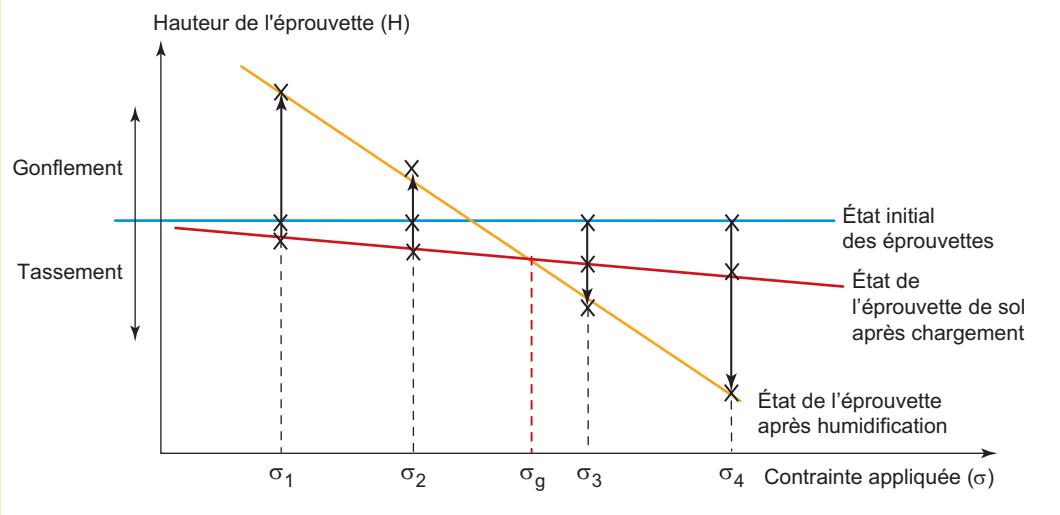


Figure 11
Courbe de gonflement schématique
Identification des différents paramètres décrivant le gonflement d'un sol

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.

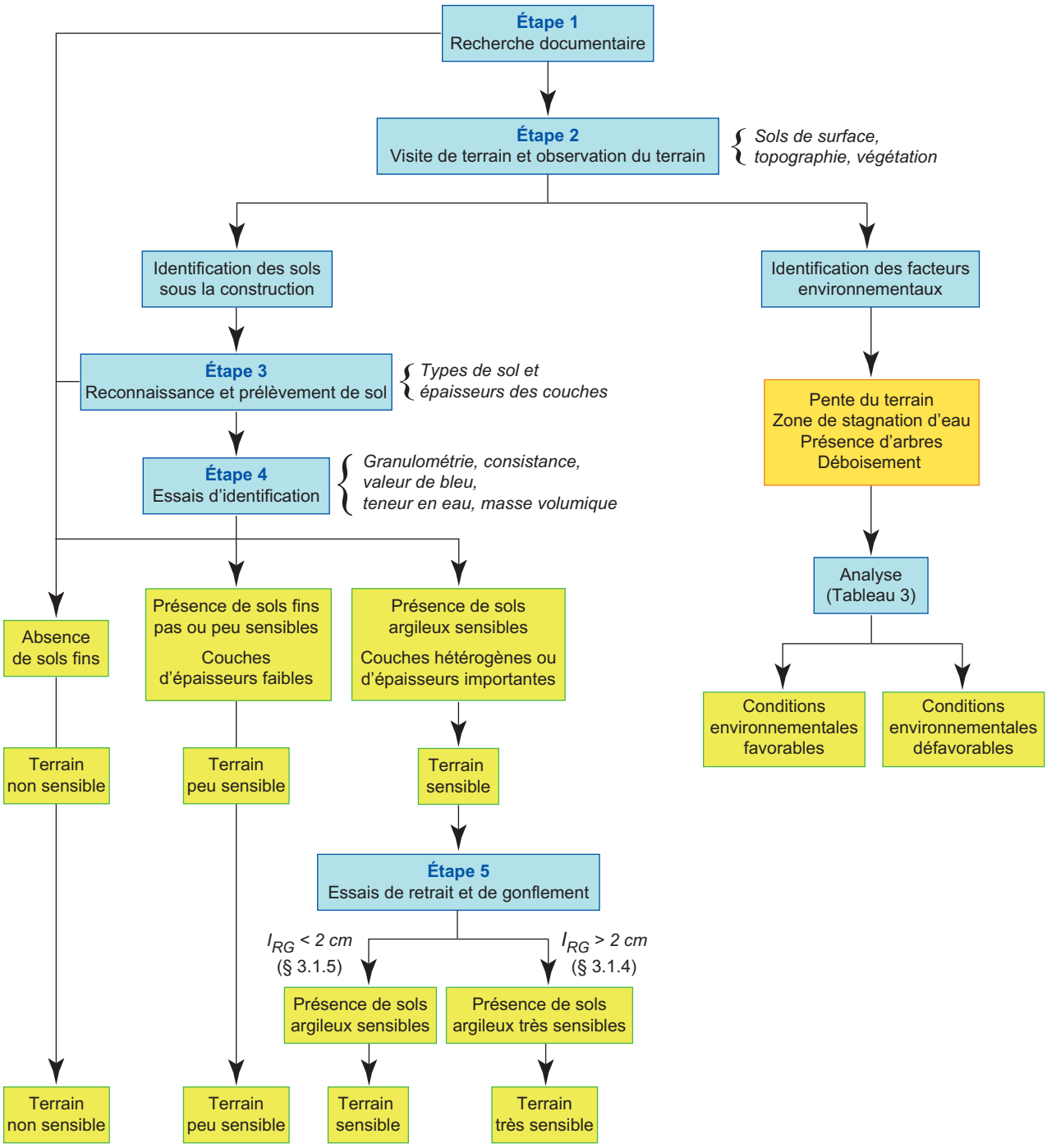


Figure 12
Procédure d'analyse des sols et de l'environnement

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, $C_{2\mu m}$. 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, $C_{2\mu m}$.

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

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

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		Sous collection
techniques et méthodes		guide technique
ISSN	**ISBN**	**Référence**
2492-5438	Papier : 978-2-85782-729-0 Pdf : 978-2-85782-724-5	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	Langue
Juillet 2017	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