

maître d'ouvrage



PREFECTURE DE L'INDRE  
direction départementale de  
l'Équipement

SEURH/BE  
Cité administrative  
Boulevard G.Sand  
36020 CHATEAUROUX

Vu pour être annexé

A l'arrêté Préfectoral

N° 2008-05.0210

En date du 27 10/08

Pour le Préfet,

et par délégation

Le Chef du S.I.A.C.E.D.P.C.



Jérôme FITZE

---

# Plan de prévention des risques naturels concernant les mouvements différentiels de terrain liés au phénomène de retrait-gonflement des argiles dans le département de l'Indre

Parc Naturel Régional de la Brenne

---

## Note de présentation

---

**PLAN DE PREVENTION DES RISQUES  
NATURELS PREVISIBLES (PPR)  
MOUVEMENTS DIFFÉRENTIELS DE TERRAIN LIÉS AU  
PHÉNOMÈNE DE RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES**

**Parc Naturel Régional de la Brenne**

**NOTE DE PRESENTATION**

## SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	2
PPR retrait-gonflement des argiles – Parc Naturel Régional de la Brenne.....	2
NOTE DE PRESENTATION.....	2
.....	2
LISTE DES ANNEXES.....	2
LISTE DES FIGURES.....	3
LISTE DES TABLEAUX.....	3
<b>1 INTRODUCTION.....</b>	<b>4</b>
<b>2 PRESENTATION DE LA ZONE ETUDIEE.....</b>	<b>5</b>
<b>3 Limites de l'étude.....</b>	<b>5</b>
<b>4 Contexte naturel départemental.....</b>	<b>5</b>
5 Situation géographique.....	5
6 Géologie.....	5
7 Hydrogéologie.....	7
<b>8 DESCRIPTION DES PHENOMENES ET DE LEURS CONSEQUENCES.....</b>	<b>7</b>
<b>9 SINISTRES OBSERVES DANS LE DEPARTEMENT.....</b>	<b>7</b>
<b>10 DESCRIPTION DE LA METHODOLOGIE D'ETABLISSEMENT DU PPR.....</b>	<b>7</b>
<b>11 Carte de l'aléa retrait-gonflement.....</b>	<b>7</b>
10	
<b>Fig. 2 : Carte d'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de l'Indre ....</b>	<b>10</b>
<b>12 Plan de zonage réglementaire.....</b>	<b>11</b>
<b>13 Réglementation.....</b>	<b>11</b>
<b>14 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES PREVENTIVES.....</b>	<b>11</b>
ANNEXE 1.....	13
Description des phénomènes de retrait-gonflement.....	13
des sols argileux et de leurs conséquences.....	13
1. Introduction aux problèmes de « retrait-gonflement ».....	13
2. Facteurs intervenant dans le mécanisme.....	14
2.1. Facteurs de prédisposition.....	14
2.2. Facteurs déclenchants et/ou aggravants.....	15
2.2.1. Phénomènes climatiques.....	15
2.2.2. Actions anthropiques.....	16
2.2.3. Conditions hydrogéologiques.....	16
2.2.4. Topographie.....	16
2.2.5. Végétation.....	17
2.3. Mécanismes et manifestations des désordres.....	17
Illustration des principales dispositions réglementaires de .....	19
prévention des risques de mouvements de terrain .....	19
différentiels liés au phénomène de retrait-gonflement des argiles.....	19
Extraits de la norme AFNOR NF P 94-500 (juin 2000).....	21

## LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Description des phénomènes de retrait-gonflement des sols argileux et de leurs conséquences

Annexe 2 : Illustration des principales dispositions réglementaires de prévention des risques de mouvements de terrain différentiels liés au phénomène de retrait-gonflement

Annexe 3 : Extraits de la norme AFNOR NF P 94-500 (juin 2000) intitulée « Missions géotechniques – Classifications et spécifications »

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1 : Carte synthétique des formations argilo-marneuses du département de l'Indre

Figure 2 : Carte départementale de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux de l'Indre

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1 : Classement des formations géologiques par niveau d'aléa

## **1 INTRODUCTION**

Les phénomènes de retrait et de gonflement de certains sols argileux ont été observés depuis longtemps dans les pays à climat aride et semi-aride où ils sont à l'origine de nombreux dégâts causés tant aux bâtiments qu'aux réseaux et voiries. En France, où la répartition pluviométrique annuelle est plus régulière et les déficits saisonniers d'humidité moins marqués, ces phénomènes n'ont été mis en évidence que plus récemment, en particulier à l'occasion des sécheresses de l'été 1976, et surtout des années 1989-90. Les dégâts observés concernent en France principalement le bâti individuel.

La prise en compte, par les assurances, de sinistres résultant de mouvements différentiels de terrain dus au retrait-gonflement des argiles a été rendue possible par l'application de la loi n° 82-600 du 13 juillet 1982, relative à l'indemnisation des victimes de catastrophe naturelle.

Depuis l'année 1989, date à laquelle cette procédure a commencé à être appliquée, plus de 5 000 communes françaises, ont été reconnues en état de catastrophe naturelle à ce titre. On évalue à plus de 3 milliards d'euros le coût cumulé des sinistres « sécheresse » indemnisés en France, en application de la loi de 1982.

Le département de l'Indre fait partie de ceux qui ont été particulièrement touchés par de nombreux désordres du bâti du fait de ce phénomène. Entre décembre 1991 et janvier 2003, 49 arrêtés inter-ministériels ont ainsi été pris, reconnaissant l'état de catastrophe naturelle pour ce seul aléa dans 143 communes du département (soit 58 % des 247 communes que compte l'Indre). Dans le cadre de l'étude départementale d'aléa réalisée en 2002 par le BRGM, 1 118 sites de sinistres, répartis dans 118 communes de l'Indre, ont ainsi été recensés pour la période 1989-2000, ce qui constitue très vraisemblablement une estimation minorée de la réalité.

L'examen de nombreux dossiers de diagnostics ou d'expertises révèle que beaucoup de sinistres auraient sans doute pu être évités ou que du moins leurs conséquences auraient pu être limitées, si certaines dispositions constructives avaient été respectées pour des bâtiments situés en zones sensibles au phénomène.

C'est pourquoi l'État a souhaité engager une politique de prévention vis-à-vis de ce risque en incitant les maîtres d'ouvrage à respecter certaines règles constructives. Cette démarche s'inscrit dans le cadre d'une politique générale visant à limiter les conséquences humaines et économiques des catastrophes naturelles, par la mise en œuvre de Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles (PPR), ce qui consiste à délimiter des zones apparaissant exposées à un niveau de risque homogène et à définir, pour chacune de ces zones, les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde qui doivent y être prises, en application de la loi n° 95-101 du 2 février 1995.

Dans le cas particulier du phénomène de retrait-gonflement des argiles, les zones concernées, même soumises à un aléa considéré comme élevé, restent constructibles. Les prescriptions imposées sont, pour l'essentiel, des règles de bon sens dont la mise en œuvre n'engendre qu'un surcoût relativement modique, mais dont le respect permet de réduire considérablement les désordres causés au bâti même en présence de terrains fortement susceptibles vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement.

Cette réglementation concerne essentiellement les constructions futures. Quelques consignes s'appliquent toutefois aux bâtiments existants afin de limiter les facteurs déclenchants et/ou aggravants du phénomène de retrait-gonflement.

Le non respect du règlement du PPR peut conduire à la perte du droit à l'indemnisation de sinistres déclarés, et ceci malgré la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle.

## **2 PRESENTATION DE LA ZONE ETUDIEE**

### **3 Limites de l'étude**

Le présent PPR couvre l'ensemble du territoire du Parc Naturel Régional de la Brenne (département de l'Indre).

### **4 Contexte naturel départemental**

#### **5 Situation géographique**

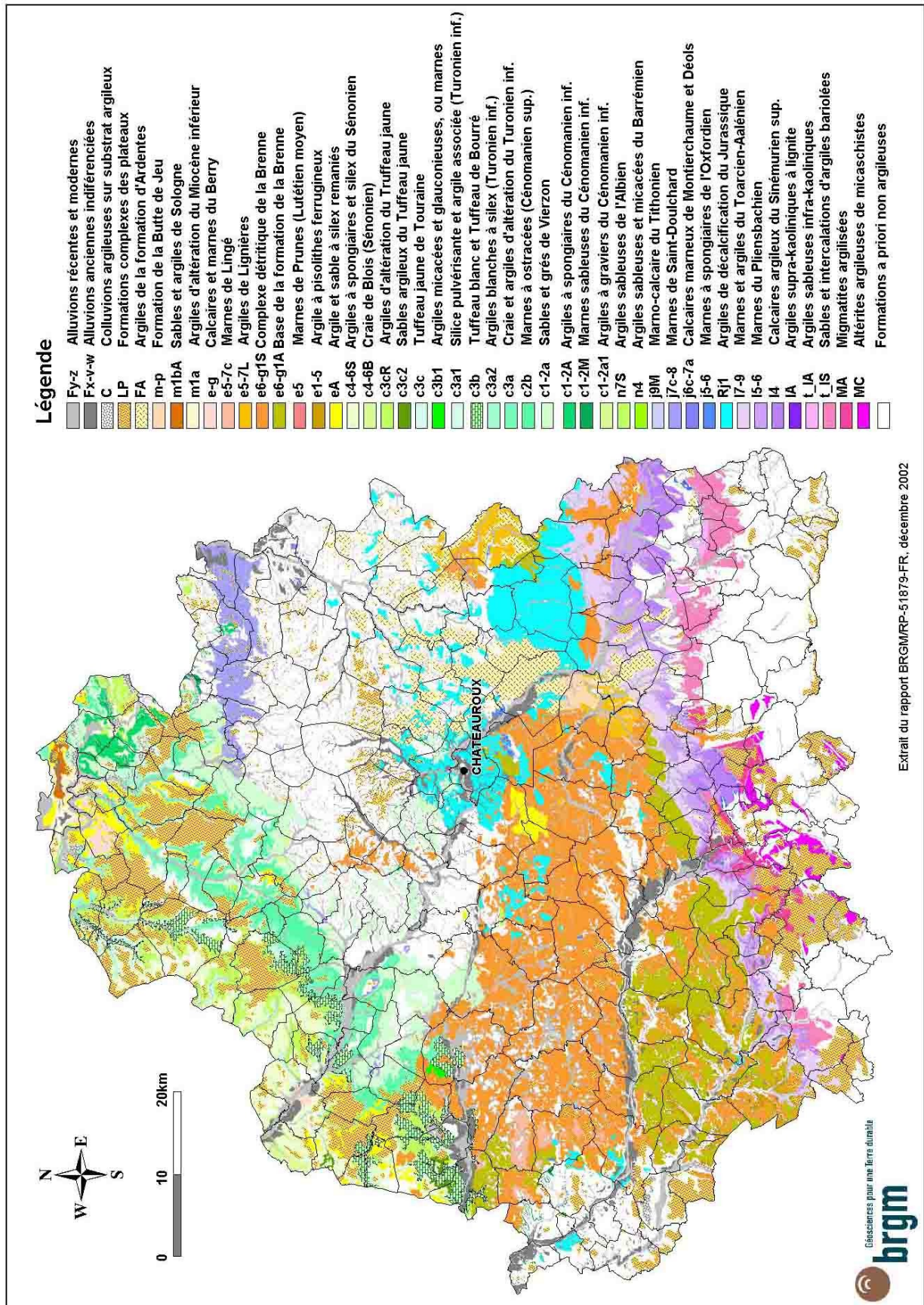
Le département de l'Indre est divisé en 247 communes et couvre une superficie de 6 881 km<sup>2</sup>. Il est assez peu urbanisé (231 190 habitants au recensement de 1999) et se caractérise par un habitat essentiellement rural, un tiers de la population se trouvant cependant concentrée à Châteauroux et dans les trois chef-lieux d'arrondissement (Issoudun, Le Blanc et La Châtre). Quatre entités géomorphologiques peuvent être distinguées : le Boischaut Nord (situé au nord-ouest du département, zone vallonnée, entaillée par les affluents du Cher), la Brenne (au centre-ouest, pays de landes et d'étangs, au relief peu marqué, avec quelques croupes boisées), le Boischaut Sud (au sud du département, riche terroir de bocages et de vallées, au relief plus accidenté, en bordure du Massif Central) et la Champagne berrichonne (vaste plaine céréalière faiblement ondulée, développée au centre-est du département).

#### **6 Géologie**

La connaissance de l'aléa retrait-gonflement passe par une étude détaillée de la géologie du département, en s'attachant particulièrement aux formations contenant de l'argile (argiles proprement dites mais aussi marnes, altérites, alluvions, limons, sables argileux, etc.). Il est en effet important de déterminer, pour chaque formation, la nature lithologique des terrains ainsi que les caractéristiques minéralogiques et géotechniques de leur phase argileuse. Cette analyse a été effectuée principalement à partir des données déjà disponibles sur le sujet et notamment à partir des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 publiées par le BRGM et de l'analyse des données de sondages contenues dans la Banque de données du Sous-Sol gérée par le BRGM. Elle reflète donc l'état actuel des connaissances sur la géologie des formations superficielles de l'Indre, mais est susceptible d'évoluer au fur et à mesure de l'acquisition de nouvelles données locales sur le proche sous-sol.

La carte géologique des formations argilo-marneuses présentée en figure 1 est une carte synthétique qui résulte d'une analyse interprétative à partir des connaissances actuellement disponibles. Certaines unités stratigraphiques ont été regroupées dans la mesure où leur nature lithologique similaire le justifiait. Par ailleurs, les formations considérées comme a priori non argileuses n'ont pas été figurées sur cette carte, ce qui n'exclut pas que des poches ou placages argileux, non identifiés sur les cartes géologiques actuellement disponibles, peuvent s'y rencontrer localement.

Cette synthèse géologique départementale indique que plus de 70 % de la superficie de l'Indre est concernée par des formations à dominante argileuse plus ou moins marquée, et donc soumises à un risque de retrait-gonflement. Les formations argilo-marneuses ainsi identifiées sont en définitive au nombre de 46. Ceux dont la surface d'affleurement est la



Extrait du rapport BRGM/FP-51879-FR, décembre 2002



Fig. 1 : Carte géologique synthétique des formations argileuses de l'Indre

plus étendue sont les Sables argileux associés au complexe détritique de la Brenne, qui couvre une large partie centrale du département mais ne représentent que 13 % de sa superficie totale. Puis viennent les alluvions récentes du Quaternaire, développées dans le lit majeur des cours d'eau, et les formations complexes des plateaux, chacune des autres formations identifiées comme argilo-marneuses occupant moins de 5 % de la surface du département.

## **7 Hydrogéologie**

Les fluctuations du niveau des nappes phréatiques peuvent avoir une incidence sur la teneur en eau (dessiccation ou imbibition) dans certaines formations à alternance argilo-sableuse, et contribuer ainsi au déclenchement ou à l'aggravation de mouvements de terrain différentiels.

Plusieurs cas de sinistres survenus dans le département sont à relier à ce type de mécanisme. Ceci concerne en particulier les petites nappes superficielles développées localement dans les terrains de recouvrement tertiaires (Éocène) et certaines nappes alluviales. Un abaissement saisonnier du niveau de ces nappes entraîne une diminution de la teneur en eau des argiles situées en surface.

## **8 DESCRIPTION DES PHENOMENES ET DE LEURS CONSEQUENCES**

Les principales caractéristiques des phénomènes de retrait-gonflement des sols argileux et leurs conséquences sont rappelées en annexe 1.

## **9 SINISTRES OBSERVES DANS LE DEPARTEMENT**

Entre décembre 1990 et janvier 2003, 143 des 247 communes que compte le département de l'Indre (soit 58 % d'entre elles) ont été reconnues en état de catastrophe naturelle au titre de mouvements différentiels de sols liés au phénomène de retrait-gonflement des argiles, ce qui représente environ 62 % de la superficie totale du département.

Le nombre total de sites de sinistres recensés et localisés par le BRGM dans le cadre de l'étude départementale d'aléa s'élève à 1 118, répartis dans 118 communes, mais ce nombre constitue très vraisemblablement une estimation très minorée de la réalité.

Les périodes prises en compte dans ces arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle s'étalent entre août 1988 et décembre 1998 et le nombre total d'occurrences (en distinguant commune par commune) s'élève à 367. De 1989 à 1997, 45 % des communes du département en moyenne a été chaque année reconnu en état de catastrophe naturelle à ce titre, avec un maximum de 66 % en 1997, représentant 67 % de la superficie du département (en 1990, cette proportion atteignait 56 %). Tout ceci plaçait l'Indre en 2003 en deuxième position des départements français eu égard au nombre d'arrêtés de catastrophe naturelle sécheresse (49 depuis 1991) mais en vingt-troisième place seulement pour ce qui est du montant cumulé des indemnités versées à ce titre.

## **10 DESCRIPTION DE LA METHODOLOGIE D'ETABLISSEMENT DU PPR**

### **11 Carte de l'aléa retrait-gonflement**

Afin de circonscrire les zones à risque, le BRGM a dressé, pour l'ensemble du département de l'Indre, une carte de l'aléa retrait-gonflement (figure 2). L'aléa correspond par définition à la probabilité d'occurrence du phénomène. Il est ici approché de manière qualitative à partir d'une hiérarchisation des formations géologiques argileuses du département vis-à-vis du

phénomène de retrait-gonflement. Pour cela, on établit d'abord une carte de susceptibilité, sur la base d'une caractérisation purement physique des formations géologiques à partir des critères suivants :

- la proportion de matériau argileux au sein de la formation (analyse lithologique) ;
- la proportion de minéraux gonflants dans la phase argileuse (composition minéralogique) ;
- le comportement géotechnique du matériau ;

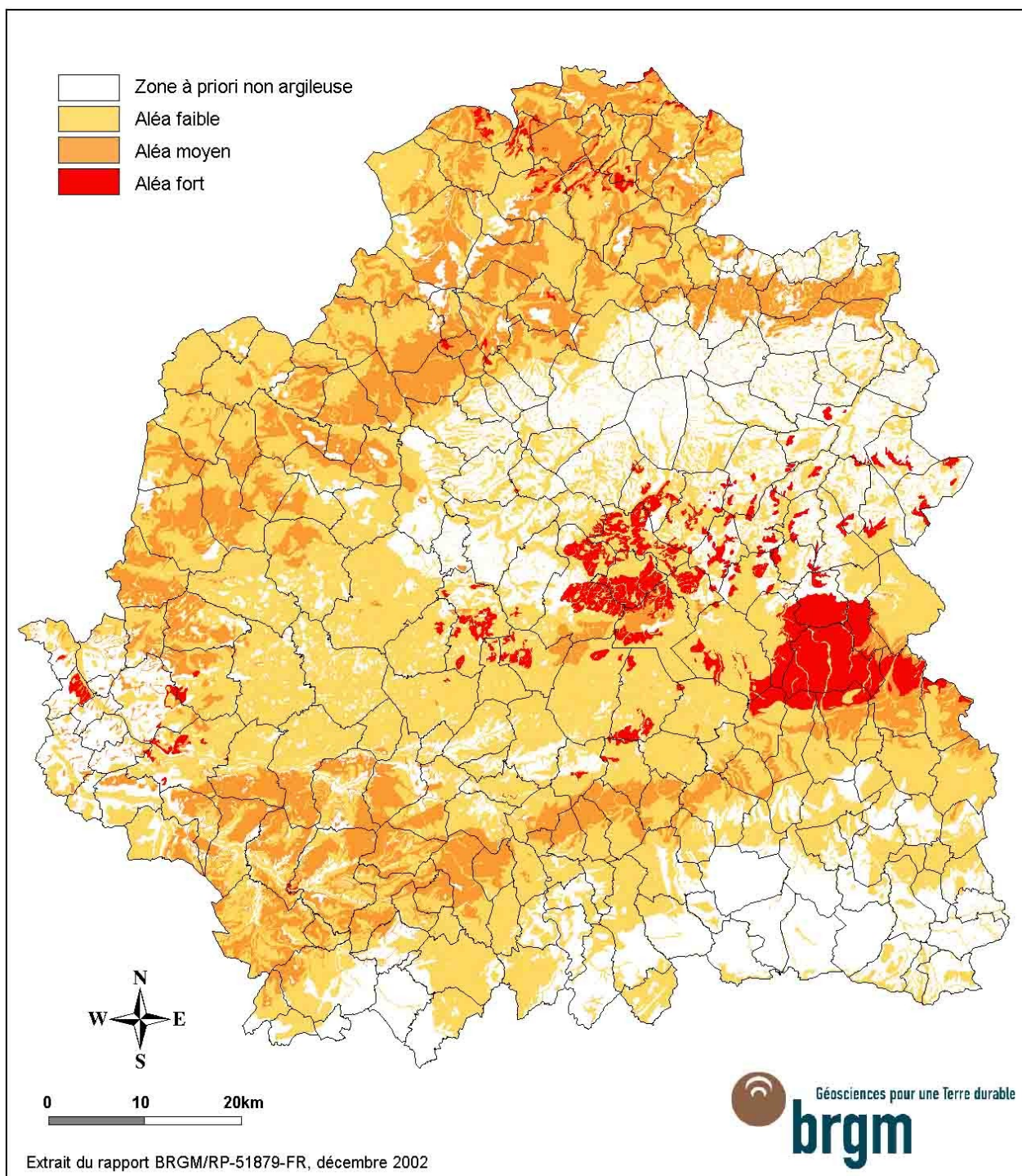
Pour chacune des 46 formations argilo-marneuses identifiées, le niveau d'aléa est en définitive la résultante du niveau de susceptibilité ainsi obtenu avec la densité de sinistres retrait-gonflement, rapportée à 100 km<sup>2</sup> de surface d'affleurement réellement urbanisée (pour permettre des comparaisons fiables entre formations). La synthèse des résultats obtenus est présentée dans le tableau 1 ci-après.

<b>Formation géologique</b>	<b>Superficie</b> (en % de la surface du département)
<b>Formations à aléa fort</b>	
Argiles blanches à silex du Turonien inférieur (c3a2)	0,29
Argiles de décalcification des calcaires Jurassique (Rj1)	3,95
<b>Formations à aléa moyen</b>	
Calcaire et marnes du Berry (e-g)	0,24
Argile et sable à débris de silex (eA)	1,15
Craie marneuse et argile d'altération Turonien inf. (c3a)	1,26
Argiles et marnes à Ostracées Cénomaniens sup. (c2b)	1,51
Argiles et siltites à spicules du Cénomaniens inf. (c1-2A)	0,43
Marnes glauconieuses Cénomaniens inf. (c1-2M)	0,07
Argiles sableuses à graviers Cénomaniens inf. (c1-2a1)	0,09
Marnes à spongiaires de l'Oxfordien moyen à sup. (j5-6)	0,06
Craie marneuse et argiles d'altération Turonien inf. (c3a)	0,65
Colluvions argileuses sur substrat argileux (C)	1,22
Marnes et argiles de la série de la Brenne. Marnes de Lingé (e5-7c)	0,34
Argile et argile sableuse à la base de la formation de la Brenne (e6-g1A)	4,19
Argiles à silex, altération du Tuffeau jaune (c3cR)	1,33
Craie marneuse, Tuffeau blanc, Tuffeau de Bourré (c3b)	1,46
Marnes de Saint-Doulchard (j7c-8)	1,16
Marnes et argiles du Toarcien-Aalénien (l7-9)	2,04
Argiles de décalcification calcaires de Beauce (m1a)	0,20
Sables et argiles de Sologne (m1bA)	0,08

<b>Formations à aléa faible</b>	
Formation d'Ardentes (FA)	2,84
Sables argileux du complexe de la Brenne (e6-g1S)	13,09
Argile à minerai de fer (e1-5)	0,46
Argiles à spicules de spongiaires du Sénonien (c4-6S)	1,93
Tuffeau jaune de Touraine, craie marneuse (c3c)	0,48
Sables glauconieux de Vierzon avec argiles (c1-2a)	3,77
Argiles et marnes supra-kaoliniques à lignite (IA)	0,05
Argiles sableuses infra-kaoliniques (t-IA)	0,15
Argiles de Lignières (série de la Brenne) (e5-7L)	0,66
Marnes de Prunes du Lutétien moyen (e5)	0,00
Craie tendre de Blois du Sénonien (c4-6B)	0,12
Argiles micacées et glauconieuses ou marnes du Turonien moyen (c3b1)	0,03
Argiles sableuses et sables argileux de l'Albien (n7S)	0,22
Argiles sableuses à minerai de fer du Barrémien (n4)	0,00
Marno-calcaire du Tithonien (j9M)	0,02
Marnes et calcaires marneux du Pliensbachien (l5-6)	1,29
Marnes à gryphées du Sinémurien supérieur (l4)	1,05
Migmatites argilisées (MA)	0,54
Alluvions récentes et modernes (Fy-z)	9,44
Alluvions anciennes indifférenciées (Fx-v-w)	2,75
Formations complexes des plateaux (LP)	8,71
Formation de la Butte de Jeu (m-p)	0,29
Sables, grès, et intercalations d'argiles bariolées (t-IS)	1,37
Altérites argileuses de micaschistes très phylliteux (MC)	0,44
Sables argileux et glauconieux dans le Tuffeau jaune (c3c2)	0,08
Calcaires marneux de Montierchaume et Déols (j6c-7a)	0,02

**Tabl. 1 - Classement des formations géologiques par niveau d'aléa**

La répartition cartographique des zones d'aléa est présentée sur la carte de la figure 2. En définitive, un peu plus de 4 % de la superficie du département est située en zone d'aléa fort, 17,5 % en zone d'aléa moyen et 28,5 % en aléa faible, le reste, soit environ 30 % du département étant en zone a priori non argileuse, en principe non exposée aux risques de retrait-gonflement (ce qui n'exclut pas la présence, localement, de poches ou de placages argileux non cartographiés). La zone d'aléa élevé située dans les proches environs de Châteauroux explique assez bien la forte concentration de sinistres observée dans ce secteur.



**Fig. 2 : Carte d'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de l'Indre.**

## **12 Plan de zonage réglementaire**

Le tracé du zonage réglementaire établi pour chacune des communes du département de l'Indre a été extrapolé directement à partir de la carte d'aléa départementale, en intégrant une marge de sécurité de 50 m de largeur pour tenir compte de l'imprécision des contours qui sont valides à l'échelle 1/50 000. Le plan de zonage a été établi sur fond cartographique extrait des cartes IGN à l'échelle 1/25 000 et agrandi à l'échelle 1/10 000.

Par souci d'homogénéité avec la méthodologie appliquée sur le reste du territoire national, les zones exposées à un aléa fort sont notées B1 et représentées avec un figuré de couleur bleu foncé, celles correspondant à un aléa faible à moyen ont été regroupées en une zone unique, de couleur bleu clair, notée B2. La carte réglementaire traduit ainsi directement la carte d'aléa et présente donc seulement deux zones réglementées.

## **13 Réglementation**

Le règlement du PPR décrit les différentes prescriptions et recommandations destinées à s'appliquer à la zone réglementée. Ces prescriptions sont pour l'essentiel des dispositions constructives et visent surtout la construction de maisons neuves. Certaines s'appliquent néanmoins aussi aux constructions existantes, avec pour principal objectif de ne pas aggraver la vulnérabilité actuelle de ces maisons vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement.

Le PPR approuvé vaut servitude d'utilité publique et est opposable aux tiers. A ce titre il doit être annexé au Plan Local d'Urbanisme (PLU) conformément à l'article 126.1 du Code de l'Urbanisme. Comme spécifié dans l'article 16.1 de la loi n° 95.101 du 2 février 1995, le respect des prescriptions obligatoires s'applique à toute nouvelle construction (dans les zones concernées) dès l'approbation du PPR. Les propriétaires des constructions existantes disposent d'un délai maximum de cinq ans pour s'y conformer.

Le fait de construire ou d'aménager un terrain dans une zone réglementée par un PPR, et de ne pas respecter les conditions de réalisation, d'utilisation ou d'exploitation prescrites par ce plan est puni des peines prévues à l'article L. 480-4 du Code de l'Urbanisme. Le non respect des dispositions du PPR peut notamment entraîner une restriction des dispositifs d'indemnisation en cas de sinistre, même si la commune est reconnue en état de catastrophe naturelle au titre de mouvements différentiels de sols liés au retrait-gonflement.

## **14 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES PREVENTIVES**

Les dispositions constructives décrites dans le règlement du PPR, qu'elles aient un caractère informatif ou obligatoire, ne sont évidemment pas exhaustives en ce sens qu'elles ne se substituent pas aux documents normatifs en vigueur (NF – DTU) mais qu'elles les complètent. La mise en application de ces dispositions ne dispense donc pas de respecter l'ensemble des règles de l'art en vigueur dans le domaine de la construction.

Par ailleurs, il s'agit de dispositions préventives et non curatives. Elles ne s'appliquent donc pas nécessairement en cas de sinistre avéré, pour lequel il convient de faire appel à des méthodes de réparation spécifiques.

Une partie des mesures décrites dans le règlement est illustrée en annexe 2.

Concernant les constructions nouvelles en zone réglementées par le PPR et pour ce qui est des maisons individuelles (hors permis de construire groupé), le choix est laissé entre deux options. La première consiste à faire réaliser par un bureau d'études géotechniques une

reconnaissance de sol de type G0 + G12 (cf. annexe 5) qui permettra de vérifier si, au droit de la parcelle, le proche sous-sol contient effectivement des matériaux sujets au retrait-gonflement (dans le cas contraire, le constructeur s'exonère ainsi de toute disposition constructive spécifique) et de déterminer quelles sont les mesures particulières à observer pour réaliser le projet en toute sécurité en prenant en compte cet aléa. La seconde option consiste à appliquer directement un certain nombre de mesures préventives qui concernent autant la construction elle-même que son environnement immédiat, mesures de nature à éviter a priori tout risque de désordre important même en présence de matériaux très sensibles au retrait-gonflement. Il va de soi que la première option est préférable, d'une part parce qu'elle permet de lever d'éventuelles incertitudes quant à la nature exacte des matériaux au droit de la parcelle à construire, et d'autre part parce qu'elle permet une adaptation plus fine du projet au contexte géologique local. Pour tous les autres bâtiments projetés en zone d'aléa retrait-gonflement (à l'exception de ceux à usage purement agricole et des annexes d'habitation non accolées au bâtiment principal), c'est cette première option qui s'impose.

Concernant les mesures constructives et d'environnement préconisées, les principes ayant guidé leur élaboration sont en particulier les suivants :

- Les fondations doivent être suffisamment profondes pour s'affranchir de la zone superficielle où le sol est sensible à l'évaporation ;
- Elles doivent être ancrées de manière homogène sur tout le pourtour du bâtiment (ceci vaut notamment pour les terrains en pente ou à sous-sol hétérogène, mais explique aussi l'interdiction des sous-sols partiels qui induisent des hétérogénéités d'ancrage) ;
- La structure du bâtiment doit être suffisamment rigide pour résister à des mouvements différentiels, d'où l'importance des chaînages haut et bas ;
- En cas de source de chaleur en sous-sol (chaudière notamment), les échanges thermiques à travers les parois doivent être limités pour éviter d'aggraver la dessiccation du terrain en périphérie ;
- Tout élément de nature à provoquer des variations saisonnières d'humidité du terrain (arbre, drain, pompage ou au contraire infiltration localisée d'eaux pluviales ou d'eaux usées) doit être le plus éloigné possible de la construction ;
- Sous la construction, le sol est à l'équilibre hydrique alors que tout autour il est soumis à évaporation saisonnière, ce qui tend à induire des différences de teneur en eau au droit des fondations. Pour l'éviter, il convient d'entourer la construction d'un dispositif, le plus large possible, qui protège sa périphérie immédiate de l'évaporation.

## ANNEXE 1

### Description des phénomènes de retrait-gonflement des sols argileux et de leurs conséquences

Le phénomène de retrait-gonflement concerne exclusivement les sols à dominante argileuse.

Ce sont des sols fins comprenant une proportion importante de minéraux argileux et le plus souvent dénommés « argiles », « glaises », « marnes » ou « limons ». Ils sont caractérisés notamment par une consistance variable en fonction de la quantité d'eau qu'ils renferment : collant aux mains, parfois « plastiques », lorsqu'ils sont humides, durs et parfois pulvérulents à l'état desséché.

Les sols argileux se caractérisent essentiellement par une grande influence de la teneur en eau sur leur comportement mécanique.

#### **1. Introduction aux problèmes de « retrait-gonflement »**

Par suite d'une modification de leur teneur en eau, les terrains superficiels argileux varient de volume : retrait lors d'une période d'assèchement, gonflement lorsqu'il y a apport d'eau. Cette variation de volume est accompagnée d'une modification des caractéristiques mécaniques de ces sols.

Ces variations sont donc essentiellement gouvernées par les conditions météorologiques, mais une modification de l'équilibre hydrique établi (imperméabilisation, drainage, concentration de rejet d'eau pluviale...) ou une conception des fondations du bâtiment inadaptée à ces terrains sensibles peut tout à fait jouer un rôle pathogène.

La construction d'un bâtiment débute généralement par l'ouverture d'une fouille qui se traduit par une diminution de la charge appliquée sur le terrain d'assise. Cette diminution de charge peut provoquer un gonflement du sol en cas d'ouverture prolongée de la fouille (c'est pourquoi il est préconisé de limiter au maximum sa durée d'ouverture).

La contrainte appliquée augmente lors de la construction du bâtiment, et s'oppose plus ou moins au gonflement éventuel du sol. On constate en tout cas que plus le bâtiment est léger, plus la surcharge sur le terrain sera faible et donc plus l'amplitude des mouvements liés au phénomène de retrait-gonflement sera grande.

Une fois le bâtiment construit, la surface du sol qu'il occupe devient imperméable. L'évaporation ne peut plus se produire qu'en périphérie de la maison. Il apparaît donc un gradient entre le centre du bâtiment (où le sol est en équilibre hydrique) et les façades, ce qui explique que les fissures apparaissent de façon préférentielle dans les angles.

Une période de sécheresse provoque le retrait qui peut aller jusqu'à la fissuration du sol. Le retour à une période humide se traduit alors par une pénétration d'autant plus brutale de l'eau dans le sol par l'intermédiaire des fissures ouvertes, ce qui entraîne des phénomènes de gonflement. Le bâtiment en surface est donc soumis à des mouvements différentiels alternés dont l'influence finit par amoindrir la résistance de la structure. Contrairement à un phénomène de tassement des sols de remblais, dont les effets diminuent avec le temps, les

désordres liés au retrait-gonflement des sols argileux évoluent d'abord lentement puis s'amplifient lorsque le bâtiment perd de sa rigidité et que la structure originelle des sols s'altère.

Retrait et gonflement sont deux mécanismes liés. Il arrive que leurs effets se compensent (des fissures apparues en été se referment parfois en hiver), mais la variabilité des propriétés mécaniques des sols de fondations et l'hétérogénéité des structures (et des régimes de contraintes) font que les phénomènes sont rarement complètement réversibles.

L'intensité de ces variations de volume, ainsi que la profondeur de terrain affectée par ces mouvements de « retrait-gonflement » dépendent essentiellement :

- des caractéristiques du sol (nature, géométrie, hétérogénéité) ;
- de l'épaisseur de sol concernée par des variations de teneurs en eau : plus la couche de sol concernée par ces variations est épaisse, plus les mouvements en surface seront importants. L'amplitude des déformations s'amortit cependant assez rapidement avec la profondeur et on considère généralement qu'au-delà de 3 à 5 m, le phénomène s'atténue, car les variations saisonnières de teneurs en eau deviennent négligeables ;
- de l'intensité des facteurs climatiques (amplitude et surtout durée des périodes de déficit pluviométrique...) ;
- de facteurs d'environnement tels que :
  - . la végétation ;
  - . la topographie (pente) ;
  - . la présence d'eaux souterraines (nappe, source...) ;
  - . l'exposition (influence sur l'amplitude des phénomènes d'évaporation).

Ces considérations générales sur le mécanisme de retrait-gonflement permettent de mieux comprendre comment se produisent les sinistres « sécheresse » liés à des mouvements différentiels du sol argileux et quels sont les facteurs qui interviennent dans le processus. On distingue pour cela les facteurs de prédisposition (conditions nécessaires à l'apparition de ce phénomène), qui déterminent la répartition spatiale de l'aléa, et des facteurs qui vont influencer ce phénomène soit en le provoquant (facteurs de déclenchement), soit en accentuant les effets (facteurs aggravants).

## **2. Facteurs intervenant dans le mécanisme**

### **2.1. Facteurs de prédisposition**

Il s'agit des facteurs dont la présence induit le phénomène de retrait-gonflement mais ne suffit pas à le déclencher. Ces facteurs sont fixes ou évoluent très lentement avec le temps. Ils conditionnent la répartition spatiale du phénomène et permettent de caractériser la susceptibilité du milieu.

Vis à vis du phénomène de retrait-gonflement, la nature lithologique du sol constitue le facteur de prédisposition prédominant. Les terrains susceptibles de retrait-gonflement sont des formations argileuses au sens large, mais leur nature peut être très variable : dépôts sédimentaires argileux, calcaires argileux, marno-calcaires, dépôts alluvionnaires, colluvions, roches éruptives ou métamorphiques altérées, etc.

La géométrie de la formation géologique a une influence dans la mesure où l'épaisseur de la couche de sol argileux joue sur l'amplitude du phénomène. Une formation argileuse continue

sera plus dangereuse qu'un simple inter-lit argileux entre deux bancs calcaires. Mais cette dernière configuration peut dans certains cas conduire à l'apparition de désordres.

Le facteur principal est cependant lié à la nature minéralogique des composants argileux présents dans le sol. Un sol est généralement constitué d'un mélange de différents minéraux dont certains présentent une plus grande aptitude au phénomène de retrait-gonflement. Il s'agit essentiellement des smectites (famille de minéraux argileux tels que la montmorillonite), de certains interstratifiés, de la vermiculite et de certaines chlorites.

Les conditions d'évolution du sol après dépôt jouent également. Le contexte paléoclimatique auquel le sol a été soumis est susceptible de provoquer une évolution de sa composition minéralogique : une altération en climat chaud et humide (de type intertropical) facilite la formation de minéraux argileux gonflants. L'évolution des contraintes mécaniques appliquées intervient aussi : un dépôt vasard à structure lâche sera plus sensible au retrait qu'un matériau « surconsolidé » (sol ancien ayant subi un chargement supérieur à celui des terrains sus-jacents actuels), lequel présentera plutôt des risques de gonflement.

## **2.2. Facteurs déclenchants et/ou aggravants**

Les facteurs de déclenchement sont ceux dont la présence provoque le phénomène de retrait-gonflement mais qui n'ont d'effet significatif que s'il existe des facteurs de prédisposition préalables. La connaissance des facteurs déclenchants permet de déterminer l'occurrence du phénomène (autrement dit l'aléa et non plus seulement la susceptibilité).

Certains de ces facteurs ont plutôt un rôle aggravant : ils ne suffisent pas à eux seuls à déclencher le phénomène, mais leur présence contribue à en alourdir l'impact.

### 2.2.1. Phénomènes climatiques

Les variations climatiques constituent le principal facteur de déclenchement. Les deux paramètres importants sont les précipitations et l'évapotranspiration.

En l'absence de nappe phréatique, ces deux paramètres contribuent en effet fortement aux variations de teneurs en eau dans la tranche superficielle des sols (que l'on peut considérer comme les deux premiers mètres sous la surface du sol).

L'évapotranspiration est la somme de l'évaporation (liée aux conditions de température, de vent et d'ensoleillement) et de la transpiration (eau absorbée par la végétation). Elle est mesurée dans quelques stations météorologiques mais ne constitue jamais qu'une approximation puisqu'elle dépend étroitement des conditions locales de végétation.

On raisonne en général sur les hauteurs de pluies efficaces, qui correspondent aux précipitations diminuées de l'évapotranspiration. Malheureusement, il est très difficile de relier la répartition dans le temps des hauteurs de pluies efficaces avec l'évolution des teneurs en eau dans le sol, même si l'on observe évidemment qu'après une période de sécheresse prolongée la teneur en eau dans la tranche superficielle de sol a tendance à diminuer tandis que l'épaisseur de la tranche de sol concernée par la dessiccation augmente, et ceci d'autant plus que cette période se prolonge.

On peut établir des bilans hydriques en prenant en compte la quantité d'eau réellement infiltrée (ce qui suppose d'estimer non seulement l'évaporation mais aussi le ruissellement), mais toute la difficulté est de connaître la réserve utile des sols, c'est-à-dire leur capacité à emmagasiner de l'eau et à la restituer ensuite (par évaporation ou en la transférant à la végétation par son système racinaire). Les bilans établis selon la méthode de Thornthwaite supposent arbitrairement que la réserve utile des sols est pleine en début d'année, alors que les évolutions de celle-ci peuvent être très variables.

### 2.2.2. Actions anthropiques

Certains sinistres « sécheresse » ne sont pas déclenchés par un phénomène climatique, par nature imprévisible, mais par une action humaine.

Des travaux d'aménagement, en modifiant la répartition des écoulements superficiels et souterrains, ainsi que les possibilités d'évaporation naturelle, peuvent entraîner des modifications dans l'évolution des teneurs en eau de la tranche de sol superficielle.

La mise en place de drains à proximité d'un bâtiment peut provoquer un abaissement local des teneurs en eau et entraîner des mouvements différentiels au voisinage. Inversement, une fuite dans un réseau enterré augmente localement la teneur en eau et peut provoquer, outre une érosion localisée, un gonflement du sol qui déstabilisera un bâtiment situé à proximité. Dans le cas d'une conduite d'eaux usées, le phénomène peut d'ailleurs être aggravé par la présence de certains ions qui modifient le comportement mécanique des argiles et accentuent leurs déformations.

La concentration d'eau pluviale ou de ruissellement au droit de la construction joue en particulier un rôle pathogène déterminant.

Par ailleurs, la présence de sources de chaleur en sous-sol (four ou chaudière) à proximité d'un mur peut dans certains cas accentuer la dessiccation du sol dans le voisinage immédiat et entraîner l'apparition de désordres localisés.

Enfin, des défauts de conception de la construction tant au niveau des fondations (ancrage à des niveaux différents, bâtiment construit sur sous-sol partiel, etc.) que de la structure elle-même (par exemple, absence de joints entre bâtiments accolés mais fondés de manière différente) constituent un facteur aggravant indéniable qui explique l'apparition de désordres sur certains bâtiments, même en période de sécheresse à caractère non exceptionnel.

### 2.2.3. Conditions hydrogéologiques

La présence ou non d'une nappe, ainsi que l'évolution de son niveau en période de sécheresse, jouent un rôle important dans les manifestations du phénomène de retrait-gonflement.

La présence d'une nappe permanente à faible profondeur (c'est-à-dire à moins de 4 m sous le terrain naturel) permet en général d'éviter la dessiccation de la tranche de sol superficielle.

Inversement, le rabattement de la nappe (sous l'influence de pompages situés à proximité, ou du fait d'un abaissement généralisé du niveau) ou le tarissement des circulations d'eau superficielles en période de sécheresse provoque une aggravation de la dessiccation dans la tranche de sol soumise à l'évaporation.

Pour exemple, dans le cas d'une formation argileuse surmontant une couche sableuse habituellement saturée en eau, le dénoyage de cette dernière provoque l'arrêt des remontées capillaires dans le terrain argileux et contribue à sa dessiccation.

### 2.2.4. Topographie

Hormis les phénomènes de reptation en fonction de la pente, les constructions sur terrain pentu peuvent être propices à l'apparition de désordres issus de mouvements différentiels du terrain d'assise sous l'effet de retrait-gonflement.

En effet, plusieurs caractères propres à ces terrains sont à considérer :

- le ruissellement naturel limite leur recharge en eau, ce qui accentue le phénomène de dessiccation du sol;
- un terrain en pente exposé au sud sera plus sensible à l'évaporation, du fait de l'ensoleillement, qu'un terrain plat ou exposé différemment ;
- les fondations étant généralement descendues partout à la même cote se trouvent de fait ancrées plus superficiellement du côté aval ;
- enfin, les fondations d'un bâtiment sur terrain pentu se comportent comme une barrière hydraulique vis-à-vis des circulations d'eaux dans les couches superficielles le long du versant. Le sol à l'amont tend donc à conserver une teneur en eau plus importante qu'à l'aval.

### 2.2.5. Végétation

La présence de végétation arborée à proximité d'un édifice construit sur sol sensible peut, à elle seule, constituer un facteur déclenchant, même si, le plus souvent, elle n'est qu'un élément aggravant.

Les racines des arbres soutirent l'eau contenue dans le sol, par un mécanisme de succion. Cette succion crée une dépression locale autour du système racinaire, ce qui se traduit par un gradient de teneur en eau dans le sol. Celui-ci étant en général faiblement perméable du fait de sa nature argileuse, le rééquilibrage des teneurs en eau est très lent.

Ce phénomène de succion peut alors provoquer un tassement localisé du sol autour de l'arbre. Si la distance au bâtiment n'est pas suffisante, cela peut entraîner des désordres au niveau des fondations, et à terme sur la bâtisse elle-même.

On considère en général que l'influence d'un arbre adulte se fait sentir jusqu'à une distance égale à une fois et demi sa hauteur. Les racines seront naturellement incitées à se développer en direction de la maison puisque celle-ci limite l'évaporation et maintient donc sous sa surface une zone de sol plus humide. Contrairement au processus d'évaporation qui affecte surtout la tranche superficielle des deux premiers mètres, les racines d'arbres ont une influence jusqu'à 4 à 5 m de profondeur, voire davantage.

Le phénomène sera d'autant plus important que l'arbre est en pleine croissance et qu'il a besoin de plus d'eau. Ainsi on considère qu'un peuplier ou un saule adulte a besoin de 300 l d'eau par jour en été. En France, les arbres considérés comme les plus dangereux du fait de leur influence sur les phénomènes de retrait, sont les chênes, les peupliers, les saules et les cèdres. Des massifs de buissons ou arbustes situés près des façades peuvent cependant causer aussi des dégâts.

Par ailleurs, des risques importants de désordres par gonflement de sols argileux sont susceptibles d'apparaître, souvent plusieurs années après la construction de bâtiments, lorsque ces derniers ont été implantés sur des terrains anciennement boisés et qui ont été défrichés pour les besoins du lotissement. La présence de ces arbres induisait en effet une modification importante de l'équilibre hydrique du sol, et ceci sur plusieurs mètres de profondeur. Leur suppression se traduit par une diminution progressive de la succion, l'eau infiltrée n'étant plus absorbée par le système racinaire. Il s'ensuit un réajustement du profil hydrique, susceptible d'entraîner l'apparition d'un gonflement lent mais continu.

## **2.3. Mécanismes et manifestations des désordres**

Les mouvements différentiels du terrain d'assise d'une construction se traduisent par l'apparition de désordres qui affectent l'ensemble du bâti et qui sont en général les suivants :

**Gros-œuvre :**

- fissuration des structures enterrées ou aériennes ;
- déversement de structures fondées de manière hétérogène;
- désencastrement des éléments de charpente ou de chaînage ;
- dislocation des cloisons.

**Second-œuvre :**

- distorsion des ouvertures ;
- décollement des éléments composites (carrelage, plâtres...);
- rupture de tuyauteries et canalisations.

**Aménagement extérieur :**

- fissuration des terrasses ;
- décollement des bâtiments annexes, terrasses, perrons ;

La nature, l'intensité et la localisation de ces désordres dépendent de la structure de la construction, du type de fondation réalisée et bien sûr de l'importance des mouvements différentiels de terrain subis.

L'exemple type de la maison sinistrée par la sécheresse est :

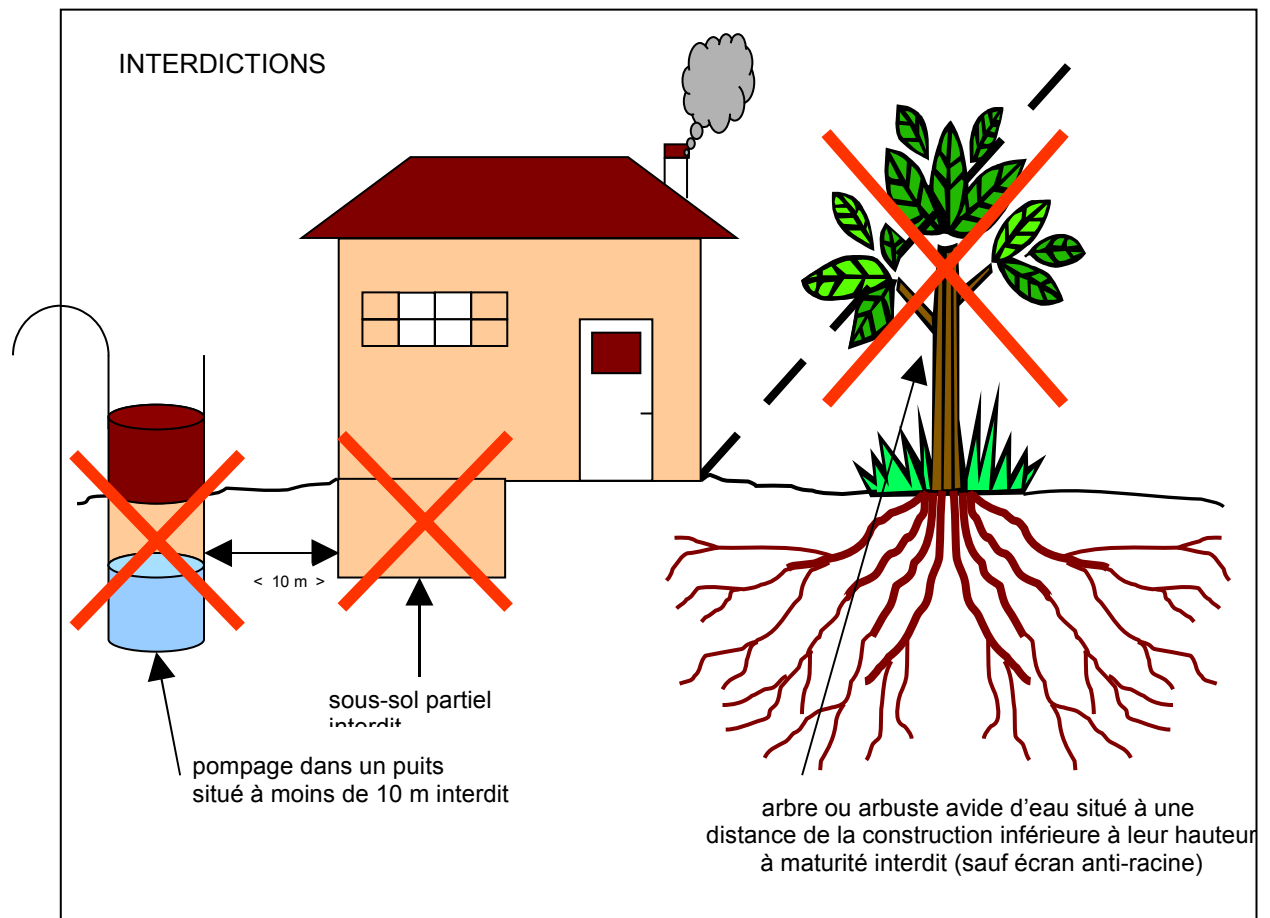
- une maison individuelle (structure légère) ;
- à simple rez-de-chaussée avec dallage sur terre-plein voire sous-sol partiel ;
- fondée de façon relativement superficielle, généralement sur des semelles continues, peu ou non armées et peu profondes (inférieur à 80 cm) ;
- avec une structure en maçonnerie peu rigide, sans chaînage horizontal ;

et reposant sur un sol argileux.

## ANNEXE 2

### Illustration des principales dispositions réglementaires de prévention des risques de mouvements de terrain différentiels liés au phénomène de retrait-gonflement des argiles

Les illustrations qui suivent présentent une partie des prescriptions et recommandations destinées à s'appliquer dans la zone réglementée par le PPR. Suivant le type de construction (existante ou projetée) certaines de ces mesures sont obligatoires, d'autres non, et l'on se reportera donc au règlement pour obtenir toutes les précisions nécessaires.

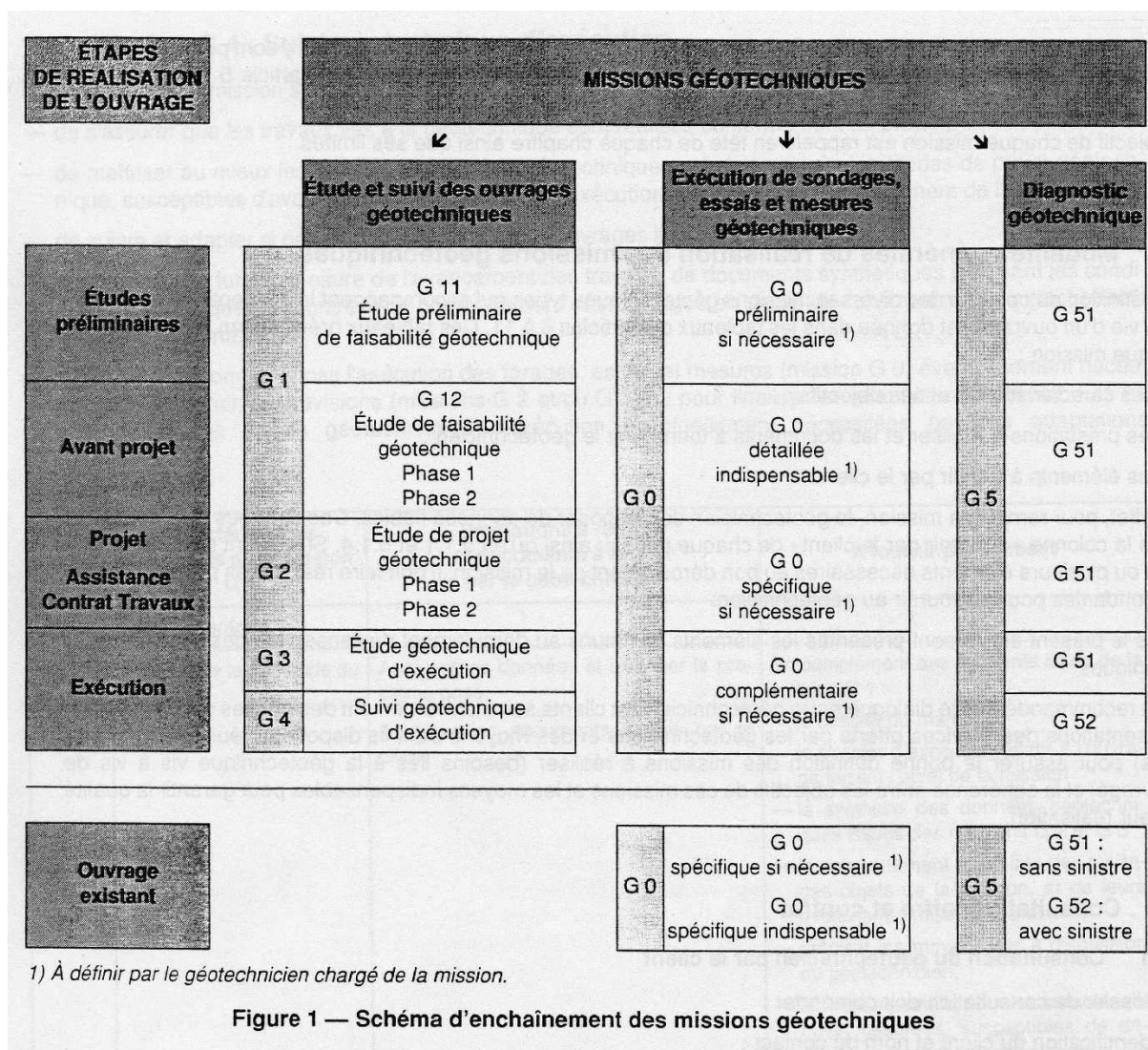




### ANNEXE 3

**Extraits de la norme AFNOR NF P 94-500 (juin 2000)**  
**Intitulée : « Missions géotechniques – Classifications et spécifications »**

Cette norme «définit les différentes missions susceptibles d'être réalisées par les géotechniciens à la demande d'un maître d'ouvrage ou d'un constructeur. [Elle] donne une classification de ces missions. [Elle] précise le contenu et définit les limites des six missions géotechniques types : réalisation des sondages et essais, étude de faisabilité géotechnique, étude de projet géotechnique, étude géotechnique d'exécution, diagnostic géotechnique avec ou sans sinistre, ainsi que l'enchaînement recommandé des missions au cours de la conception, de la réalisation et de la vie d'un ouvrage ou d'un aménagement de terrain».



## 4 Classification des missions géotechniques types

La classification des missions géotechniques types est donnée par le tableau 1 et la figure 1.

**Tableau 1 — Classification des missions géotechniques types**

<p>L'enchaînement des missions géotechniques suit les phases d'élaboration du projet. Les missions G 1, G 2, G 3, G 4 doivent être réalisées successivement. Une mission géotechnique ne peut contenir qu'une partie d'une mission type qu'après accord explicite entre le client et le géotechnicien.</p>
<p><b>G 0 Exécution de sondages, essais et mesures géotechniques :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Exécuter les sondages, essais et mesures en place ou en laboratoire selon un programme défini dans des missions de type G 1 à G 5 ;</li> <li>— Fournir un compte rendu factuel donnant la coupe des sondages, les procès verbaux d'essais et les résultats des mesures.</li> </ul> <p><i>Cette mission d'exécution exclut toute activité d'étude ou de conseil ainsi que toute forme d'interprétation.</i></p>
<p><b>G 1 Étude de faisabilité géotechnique</b></p> <p><i>Ces missions G 1 excluent toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages qui entre dans le cadre exclusif d'une mission d'étude de projet géotechnique G 2.</i></p> <p><b>G 11 Étude préliminaire de faisabilité géotechnique :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et préciser l'existence d'avoisinants ;</li> <li>— Définir si nécessaire une mission G 0 préliminaire, en assurer le suivi et l'exploitation des résultats ;</li> <li>— Fournir un rapport d'étude préliminaire de faisabilité géotechnique avec certains principes généraux d'adaptation de l'ouvrage au terrain, mais sans aucun élément de prédimensionnement.</li> </ul> <p><i>Cette mission G 11 doit être suivie d'une mission G 12 pour définir les hypothèses géotechniques nécessaires à l'établissement du projet.</i></p> <p><b>G 12 Étude de faisabilité des ouvrages géotechniques (après une mission G 11) :</b></p> <p>Phase 1 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir une mission G 0 détaillée, en assurer le suivi et l'exploitation des résultats ;</li> <li>— Fournir un rapport d'étude géotechnique donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte pour la justification du projet, et les principes généraux de construction des ouvrages géotechniques (notamment terrassements, soutènements, fondations, risques de déformation des terrains, dispositions générales vis-à-vis des nappes et avoisinants).</li> </ul> <p>Phase 2 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Présenter des exemples de prédimensionnement de quelques ouvrages géotechniques types envisagés (notamment : soutènements, fondations, améliorations de sols).</li> </ul> <p><i>Cette étude sera reprise et détaillée lors de l'étude de projet géotechnique (mission G 2).</i></p>
<p><b>G 2 Étude de projet géotechnique</b></p> <p><i>Cette étude spécifique doit être prévue et intégrée dans la mission de maîtrise d'œuvre.</i></p> <p>Phase 1 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir si nécessaire une mission G 0 spécifique, en assurer le suivi et l'exploitation des résultats ;</li> <li>— Fournir les notes techniques donnant les méthodes d'exécution retenues pour les ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, fondations, dispositions spécifiques vis-à-vis des nappes et avoisinants), avec certaines notes de calcul de dimensionnement, une approche des quantités, délais et coûts d'exécution de ces ouvrages géotechniques.</li> </ul> <p>Phase 2 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Établir les documents nécessaires à la consultation des entreprises pour l'exécution des ouvrages géotechniques (plans, notices techniques, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel) ;</li> <li>— Assister le client pour la sélection des entreprises et l'analyse technique des offres.</li> </ul>
<p><b>G 3 Étude géotechnique d'exécution</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir si nécessaire une mission G 0 complémentaire, en assurer le suivi et l'exploitation des résultats ;</li> <li>— Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment validation des hypothèses géotechniques, définition et dimensionnement (calculs justificatifs), méthodes et conditions d'exécution (phasages, suivi, contrôle).</li> </ul> <p><i>Pour la maîtrise des incertitudes et aléas géotechniques en cours d'exécution, les missions G 2 et G 3 doivent être suivies d'une mission de suivi géotechnique d'exécution G 4.</i></p>
<p><b>G 4 Suivi géotechnique d'exécution</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Suivre et adapter si nécessaire l'exécution des ouvrages géotechniques, avec définition d'un programme d'auscultation et des valeurs seuils correspondantes, analyse et synthèse périodique des résultats des mesures ;</li> <li>— Définir si nécessaire une mission G 0 complémentaire, en assurer le suivi et l'exploitation des résultats ;</li> <li>— Participer à l'établissement du dossier de fin de travaux et des recommandations de maintenance des ouvrages géotechniques.</li> </ul>
<p><b>G 5 Diagnostic géotechnique</b></p> <p><i>L'objet d'une mission G 5 est strictement limitatif, il ne porte pas sur la totalité du projet ou de l'ouvrage</i></p> <p><b>G 51 Avant, pendant ou après construction d'un ouvrage sans sinistre :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir si nécessaire une mission G 0 spécifique, en assurer le suivi et l'exploitation des résultats ;</li> <li>— Étudier de façon approfondie un élément géotechnique spécifique (par exemple soutènement, rabattement, etc.) sur la base des données géotechniques fournies par une mission G 12, G 2, G 3 ou G 4 et validées dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans les autres domaines géotechniques de l'ouvrage.</li> </ul> <p><b>G 52 Sur un ouvrage avec sinistre :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Définir une mission G 0 spécifique, en assurer le suivi et l'exploitation des résultats ;</li> <li>— Rechercher les causes géotechniques du sinistre constaté, donner une première approche des remèdes envisageables.</li> </ul> <p><i>Une étude de projet géotechnique G 2 doit être réalisée ultérieurement.</i></p>