







Projet ARGIC 2 – Rapport scientifique à 18 mois

Rapport intermédiaire

BRGM/RP-61361-FR

Juillet 2012

Étude réalisée dans le cadre des projets de Service public du BRGM 2012

E. PLAT
Avec la collaboration de
S. Gourdier

Vérificateur :

Nom: S. Le Roy

Date: 04/09/2012Signature:

Approbateur:

Nom: G. Grandjean

Date: 10/09/2012

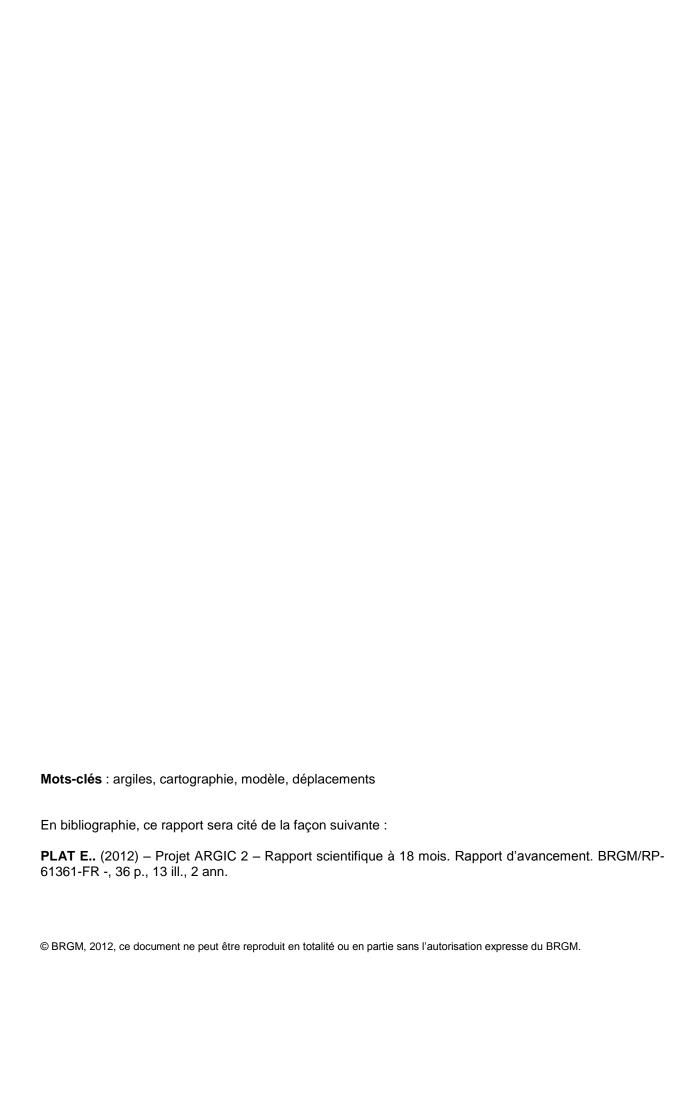
Signature:

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique, l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.







Synthèse

Le projet ARGIC 2, piloté par l'IFSTTAR a vu le jour en fin d'année 2010. Il a pour objectif global de finaliser les travaux du projet ARGIC en allant jusqu'à des produits utilisables dans la pratique de la construction, et à compléter les connaissances scientifiques sur les argiles et leurs interactions avec le climat, la végétation et les constructions. Il fait suite au projet ARGIC, piloté par le BRGM, s'est achevé en 2009.

Ce rapport, réalisé avec le soutien du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie dans le cadre de la convention 2011 n° 21 00 47 22 61, comporte une synthèse des travaux engagés par le BRGM au sein du projet ARGIC 2. Ils concernent l'ensemble des quatre axes du projet.

Afin d'alimenter l'axe 1 et dans le cadre de l'axe 4, le BRGM a mis à jour les calculs de pourcentage de bâtis sinistrés par département pour chaque niveau d'aléa. Ces calculs seront présentés au prochain groupe de travail.

Concernant l'axe 2, le BRGM poursuit les acquisitions sur le site de Mormoiron et suit également le site de Roaillan. Les résultats sur ces sites seront détaillés dans un prochain rapport, les diapositives présentées en réunion de l'axe 2 sont fournis en annexe. De plus, le BRGM présente une proposition de méthode de calcul simple des déformations attendues à partir de l'essai de retrait-linéaire.

Sur l'axe 3, le BRGM s'est focalisé sur la rédaction du guide 3 sur lequel il s'est fortement impliqué.

Sommaire

1.	. Implication du BRGM sur les différents axes - generalites	9
	1.1. AXE 1. COMPORTEMENT DES CONSTRUCTIONS ET DE LEURS FONDATIONS : PATHOLOGIE, RÉPARATION, PRÉVENTION	9
	1.2. AXE 2. ANALYSE DE LA PÉNÉTRATION DE LA SÉCHERESSE DANS LE SOL ET DÉFINITION DES SÉCHERESSES ANORMALES	9
	1.3. AXE 3. SENSIBILITÉ DES SOLS ARGILEUX AU RETRAIT-GONFLEMENT	. 10
	1.4. AXE 4. L'ANALYSE DE LA CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA DE RETRAIT-GONFLEME	NT10
	1.5. AXE 5. SYNTHÈSE DES ÉTUDES SUR L'ALÉA (AXES 2 À 4)	. 10
2.	. Pilotage de l'axe 4	. 11
	2.1. GÉNÉRALITÉS	. 11
	2.2. RÉUNIONS	. 11
	2.3. ETAT D'AVANCEMENT BRGM	. 11
3.	. Rédaction des guides	. 13
	3.1. CONTRIBUTION AU GUIDE 1	. 13
	3.2. CONTRIBUTION AU GUIDE 3	. 13
4.	Calcul du pourcentage de maisons individuelles sinistrées	. 15
	4.1. CADRE ET OBJECTIF	. 15
	4.2. RAPPEL DE LA MÉTHODOLOGIE	. 15 . 15
	4.3. DONNÉES UTILISÉES 4.3.1. Carte d'aléa 4.3.2. Sinistralité 4.3.3. Coût moyen des sinistres 4.3.4. Répartition des enjeux sur les zones d'aléas	. 16 . 17 . 19
	4.4. RÉSULTATS	. 20

5. Méthode de calcul simple des déformations attendues	25
5.1. PRÉSENTATION DE LA FORMULATION ISSUE DE LA NORME NF 94 – 060.2	25
5.1.1.Rappel de l'essai de la norme NF 94 – 060.2	25
5.1.2. Analyse de la courbe de retrait d'un sol	25
5.1.3. Exemple de retrait obtenu à partir de mesures in situ à Mormoiron	27
5.1.4. Formulation des déplacements maximaux attendus	28
5.1.5. Exemple de calcul pour le site de Mormoiron	29
5.2. PROPOSITION D'UNE MÉTHODOLOGIE SIMPLIFIÉE	29
5.2.1.Principe général	29
5.2.2.Hypothèses	
5.2.3. Résultats sur des sites connus	
5.2.4. Généralisation à partir d'un profil de teneur en eau théorique	33
6. Bibliographie	35

Liste des illustrations

Illustration 1 – 0	Organigramme en cours d'élaboration pour le guide 31	4
Illustration 2 - C	Carte nationale de l'aléa retrait gonflement des argiles1	7
Illustration 3 - C	Coût du risque sécheresse par exercice pour la période 1990-2009 (source : CCR)1	8
Illustration 4 - C	Coût du risque sécheresse par département pour la période 1989-2009 (source : CCR)1	8
Illustration 5 – S	Statistiques de sinistralité par zone d'aléa pour chaque département2	4
Illustration 6 - A	Aspect général d'une courbe de retrait linéaire (à gauche: NF XP P94-060-2 : 1997 ; à droite : Coquet & Boivin, 1995)2	
Illustration 7 - D	Différentes phases de la courbe de retrait d'une argile en fonction de l'organisation de son espace poral (Braudeau et al., 2004)2	
Illustration 8 - F	Relation entre l'épaisseur de la couche de sol 0,2-1 m et la teneur en eau à 0,5 m de profondeur sur le site de Mormoiron (valeur à un pas de temps de 3 h) et courbe extrapolée (Plat et al., 2008)2	7
Illustration 9 - V	/ariations de teneur en eau maximales enregistrées sur le site (à gauche) et transcription selon la formulation présentée au 5.1.4 (à droite) pour la période févrie 2007-février 20082	
Illustration 10 –	Profil de variations de teneur en eau mesurées à l'aide des Humitub (à gauche) et résultat de la détermination des déplacements en fonction de l'épaisseur du sol et du retrait-linéaire pour les variations de teneur en eau enregistrées à Mormoiron (à droite)	1
Illustration 11 -	Profil de variations de teneur en eau (à gauche) et résultat de la détermination des déplacements en fonction de l'épaisseur du sol et du retrait-linéaire pour les variations de teneur en eau enregistrées à Maryland (à droite)3	2
Illustration 12 -	Profil de variations de teneur en eau (à gauche) et résultat de la détermination des déplacements en fonction de l'épaisseur du sol et du retrait-linéaire pour les variations de teneur en eau enregistrées à Al-Ghatt (à droite)	3
Illustration 13 -	Profil de variations de teneur en eau (à gauche) et résultat de la détermination des déplacements en fonction de l'épaisseur du sol et du retrait-linéaire pour un profil type de teneur en eau	3
Liste des a	nnexes	
Annexe 1 Prop	osition d'introduction pour le guide 33	7
Annexe 2 Prés	sentation des mesures enregistrées sur le site de Mormoiron - Support de présentation du 3 mars 20114	3

1. Implication du BRGM sur les différents axes - généralités

1.1. AXE 1. COMPORTEMENT DES CONSTRUCTIONS ET DE LEURS FONDATIONS : PATHOLOGIE, RÉPARATION, PRÉVENTION

• Tâche 5. Guides pratiques pour la protection des maisons individuelles contre les effets de la sécheresse

→ cf. paragraphe 3

• Tâche 6. Sécheresse et économie de la construction : étude économique (prévention/réparation, optimisation des coûts individuels et collectifs)

Cette tâche a été entamée à travers le calcul présenté au paragraphe 4 mais n'a pas encore été discutée avec le groupe de travail.

1.2. AXE 2. ANALYSE DE LA PÉNÉTRATION DE LA SÉCHERESSE DANS LE SOL ET DÉFINITION DES SÉCHERESSES ANORMALES

- Tâche 8. Techniques de mesure des variations hydriques des sols
- Tâche 9. Sites expérimentaux : suivi et instrumentation complémentaires
- Tâche 10. Analyse des profondeurs de pénétration de la sécheresse en France
- Tâche 11. Étude des corrélations des déformations et des variations de teneur en eau

Le BRGM a présenté au groupe de travail les mesures réalisées sur les différents sites expérimentaux dont il a eu la charge dans le cadre de projet de recherche financé par le ministère en charge de l'écologie ainsi que dans le cadre du projet ARGIC 1 entre 2006 et 2009 (Mormoiron ; Le Deffend) et dans le cadre du projet ARGIC 2 depuis janvier 2011 (Roaillan) pour les tâches 8, 9 et 10.

Les appareillages installés sont des extensomètres pour les mesures de déplacements et des sondes Humitub et Thetaprobe pour les mesures de variations de teneur en eau. Ces dispositifs permettent d'avoir un suivi des mouvements du sol en relation avec les périodes de sécheresse et de réhumidification. Sur le site de Mormoiron (84), les données acquises par le BRGM fournissent le suivi le plus long avec au moins 5 cycles de sécheresse – réhumidification entre 2007 et 2012 pour les déformations et sept cycles complets pour les variations de teneurs en eau. Il est constaté pour chaque année une longue période de tassement estivale (3,5 à 7 mois ; amplitude 4,8 à 6,2 cm), surtout pour l'année 2011, particulièrement sèche (tassement dès avril ; 6,2 cm au total sur la période) compensée par une brusque période de gonflement dès les premières pluies efficaces d'octobre, en 1 mois voire moins parfois (année 2011 : 3 cm de gonflement en 5 jours). Ces données semblent indiquer que l'année 2011 a été « exceptionnelle » et pourrait avoir été à l'origine d'un nombre important de sinistres (ce qui semble être confirmé par la CCR). Pour le site de Roaillan (33), les 8 Thetaprobes mises en

place sont opérationnelles depuis juillet 2011, mais pour l'instant elles ne permettent pas d'avoir un recul suffisant sur les données compte tenu de la période de stabilisation nécessaire du système jusqu'en décembre 2011. Les fissuromètres installés sur les murs de la maison sinistrée de Roaillan restent relativement stables, sans grand changement dans les mouvements en ouverture ou en fermeture (< à 1 mm). Sur le site de Mormoiron les données de teneur en eau massique entre 0,2 et 1 m de profondeur fournissent des renseignements intéressants et équivalents à ceux fournis par un essai de dessiccation de laboratoire. Ce type de diagramme est à développer par les autres partenaires pour comparaison. Le BRGM a installé dès 2009 un extensomètre sur le site expérimental de Pessac dans le cadre du Projet ARGIC 1. Cet extensomètre a été opérationnel pendant l'année 2009 ; il a donné des déplacements similaires à ceux obtenus par les deux autres types d'extensomètres utilisés par l'Université de Bordeaux (TELEMAC et GLÖTZ), ce qui confirme la fiabilité des trois dispositifs d'extensomètres utilisés. Actuellement l'extensomètre du BRGM installé sur le site de Pessac n'est plus opérationnel. Il doit être révisé d'ici fin 2012 pour redevenir opérationnel.

Suite à la réunion du 3 mars 2012, le BRGM doit superposer les courbes de déplacement obtenu avec l'« état hydrique cumulé (EH) » pour les données du site de Mormoiron afin de voir les similitudes avec le site de Pessac. Ce travail n'est pas présenté dans le présent rapport.

L'annexe 2 présente les supports présentés en groupe de travail du 3 mars 2012.

De plus, le paragraphe 5 présente une proposition de méthode de calcul simple des déformations attendues à partir de l'essai de retrait-linéaire.

1.3. AXE 3. SENSIBILITÉ DES SOLS ARGILEUX AU RETRAIT-GONFLEMENT

• Tâche 15. Guide pratique pour la caractérisation des sites de construction en termes de retrait et gonflement

→ cf. paragraphe 3 et 5

1.4. AXE 4. L'ANALYSE DE LA CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA DE RETRAIT-GONFLEMENT

• Tâche 16. Analyse des méthodes de cartographie

→ cf. paragraphes 4.

1.5. AXE 5. SYNTHÈSE DES ÉTUDES SUR L'ALÉA (AXES 2 À 4)

- Tâche 17. Rapports relatif aux axes 2, 3 et 4.
 - → tâche non abordée à ce jour.

2. Pilotage de l'axe 4

2.1. GÉNÉRALITÉS

2.1.1. Objectif

Le programme porte sur l'analyse de la cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux réalisée par le BRGM à l'échelle départementale. L'objectif est de disposer du maximum de retours d'expérience sur la cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols disponible sur www.argiles.fr.

2.1.2. Rappel du chronogramme des différents axes d'ARGIC

Comme l'indique le tableau d'avancement ci-dessous sur trois ans (2011-2013), la tâche 17 devait s'achever mi-2012. Compte tenu de l'avancement sur cette tâche (les efforts sur le projet se sont pour l'instant essentiellement concentrés sur la rédaction des guides), cette tâche ne s'achèvera qu'à fin 2012.

2.2. RÉUNIONS

Deux réunions concernant l'axe 4 se sont déroulées les 01/12/11 et 13/03/12. La prochaine est prévue le 11/09/2012.

2.3. ETAT D'AVANCEMENT BRGM

Les travaux engagés par le BRGM sur cet axe sont présentés dans le paragraphe 4.

3. Rédaction des guides

Dans le cadre du programme ARGIC2, 3 guides doivent voir le jour sur la thématique du retrait-gonflement :

- guide 1 : Réparer sa maison
- guide 2 : Construire sa maison
- guide 3 : Caractériser un site vis-à-vis du retrait-gonflement

Le BRGM s'est fortement impliqué sur la rédaction des guides, en particulier celle du guide 3.

3.1. CONTRIBUTION AU GUIDE 1

Le BRGM a rédigé la cinquième partie du guide 1 (Assurances : Coûts et démarches) à l'exception de celle qui concerne la garantie décennale pour laquelle une aide a été sollicitée auprès des experts en assurance. Etant donnée la réforme du régime « CatNat » en cours, il est très vraisemblable que cette partie doive faire l'objet d'une actualisation, voire d'une refonte.

Le BRGM a également participé à la relecture de ce guide et aux différentes réunions et discussions relatives à ce guide (à l'exception de la dernière en date du 19 juin).

3.2. CONTRIBUTION AU GUIDE 3

Le BRGM a participé à la rédaction du guide ainsi qu'aux différents groupes de relecture du guide et à plusieurs groupes de travail restreints (CETE-IFSTTAR-BRGM) qui visaient à consolider ce guide.

Le BRGM a notamment rédigé la partie sur les sources documentaires (paragraphe 2.2.1) du guide 3 en cherchant à la rendre aussi lisible que possible. Il a également :

- proposé une reformulation de l'introduction qui n'a pas été étudiée (annexe 1) ;
- fourni un certain nombre d'illustrations au guide (celles-ci n'ont à ce jour pas encore été intégrées au guide) ;
- rédigé, à la demande du groupe de travail restreint, une partie du paragraphe 3.1.5 relative à la prévision des mouvements de terrain consécutifs à une dessiccation (celle-ci ne sera peut-être pas retenue dans la version finale du guide pour limiter la confusion avec l'autre alternative proposée dans le 3.1.5, mais elle est développée dans le paragraphe 5 du présent rapport);
- proposé une organisation de la dernière partie du guide associée à un organigramme visant à rendre ce guide plus lisible; cet organigramme a été élaboré conjointement en groupe de travail restreint et est susceptible de connaître des évolutions.

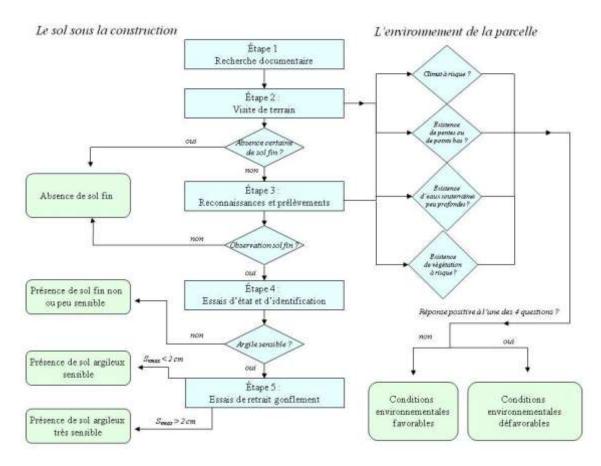


Illustration 1 – Organigramme en cours d'élaboration pour le guide 3

4. Calcul du pourcentage de maisons individuelles sinistrées

4.1. CADRE ET OBJECTIF

Ces travaux s'inscrivent dans la suite du groupe de travail intitulé « Risques Naturels, Assurances et coûts des mesures d'adaptation au Changement Climatique » (Plat *et al.*, 2009) et reprennent la méthodologie mise en œuvre dans le cadre des travaux de ce GT.

Ce calcul s'inscrit à la fois dans le cadre de l'axe 4, qui vise à analyser les cartes d'aléas, mais doit également servir à l'axe 1 – tâche 6 (Sécheresse et économie de la construction : étude économique), en fournissant des éléments économiques susceptibles d'éclairer les orientations vis-à-vis de la prévention/réparation et de l'optimisation des coûts individuels et collectifs.

4.2. RAPPEL DE LA MÉTHODOLOGIE

4.2.1. Description

Pour chaque département, il est possible de déterminer la répartition du nombre de sinistres survenus dans chaque zone d'aléa (nul, faible, moyen et fort). Cette répartition est déterminée par croisement entre le nombre de sinistres (estimé à partir des coûts de la CCR et du montant moyen d'un sinistre), leur répartition géographique (déterminée à partir de la collecte de sinistres du BRGM dans le cadre de la cartographie départementale) et les cartes d'aléa retrait-gonflement établies par le BRGM.

4.2.2. Evolution depuis les travaux du groupe de travail RNACC

Les principales évolutions portent sur les points suivants :

- la totalité des cartes d'aléa retrait-gonflement est à ce jour disponible pour la France métropolitaine (hors ville de Paris) ;
- le nombre de maisons individuelles n'a pas pu être calculé avec la même méthodologie que dans le cadre du GT-RNACC étant donné que nous n'avons pas accès à ces données. Le calcul s'est donc appuyé sur les données de la BDTOPO (cf. paragraphe 4.3.4).

4.2.3. Principales limites de la méthode

La principale limite concerne le nombre de sinistres calculé, celui-ci étant difficile à évaluer précisément faute d'une base de données exhaustive des sinistres déjà survenus et indemnisés depuis 1989 et du fait des doutes qui pèsent sur la signification des coûts moyens de sinistres fournis par la CCR. On peut également signaler l'incertitude sur le nombre de maisons individuelles (paragraphe 4.3.4).

4.3. DONNÉES UTILISÉES

4.3.1. Carte d'aléa

La corrélation étroite mise en évidence entre la répartition des sinistres et la nature géologique des formations sub-affleurantes a amené le BRGM, dès le milieu des années 1990, à élaborer des développements méthodologiques en vue de cartographier l'aléa retrait-gonflement des sols argileux, d'abord à l'échelle communale (Manosque), puis à l'échelle départementale (Alpes-de-Haute-Provence), plus adaptée à une cartographie de l'aléa de grande extension (Vincent et al., 2007). A cette échelle, les facteurs ponctuels de prédisposition ou de déclenchement que sont notamment la végétation arborée, le contexte hydrogéologique, les actions anthropiques ou les défauts de construction, n'ont pas été pris en compte dans la cartographie car leur impact est purement local et ne peut être cartographié à une échelle départementale.

La réalisation de ces cartes à l'échelle départementale s'appuie donc pour l'essentiel sur la connaissance actuelle des formations argileuses superficielles, issue principalement des cartes géologiques éditées par le BRGM à l'échelle 1/50 000. Pour chacune de ces formations est déterminé le niveau de susceptibilité au phénomène, évalué à partir de critères lithologique, minéralogique et géotechnique. Afin d'approcher au moins de manière qualitative l'aléa, soit la probabilité d'occurrence du phénomène, la susceptibilité au retrait-gonflement est ensuite corrigée en intégrant également la sinistralité observée depuis 1989. La carte d'aléa résulte ainsi de la combinaison de la note de susceptibilité et de la note de sinistralité en affectant toutefois un poids moindre à cette dernière.

Ce programme de cartographie de l'aléa, dont la réalisation était initialement prévue uniquement dans les départements les plus touchés, a fait l'objet d'une extension suite à la forte sinistralité de l'été 2003 et une couverture complète de l'ensemble du territoire métropolitain était programmée pour fin 2010 (Vincent *et al.*, 2008). Ce programme s'est achevé en mai 2011 et l'ensemble des communes métropolitaines à l'exception de la Ville de Paris sont actuellement concernés par une carte d'aléa.

L'Illustration 2 présente la carte d'aléa nationale.

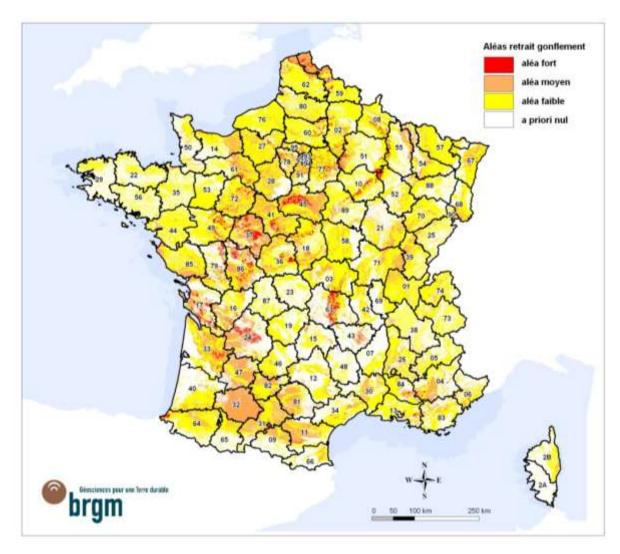


Illustration 2 - Carte nationale de l'aléa retrait gonflement des argiles

4.3.2. Sinistralité

A partir des coûts d'indemnisation

Les données communiquées par la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) en mai 2012 indiquent que le coût d'indemnisation dans le cadre du régime des catastrophes naturelles (dit « CatNat ») s'élève à 4,7 milliards d'euros pour la période 1990-2009. De plus, le coût de la procédure exceptionnelle (procédure mise en œuvre dans le cadre de la loi de finances 2006 pour indemniser les sinistres survenus en 2003 dans des communes qui n'avaient pas pu être reconnues en état de catastrophe naturelle sécheresse) s'élève à 218 millions pour l'été 2003. Ces coûts ne concernent que les maisons individuelles, seules structures pour lesquelles ils sont disponibles. Les illustrations 3 et 4 présentent respectivement le coût imputable à la sécheresse pour la période 1990-2009 par exercice et le coût global par département.

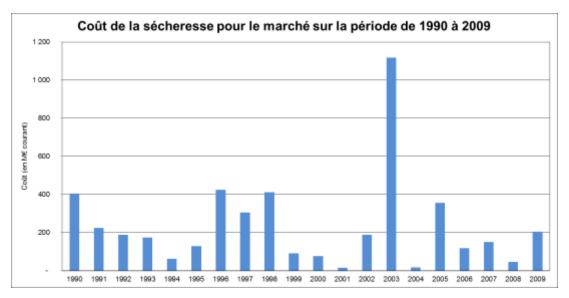


Illustration 3 - Coût du risque sécheresse par exercice pour la période 1990-2009 (source : CCR)

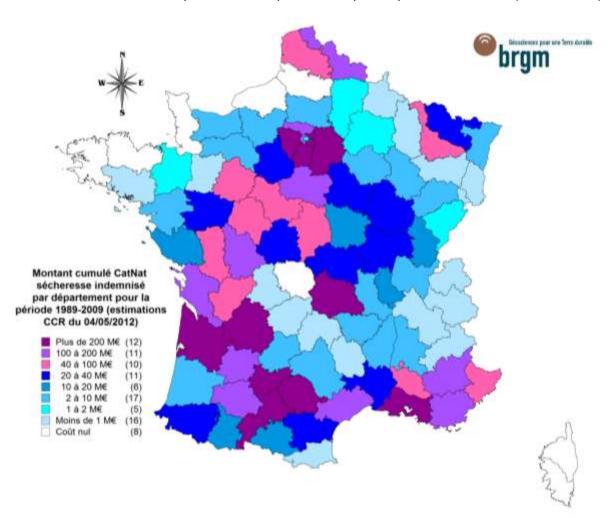


Illustration 4 - Coût du risque sécheresse par département pour la période 1989-2009 (source : CCR)

A partir des sinistres collectés par le BRGM

La source des données de sinistralité est la base constituée par le BRGM lors de la réalisation du programme de cartographie de l'aléa. Elle contient près de 108 000 sinistres géoréférencés répartis sur 8 000 communes environ. Toutefois cette base de données présente quelques hétérogénéités. En effet, les premiers départements cartographiés (comptant souvent parmi les plus affectés) ont été traités avant l'été 2003, à l'origine de nombreux sinistres. De plus, les premiers inventaires de sinistres étaient restreints aux communes ayant fait l'objet d'au moins un arrêté CatNat. Par la suite (cartographies initiées depuis 2006), toutes les communes ont été interrogées systématiquement. Ces données seront surtout utilisées par la suite pour déterminer la répartition des sinistres suivant les zones d'aléa au sein de chaque département.

4.3.3. Coût moyen des sinistres

En septembre 2008, la CCR mentionne un coût moyen d'indemnisation des sinistres dans le cadre de la procédure CatNat de 10 900 € pour la période 1989-2002 et de 10 200 € pour l'année 2003, alors qu'il s'élèverait à 17 800 € dans le cadre de la procédure exceptionnelle (Boutin, 2007). Ces coûts moyens n'incluent pas la franchise de 1 520 € restant à la charge des sinistrés qui bénéficient d'une indemnisation (en régime CatNat comme dans le cas de la procédure exceptionnelle). Ces coûts sont très faibles ce qui semblent indiquer le nombre important de réparation de faibles importances. En effet, les coûts moyens de réparation plus lourde telle qu'une reprise en sous-œuvre s'élèvent couramment à des valeurs comprises entre 10 000 et 70 000 euros (Arbizzi et Kreziak, 2009 en annexe du rapport du projet ANR-ARGIC : Vincent *et al.*, 2009).

Ces coûts moyens des sinistres sont vraisemblablement variables selon les départements et localement sous-évalués, notamment en Ile-de-France où ce coût serait sensiblement plus élevé, de l'ordre de 55 000 € d'après les estimations du Laboratoire Régional de l'Est Parisien. En revanche, dans le grand-ouest, ces coûts sont de l'ordre de 11 000 € d'après le Laboratoire Régional d'Angers (Arbizzi et Kreziak, 2009 en annexe du rapport du projet ANR-ARGIC : Vincent *et al.*, 2009).

Ne disposant pas de chiffres actualisés, c'est le chiffre de 10 900 € qui a été retenu dans le cadre de la présente étude.

4.3.4. Répartition des enjeux sur les zones d'aléas

Afin de connaître la répartition des maisons individuelles par zones d'aléa et par département, plusieurs méthodes sont envisageables :

- l'estimation à l'échelle communale au *pro rata* surfacique du département semble conduire à un résultat trop aléatoire :
- l'exploitation manuelle des bordereaux du recensement fournirait un résultat précis mais ne peut être envisagée pour cette étude compte tenu du temps imparti ;
- la détermination d'un critère de « bâtiment individuel » appliqué à la couche « bâti » de la BD TOPO©¹ permet de réaliser un traitement automatique même s'il ne permet a priori pas de distinguer les maisons mitoyennes de hangars par exemple;

¹ La couche « bâti » de la BDTOPO© représente l'implantation des bâtiments numérisée à partir des Scan25© de l'IGN

- l'estimation de densités de logements par zone IRIS² (Ilots regroupés pour l'information statistique), réalisée par le SOeS dans le cadre du GT-RNACC pour l'estimation des enjeux exposés aux inondations (Dorelon et Poupat, 2008), basée sur une carte du tissu urbain et les données de l'INSEE, semble satisfaisante mais nous ne disposons pas des données dans le cadre de cette étude (le calcul avait été réalisé avec une carte d'aléa grossière, basée sur la carte géologique de la France au 1/1 000 000 pour les départements non couverts lors des travaux du GT-RNACC, mais le croisement n'est pas disponible à ce jour avec la carte d'aléa définitive).

La donnée finalement utilisée pour établir la répartition géographique du bâti est ainsi issue de la couche « bâti indifférencié » de la BD Topo® (IGN). Les 19,8 millions de polygones recensés ont été comptabilisés par département, et à l'intérieur de chaque département par niveau d'aléa. Les résultats considérés ont été récupérés de travaux réalisés pour le compte du ministère.

Les chiffres obtenus par ce biais sont légèrement différents de ceux obtenus du calcul réalisé par SOeS dans le cadre du GT-RNACC (Plat et al., 2009).

4.4. RÉSULTATS

La méthodologie ainsi que les résultats seront prochainement présentés au prochain groupe de travail de l'axe 4. De premiers résultats sont disponibles dans le tableau de l'Illustration 5, présentant les principales statistiques de sinistralité pour chaque département.

Les résultats obtenus confirment les grandes tendances observées dans le cadre du GT-RNACC. A quelques exceptions près, le **pourcentage de bâti sinistré augmente avec le niveau d'aléa**. De plus, **pour un niveau d'aléa donné, ces pourcentages présentent d'importantes disparités d'un département à l'autre**; par exemple, le pourcentage en aléa fort atteint 18 % dans le Puy-de-Dôme contre 2 % en Pyrénées Atlantique. Ces différences peuvent avoir différentes origines autre que la différence de susceptibilité des sols argileux :

- le coût moyen des sinistres a été considéré identique pour tous départements or il a été démontré que celui-ci était variable en fonction des régions (coût en Ile-de-France plus important qu'ailleurs par exemple, d'après Arbizzi S. et Kreziak C. (2009)). Cela permet par exemple d'expliquer le pourcentage très important obtenu pour le Val-de-Marne et la Seine-Saint-Denis (surestimation du nombre de sinistres par sous-estimation de leur coût).
- comme déjà mentionné, les sinistres n'ont pas été recueillis sur l'ensemble des départements pour les départements les plus anciens traités et, certains départements ont été cartographiés avant 2003 (année de plus grande sinistralité enregistrée). Toutefois, cela doit jouer relativement peu puisque le nombre de sinistre est calculé à partir des couts fournis par la CCR (seuls la répartition est déduite des sinistres recueillis par le BRGM) ;
- enfin, conformément à la méthodologie nationale, et par manque de données nationales sur le phénomène, le seuil de sinistralité utilisé pour fixer le critère de sinistralité a été fixé indépendamment pour chaque département, ce qui a pu conduire à certaines hétérogénéités.

² Les contours IRIS sont un zonage géographique infra-communal (actuellement fondé sur le recensement de 1999) constitué de sommes d'îlots qui regroupent entre 1800 et 5000 personnes et concernant l'ensemble des communes de plus de 10 000 habitants ainsi que la majeure partie des communes de plus de 5 000 habitants. L'IRIS coïncide avec la commune lorsque celle-ci est trop petite pour être ainsi découpée.

Dans le détail, les données enregistrées sont sensiblement différentes de celles obtenues dans le cadre du GT-RNACC pour les raisons suivantes :

- dans le cadre de la présente étude, nous n'avons pas fait de distinction entre l'année 2003 et les années dites « standards » ;
- le nombre de sinistres est ramené au nombre de bâtiments de la BDTOPO et non au nombre de maisons individuelles calculées par le SOeS dans le cadre du GT-RNACC ; des différences notables entre ces données existent ;
 - la prise en compte de l'ensemble des cartes d'aléa départementales.

INSEE	WON	SUPERFICIE TOTALE (km²)	Superficie alea nul (km²)	Superficie alea faible (km²)	Superficie alea moyen (km²)	Superficie alea fort (km²)	Proportion de "batiments" (BDTopo) sinistrés an aléa nul selon les coûts CCR et la répartition BRGM (%)	Proportion de "batiments" (BDTopo) sinistrés an aléa faible selon les coûts CCR et la répartition BRGM (%)	Proportion de "batiments" (BDTopo) sinistrés an aléa moyen selon les coûts CCR et la répartition BRGM (%)	Proportion de "batiments" (BDTopo) sinistrés an aléa fort selon les coûts CCR et la répartition BRGM (%)
01	AIN	5 785,00	755,79	4 186,53	842,91		0,20	0,27	0,81	
02	AISNE	7 435,00	1 802,80	5 011,85	300,34	320,34	0,00	0,04	0,11	0,47
03	ALLIER	7 378,00	1 702,82	4 633,75	944,45	96,90	0,11	1,14	2,35	6,19
04	ALPES-DE-HAUTE- PROVENCE	7 009,00	3 512,81	2 196,95	1 151,30	147,79	0,78	2,86	15,60	59,84
05	HAUTES-ALPES	5 697,00	2 804,63	2 593,10	299,67		0,01	0,02	0,42	
06	ALPES-MARITIMES	4 304,00	2 355,24	1 425,64	478,73	44,66	0,03	1,83	4,90	8,17
07	ARDECHE	5 571,00	3 910,01	1 531,02	130,32		0,01	0,37	1,29	
08	ARDENNES	5 256,00	1 392,92	3 299,65	371,86	192,05	0,00	0,00	0,01	0,05
09	ARIEGE	4 933,00	2 759,71	1 129,86	1 043,07		0,10	0,39	3,06	
10	AUBE	6 030,00	2 403,61	3 152,32	177,26	297,28	0,04	0,17	1,04	2,16
11	AUDE	6 368,00	1 964,55	2 109,54	2 189,29	83,62	0,09	1,28	3,36	2,52
12	AVEYRON	8 788,00	5 317,57	2 819,70	650,89		0,00	0,11	0,35	
13	BOUCHES-DU- RHONE	5 106,00	1 374,66	3 308,12	335,74	87,38	2,23	7,48	19,05	35,28
14	CALVADOS	5 613,00	1 889,47	2 537,77	1 133,12	52,52	0,00	0,04	0,12	1,92
15	CANTAL	5 778,00	4 095,83	1 568,52	52,73	61,17	0,00	0,01	0,09	0,05
16	CHARENTE	5 975,00	2 384,18	2 140,37	1 312,91	137,73	0,21	1,93	3,75	4,39
17	CHARENTE- MARITIME	6 914,00	3 622,09	914,89	1 816,55	560,46	0,44	1,47	7,41	8,51
18	CHER	7 305,00	1 811,63	3 839,48	1 407,67	245,82	0,12	1,19	2,91	6,41
19	CORREZE	5 901,00	3 059,61	2 782,52	58,16	0,46	0,00	0,01	0,05	0,00

INSEE	NON	SUPERFICIE TOTALE (km²)	Superficie alea nul (km²)	Superficie alea faible (km²)	Superficie alea moyen (km²)	Superficie alea fort (km²)	Proportion de "batiments" (BDTopo) sinistrés an aléa nul selon les coûts CCR et la répartition BRGM (%)	Proportion de "batiments" (BDTopo) sinistrés an aléa faible selon les coûts CCR et la répartition BRGM (%)	Proportion de "batiments" (BDTopo) sinistrés an aléa moyen selon les coûts CCR et la répartition BRGM (%)	Proportion de "batiments" (BDTopo) sinistrés an aléa fort selon les coûts CCR et la répartition BRGIII (%)
21	COTE-D'OR	8 801,00	3 846,65	199,94	0,71		0,04	0,61	1,01	
22	COTES-D'ARMOR	6 993,00	2 882,69	1 710,59	140,26		0,00	0,00	0,00	
23	CREUSE	5 600,00	4 073,93	3 169,92	1 557,28	204.07	0,00	0,00	NS	47.44
24	DORDOGNE	9 228,00	5 092,75	999,00	2 505,24	631,27	4,29	5,16	11,77	17,14
25	DOUBS	5 255,00	3 829,32	1 770,36	0,00	26.72	0,00	0,07	0,30	0.02
26 27	DROME EURE	6 567,00	5 092,75	999,00 2 080,68	2 505,24	26,73	0,04	0,10	0,34	0,82
28	EURE-ET-LOIR	6 042,00 5 936,00	2 799,52 1 955,19	3 564,26	375,19 1 020,99	70,94 26,79	0,01	0,10 0,72	0,44 1,14	4,44 8,46
29	FINISTERE	6 769,00	509,00	4 285,63	1 176,05	71,04	0,20	0,72	NS	NS
2A	CORSE-DU-SUD	4 047,00	1 832,11	2 534,36	1 562,22	6,84	0,00	0,00	0,00	NS
2B	HAUTE-CORSE	4 734,00	5 035,46	1 733,33	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	110
30	GARD	5 888,00	2 555,48	2 386,93	931,30	14,41	0,03	0,22	2,21	1,53
31	HAUTE-GARONNE	6 379,00	972,47	2 635,83	2 770,75	,	11,31	6,80	16,99	,,,,,,
32	GERS	6 318,00	723,04	213,90	5 380,64		7,17	5,55	10,04	
33	GIRONDE	10 170,00	3 398,90	3 727,65	2 811,17	231,85	0,13	3,26	5,29	8,05
34	HERAULT	6 248,00	3 080,63	2 691,78	419,00	56,49	0,25	1,32	8,18	16,45
35	ILLE-ET-VILAINE	6 842,00	3 673,65	2 949,66	210,32	8,10	0,02	0,02	0,34	4,82
36	INDRE	6 898,00	1 958,76	3 439,85	1 206,50	292,84	0,01	1,49	3,44	2,59
37	INDRE-ET-LOIRE	6 156,00	1 092,91	1 031,78	3 185,10	846,70	1,27	0,83	4,23	4,58
38	ISERE	7 882,00	2 177,40	5 250,74	454,33		0,00	0,00	0,05	
39	JURA	5 049,00	1 241,53	2 897,08	910,11	0.70	0,18	1,03	2,29	0.00
40	LANDES	9 372,00	5 142,30	3 509,53	716,54	3,78	0,00	0,10	0,50	0,00
41	LOIR-ET-CHER	6 421,00	541,32	3 265,33	2 398,77	215,79	0,74	1,49	2,48	4,17
42	LOIRE HAUTE-LOIRE	4 805,00 5 007,00	2 539,28 4 030,61	1 905,54 400,47	360,50	133 65	0,01	0,16	0,72	1.62
44	LOIRE-	6 911,00	1 876,21	4 644,01	442,51 382,84	133,65 7,52	0,14	0,49	1,91 0,46	1,63 0,00
45	ATLANTIQUE LOIRET	6 814,00	622,22	2 627,96	2 965,41	598,83	0,37	1,80	3,23	4,52
46	LOT	5 232,00	2 370,64	2 502,90	358,91	090,03	0,06	0,39	1,52	7,52
47	LOT-ET-GARONNE	5 393,00	1 537,47	1 129,20	2 726,60	0,03	3,88	4,14	12,77	NS
48	LOZERE	5 183,00	4 018,58	1 137,52	26,47	3,00	0,00	0,00	0,00	
49	MAINE-ET-LOIRE	7 231,00	1 862,73	4 325,03	624,62	418,26	0,22	0,64	3,92	3,08
50	MANCHE	6 016,00	3 762,03	1 814,51	439,82		0,00	0,00	0,00	
			,	,	,		7-7-	-,	-,	

INSEE	NOM	SUPERFICIE TOTALE (km²)	Superficie alea nul (km²)	Superficie alea faible (km²)	Superficie alea moyen (km²)	Superficie alea fort (km²)	Proportion de "batiments" (BDTopo) sinistrés an aléa nul selon les coûts CCR et la répartition BRGM (%)	Proportion de "batiments" (BDTopo) sinistrés an aléa faible selon les coûts CCR et la répartition BRGM (%)	Proportion de "batiments" (BDTopo) sinistrés an aléa moyen selon les coûts CCR et la répartition BRGM (%)	Proportion de "batiments" (BDTopo) sinistrés an aléa fort selon les coûts CCR et la répartition BRGM (%)
51	MARNE	8 200,00	3 477,06	3 524,03	885,02	313,39	0,00	0,06	0,26	0,64
52	HAUTE-MARNE	6 259,00	2 750,52	2 927,19	441,50	139,65	0,02	0,21	0,30	1,47
53	MAYENNE MEURTHE-ET-	5 215,00	1 678,52	3 530,92	5,80		0,00	0,05	0,00	
54	MOSELLE	5 290,00	1 754,51	2 398,19	1 137,61		0,65	2,31	6,19	
55	MEUSE	6 243,00	3 061,64	2 167,15	877,25	136,89	0,00	0,05	0,32	0,20
56	MORBIHAN	6 881,00	4 430,23	2 350,08	99,67	0,56	0,00	0,01	0,50	0,84
57	MOSELLE	6 262,00	1 172,04	4 767,49	322,11		0,11	1,09	3,14	
58	NIEVRE	6 874,00	1 843,29	4 384,27	646,60		0,07	0,69	1,43	
59	NORD	5 773,00	653,11	3 247,91	1 490,34	381,59	0,52	0,85	5,88	4,68
60	OISE	5 902,00	1 119,57	4 241,90	261,72	278,33	0,00	0,06	0,20	0,75
61	ORNE	6 151,00	1 615,21	2 900,16	1 487,61	148,23	0,00	0,21	0,27	0,18
62	PAS-DE-CALAIS	6 722,00	1 295,81	4 408,34	881,48	136,39	0,19	0,56	2,34	3,71
63	PUY-DE-DOME	8 016,00	4 838,83	1 462,99	925,62	788,47	0,89	4,87	11,12	18,83
64	PYRENEES- ATLANTIQUES	7 712,00	2 062,26	4 480,37	1 050,29	119,02	0,06	0,38	2,97	2,11
65	HAUTES- PYRENEES	4 539,00	2 451,36	1 624,41	462,93		0,07	0,61	4,50	
66	PYRENEES- ORIENTALES	4 161,00	2 677,01	1 161,83	322,55		0,00	0,02	0,21	
67	BAS-RHIN	4 802,00	1 117,44	2 772,50	876,64	35,70	0,00	0,09	0,24	0,21
68	HAUT-RHIN	3 533,00	1 264,88	1 838,89	427,48	1,65	0,00	0,01	0,04	0,00
69	RHONE	3 259,00	1 937,62	1 229,14	92,05		0,04	0,29	2,80	
70	HAUTE-SAONE	5 390,00	1 479,77	3 299,23	611,44		0,03	0,19	0,73	
71	SAONE-ET-LOIRE	8 613,00	2 386,77	4 562,98	1 663,27		0,09	0,81	1,57	
72	SARTHE	6 247,00	658,99	3 614,07	1 734,33	239,80	0,39	0,55	1,08	2,13
73	SAVOIE	6 273,00	2 897,91	3 136,63	238,44		0,00	0,01	0,00	
74	HAUTE-SAVOIE	4 605,00	1 304,26	2 936,04	365,17		0,00	0,02	0,03	
75	PARIS	106,00	0.46.55	5 00= 0=		40.70	0.00	0.00	0.22	0.63
76	SEINE-MARITIME	6 336,00	946,06	5 297,96	77,98	13,73	0,00	0,00	0,00	0,00
77	SEINE-ET-MARNE	5 932,00	1 484,18	3 332,84	628,88	485,72	0,15	5,76	14,09	21,01
78	YVELINES	2 309,00	778,83	878,02	457,92	194,42	0,69	7,13	34,44	19,06
79	DEUX-SEVRES	6 039,00	3 129,00	1 533,83	1 062,70	313,40	1,24	0,95	4,16	7,19
80	SOMME	6 214,00	1 797,35	3 596,93	801,46	17,84	0,00	0,00	0,00	0,00

INSEE	NON	SUPERFICIE TOTALE (km²)	Superficie alea nul (km²)	Superficie alea faible (km²)	Superficie alea moyen (km²)	Superficie alea fort (km²)	Proportion de "batiments" (BDTopo) sinistrés an aléa nul selon les coûts CCR et la répartition BRGM (%)	Proportion de "batiments" (BDTopo) sinistrés an aléa faible selon les coûts CCR et la répartition BRGM (%)	Proportion de "batiments" (BDTopo) sinistrés an aléa moyen selon les coûts CCR et la répartition BRGM (%)	Proportion de "batiments" (BDTopo) sinistrés an aléa fort selon les coûts CCR et la répartition BRGM (%)
81	TARN	5 796,00	2 346,94	1 367,06	2 082,32		1,06	9,57	15,69	
82	TARN-ET- GARONNE	3 738,00	571,19	1 951,04	1 215,83		6,16	8,86	27,02	
83	VAR	6 051,00	2 759,17	2 661,12	630,94		0,05	1,84	6,00	
84	VAUCLUSE	3 585,00	956,59	1 916,21	634,93	77,75	0,94	1,72	8,51	38,21
85	VENDEE	6 772,00	1 304,73	3 639,12	1 827,94		0,03	0,24	1,72	
86	VIENNE	7 038,00	1 864,98	2 085,15	2 482,62	604,97	1,39	2,02	7,34	7,64
87	HAUTE-VIENNE	5 557,00	3 482,39	2 071,12	3,47		0,00	0,00	0,00	
88	VOSGES	5 900,00	3 358,49	2 242,85	298,17		0,00	0,04	0,24	
89	YONNE	7 462,00	3 251,78	3 520,84	636,14	53,03	0,13	1,05	5,75	10,09
90	TERRITOIRE-DE- BELFORT	611,00	232,94	206,88	171,11		0,00	0,00	0,02	
91	ESSONNE	1 821,00	509,03	725,34	500,05	86,54	0,24	4,21	11,26	21,56
92	HAUTS-DE-SEINE	176,00	79,65	49,67	29,33	17,10	1,44	4,06	32,70	33,47
93	SEINE-SAINT- DENIS	237,00	3,97	134,26	84,14	14,61	0,56	9,63	15,20	40,98
94	VAL-DE-MARNE	245,00	3,46	171,85	43,58	26,23	0,00	7,10	28,63	56,57
95	VAL-D'OISE	1 255,00	200,64	810,95	171,58	71,42	1,20	1,94	9,17	11,82
							_			
	TOTAL	549 435,00	214 037,38	239 875,61	86 410,36	10 686,45	0,38	1,36	6,38	12,96

Illustration 5 – Statistiques de sinistralité par zone d'aléa pour chaque département

5. Méthode de calcul simple des déformations attendues

5.1. PRÉSENTATION DE LA FORMULATION ISSUE DE LA NORME NF 94 – 060.2

5.1.1. Rappel de l'essai de la norme NF 94 – 060.2

L'essai de dessiccation sur un prélèvement de sol non remanié selon la norme NF 94 – 060.2 consiste à laisser se dessécher librement et progressivement une éprouvette de sol sous atmosphère ambiante et à mesurer périodiquement sa variation de hauteur et de masse. L'éprouvette n'est donc pas soumise à des restrictions latérales, contrairement à l'essai cedométrique. L'essai permet de tracer la courbe de dessiccation, qui représente le diagramme donnant la déformation axiale (ou tassement) en fonction de la teneur en eau : $\Delta H/H_0 = f(w)$. Cette courbe permet de déterminer :

- la limite de retrait effectif w_{Re}: elle représente la teneur en eau pondérale du matériau, en dessous de laquelle celui-ci ne présente plus de variation géométrique significative au cours de la dessiccation. Sa valeur est déterminée par l'intersection des deux parties de courbes correspondant à la phase de non retrait et à la phase « principale » (cf. Erreur ! Source du renvoi introuvable.).
- le **facteur de retrait effectif R**_I: il est égal à la valeur absolue de la pente de la courbe finale, c'est-à-dire pendant la phase de retrait « principale ».

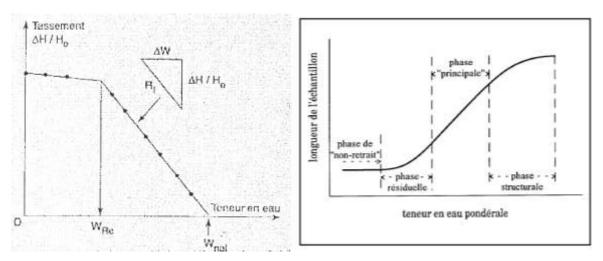


Illustration 6 - Aspect général d'une courbe de retrait linéaire (à gauche: NF XP P94-060-2 : 1997 ; à droite : Coquet & Boivin, 1995)

5.1.2. Analyse de la courbe de retrait d'un sol

La structure des agrégats et les arrangements des particules déterminent la porosité du milieu à différentes échelles. Cependant, la géométrie de l'espace poral (taille, proportion, morphologie, organisation) d'une argile peut changer dans le temps en réponse à des variations de teneurs en eau, entraînant des variations de volume.

Le modèle de Braudeau (1988) permet une certaine interprétation de la courbe de retrait en termes de structure, en distinguant deux types d'espace poral par leur fonctionnement au cours

du retrait : l'espace microporal au sein d'agrégats argileux (ou agglomérats), éléments moteurs de la déformation, et l'espace macroporal complémentaire.

Braudeau *et al.* (2004) ont défini plus tard deux types d'eau : l'eau dite gonflante w_{sw} et l'eau dite condensée ou non-gonflante w_{cn} . L'eau dite gonflante occupe un espace de pores acquis par l'espacement des particules ou des agrégats argileux sous l'effet de la pression osmotique. Son retrait de l'échantillon cause par conséquent le rétrécissement du système de pores concerné. L'eau condensée, quant à elle, occupe un espace de pores interstitiel et est remplacée par de l'air (ou de la vapeur d'eau à la pression de saturation) quand elle quitte le pore; sa perte cause donc peu ou pas de retrait.

Selon Braudeau, chaque phase linéaire de la courbe de retrait est causée par le départ prédominant d'un seul type d'eau (Illustration 7): l'eau condensée, pour les phases à volume quasi constant que ça soit à l'échelle du système de micropores (à gauche du point A) ou de macropores (entre D et E) ; l'eau gonflante, pour les phases de forte variation du volume (entre B et C à l'échelle des micropores et à droite du point F pour les macropores). Enfin, les composantes curvilignes de la courbe, qui constituent une transition entre les deux différentes phases linéaires adjacentes, sont provoquées par le départ simultané des deux types d'eau.

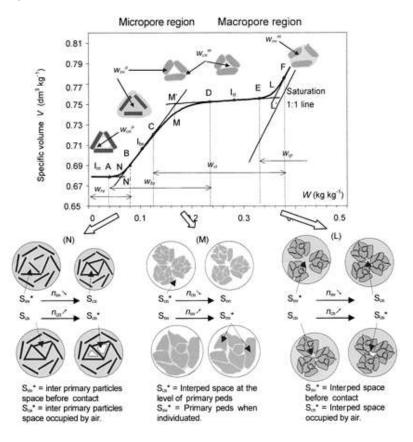


Illustration 7 - Différentes phases de la courbe de retrait d'une argile en fonction de l'organisation de son espace poral (Braudeau et al., 2004)

Le retrait généralement faible aux fortes teneurs en eau est interprété comme une certaine rigidité de la structure pour les pressions capillaires correspondantes. Par contre lors des phases de retrait "normale" (ou "principale") et "résiduelle", les modifications internes de structure seraient très importantes, les micropores se contractant fortement et les macropores s'élargissant au fur et à mesure du dessèchement.

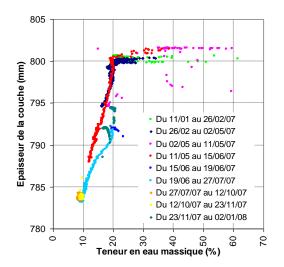
D'autres interprétations d'une courbe de retrait standard sur échantillons non remaniés ont été faites. Par exemple, Coquet (1995) a distingué quatre phases dans la courbe de retrait d'un échantillon non remanié mesurée au laboratoire dans le sens des teneurs en eau décroissantes: une phase de retrait dite "structurale", interprétée comme étant due au drainage des pores les plus gros (Stirk, 1954). Au cours de cette phase de retrait structurale, la pente de la courbe de retrait augmente jusqu'à ce que soit atteinte une phase de retrait qualifiée de "principale » qui représente la plus grande part du retrait. Puis la pente de la courbe de retrait diminue lors de la phase de retrait "résiduelle" (Haines, 1923), avant d'atteindre éventuellement une phase de non-retrait (Stirk, 1954), de pente nulle.

Autre exemple; Hallaire (1987) a observé la fissuration d'un échantillon par analyse d'images prises lors du retrait et considère que le retrait des agrégats argileux est variable dans le temps. Dans un premier temps, la pente serait très faible, car le retrait de l'argile se traduirait principalement par une fissuration interne et l'agrandissement des macropores (dans toutes les directions de l'espace mais essentiellement des macropores horizontaux), ce qui produirait à l'échelle de l'échantillon un retrait macroscopique faible (et surtout latéral), correspondant à la phase dite "structurale". Suivrait ensuite une étape d'affaissement ou de "prise en masse" où la macroporosité se referme en produisant un important retrait macroscopique (surtout vertical), ce qui correspondrait à la phase de retrait dite "normale".

Bien que les courbes de retrait *in situ* ne présentent pas toujours ces 4 phases, puisque généralement obtenues pour des gammes de variations de teneurs en eau naturelles (donc limitées), la majorité des auteurs s'entendent sur le fait qu'une argile subit différentes phases de retrait plus ou moins importantes lors de son dessèchement.

5.1.3. Exemple de retrait obtenu à partir de mesures in situ à Mormoiron

L'Illustration 8 présente les variations d'épaisseur de la couche de sol comprise entre 0,2 et 1 m de profondeur (soit 0,8 m d'épaisseur initiale) enregistrées sur le site de Mormoiron, obtenues par soustraction des déplacements enregistrés à ces deux profondeurs, en fonction de la teneur en eau massique à 0,5 m de profondeur (cette dernière étant issue des mesures *in situ* à un pas de temps de 3 h). Afin de faciliter la lecture, différentes périodes de temps ont été individualisées.



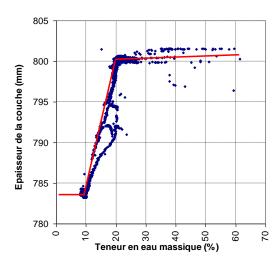


Illustration 8 - Relation entre l'épaisseur de la couche de sol 0,2-1 m et la teneur en eau à 0,5 m de profondeur sur le site de Mormoiron (valeur à un pas de temps de 3 h) et courbe extrapolée (Plat et al., 2008)

Les deux courbes ci-dessus confirment que le phénomène de retrait-gonflement est réversible sur le site de Mormoiron puisque le retrait et le gonflement s'effectuent selon le même chemin et que, pour différentes périodes, le chemin suivi est quasiment identique.

La courbe qui relie la majorité des points peut être décomposée en deux voire trois phases distinctes en fonction de la teneur en eau massique (notée w_m): en dessous d'une teneur en eau de 10 %, la pente de la courbe est supposée nulle ; entre 10 et 20 %, la relation est linéaire avec un coefficient directeur de 150 mm (variation d'épaisseur de 15 mm pour une augmentation de 10 points de la teneur en eau) ; et au-delà 20 %, la pente devient beaucoup plus faible et vaut 6,25 mm (variation d'épaisseur de 0,6 mm pour une augmentation de 10 points de teneur en eau).

Ce type de courbe peut être aisément identifié aux courbes de retrait standard définies par Braudeau (1988) ou Coquet (1995). Les trois phases correspondent respectivement à une phase solide sans retrait ($w_m < 10$ %), à une phase solide avec retrait (w_m compris entre 10 et 20%) et à une phase plastique ($w_m > 20$ %). Par définition, la valeur seuil inférieure doit correspondre à la limite de retrait, ce qui est confirmé par la valeur de 8% mesurée en laboratoire, tandis que la limite supérieure doit correspondre à la limite de plasticité, dont la valeur déterminée en laboratoire vaut environ 28%, ce qui est cependant plus élevé que la valeur obtenue *in situ* (Kheirbek-Saoud *et al.*, 2007). On peut toutefois noter que cet écart pourrait s'expliquer par le fait que l'on compare un échantillon à une colonne de sol *in situ*, intégrant d'éventuelles variations verticales de faciès.

5.1.4. Formulation des déplacements maximaux attendus

Cette formulation est présentée en détail par Bigot (2000).

L'idée est de déterminer l'amplitude attendue des tassements du sol sujet à une dessiccation, connaissant ses variations de teneur en eau. Cette procédure repose sur l'essai de retrait linéaire (norme NF 94 – 060.2). Ce dernier permet de définir W_r la limite de retrait du sol³ et R_l le coefficient de retrait linéaire du sol (paragraphe 5.1.1). Ces paramètres permettent d'estimer le tassement S_{vmax} à attendre en cas de dessiccation d'une argile entre les teneurs en eau W_1 et W_2 .

$$S_{v \max} = \int_{0}^{Z \max} -R_{1} [w_{1}(z) - w_{f}(z)] dz$$

avec

Z_{max} la profondeur maximum des sols sujets au retrait (limitée à 5 m)

et
$$W_f = max (W_2, W_r)$$

Rem : les profondeurs sont exprimées en m et les teneurs en eau sans unité sont comprises entre 0 et 1

Plus concrètement, pour réaliser le calcul de manière détaillée, le sol peut être découpé en couches homogènes de 0,5 m d'épaisseur. Dans le cas idéal, les variations de teneur en eau ainsi que les paramètres W_r et R_l sont connus pour chaque couche homogène. Dans la pratique, l'ensemble de ces paramètres est rarement connu ce qui conduit à faire un certain nombre d'approximations et d'hypothèses (relative par exemple à l'homogénéité du sol).

-

³ Limite en dessous de laquelle, le sol ne connait plus de tassement quand sa teneur en eau diminue

5.1.5. Exemple de calcul pour le site de Mormoiron

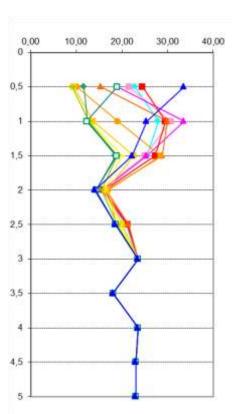
Données d'entrée relatives au sol :

- sol supposé homogène sur 7 m d'épaisseur

$$-R_{1}=0.2$$

$$- w_r = 10 \%$$

Variations de teneur en eau maximales enregistrées sur le site et transcription selon la formulation présentée au 5.1.4 pour la période février 2007-février 2008 :



	Etat humide	Etat	sec
Profondeur (m)	W1 (%)	W2 (%)	Wf = max (W2, Wr) (%)
0,5	33,61	9,01	10,00
1	33,63	12,25	12,25
1,5	28,85	18,58	18,58
2	16,90	14,03	14,03
2,5	21,46	18,54	18,54
3	23,50	23,50	23,50
3,5	18,00	18,00	18,00
4	23,50	23,50	23,50
4,5	23,00	23,00	23,00
5	23,00	23,00	23,00

Illustration 9 - Variations de teneur en eau maximales enregistrées sur le site (à gauche) et transcription selon la formulation présentée au 5.1.4 (à droite) pour la période février 2007-février 2008

Résultat du calcul : S_{vmax} = 6 cm

Ce résultat est conforme aux mesures de déplacement réalisées *in situ* à 0,5 m de profondeur, sur sol nu pour la période étudiée.

Les calculs pour l'ensemble des cycles mesurés est en cours.

5.2. PROPOSITION D'UNE MÉTHODOLOGIE SIMPLIFIÉE

5.2.1. Principe général

L'objectif est de proposer , à partir de cette formulation, des méthodes de détermination extrêmement simples des variations de teneurs en eau et des déplacements, considérant un

profil de teneur en eau théorique (qu'il faudrait adapter en fonction des régions et du type de sol) et le facteur de retrait-linéaire. En effet, ce facteur de retrait-linéaire est extrêmement simple à déterminer en laboratoire, semble bien représenter les déformations du sol en fonction de la teneur en eau si l'on se réfère à ce qui a été obtenu sur le site de Mormoiron (cf. 5.1.3) et permet de bénéficier d'un indicateur qui se rapproche de ce qui peut être obtenu *in situ*, ce qui peut être utile au dimensionnement.

La principale faiblesse de cette approche relève de la méconnaissance des variations du profil de teneurs en eau. Toutefois, les suivis expérimentaux réguliers organisés depuis quelques années permettent d'éclairer et de préciser davantage l'évolution des teneurs en eau dans les sols argileux.

5.2.2. Hypothèses

Les hypothèses retenues et les raisons qui justifient ce choix sont détaillées ci-dessous :

- l'épaisseur de sols argileux à prendre en compte est limitée à 5 m car il est considéré plus profondément que les variations de teneur en eau sont négligeables ;
- la couche de sols argileux est considérée continue et proche de la surface (la valeur des déplacements est ainsi maximisée et peut donc être jugée sécuritaire) ;
- on considère le sol homogène et la valeur de retrait-linéaire considérée est la plus forte pour le profil de sol considéré (souvent, une seule valeur de RI est disponible pour un profil), ce qui a également tendance à maximiser la valeur obtenue ;
- on considère que l'on ne passe jamais en dessous de la limite de retrait, ce qui constitue également une approche conservatrice.

5.2.3. Résultats sur des sites connus

Pour différents profils de teneur en eau, les résultats sont présentés sous forme d'abaques en fonction de la valeur du retrait-linéaire avec en abscisse la valeur de la couche de sols argileux, en ordonnée, les déplacements attendus. Les caractéristiques des sites présentés sont décrites en détail dans Sulcas (2008).

A partir du profil de teneur en eau de Mormoiron

Les variations de teneur en eau sont celles qui ont été enregistrées sur le site de Mormoiron avec les dispositifs Humitub. Ces variations ainsi que les résultats du modèle simplifié sont présentés sur l'Illustration 10.

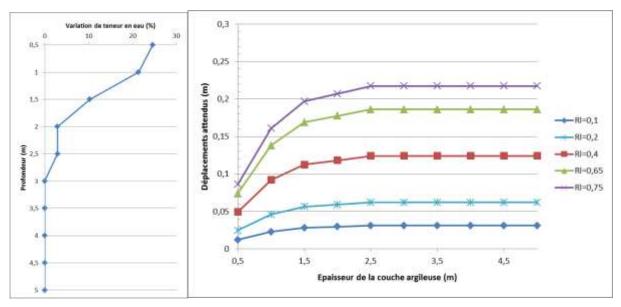


Illustration 10 – Profil de variations de teneur en eau mesurées à l'aide des Humitub (à gauche) et résultat de la détermination des déplacements en fonction de l'épaisseur du sol et du retrait-linéaire pour les variations de teneur en eau enregistrées à Mormoiron (à droite)

Comme déjà mentionné, pour cet exemple, le modèle donne un résultat conforme aux mesures de déplacement enregistrées in situ (0,6 cm avec un RI sur site de 0,2).

A partir du profil de teneur en eau obtenue sur le site de Maryland (Australie)

Le profil de teneur en eau retenu a été enregistré sur la surface non couverte du site instrumenté présenté dans Fityus *et al.* (2004). Les variations hydriques, ainsi que les résultats du modèle simplifié, sont présentés sur l'Illustration 11.

Sur ce site, les valeurs de déplacements enregistrés avec un retrait-linéaire de 0,15 valent 4,32 cm contre 1,5 cm à partir du modèle. Ces différences par rapport aux mouvements de sol mesurés *in situ* pourraient s'expliquer par le type d'essai utilisé pour déterminer le facteur de retrait de ce sol ou à une sous-estimation des variations de teneur en eau mesurées (en effet, celles-ci sont quasi nulles à partir de 1,5 m de profondeur.

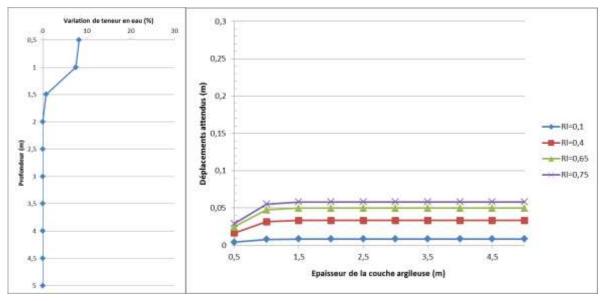


Illustration 11 - Profil de variations de teneur en eau (à gauche) et résultat de la détermination des déplacements en fonction de l'épaisseur du sol et du retrait-linéaire pour les variations de teneur en eau enregistrées à Maryland (à droite)

A partir du profil de teneur en eau du site d'Al-Ghatt (Arabie Saoudite)

Les profils de teneur en eau utilisés sont décrits par Al-Shamrani et Dhowian (2002) au niveau de la ville d'Al-Ghatt (Arabie saoudite). Cette région est caractérisée par des marnes expansives d'une dizaine de mètres d'épaisseur. La station instrumentée s'étale sur une aire de 20x20m. Un système de saturation du sol a été utilisé pour faciliter l'entrée d'eau dans la formation marneuse. Ce système est composé de 19 colonnes de sable, ordonnés en une rangée, chaque drain pénétrant jusqu'à 4 m de profondeur à travers les marnes. Cela permet d'expliquer le profil de teneur en eau obtenu présenté sur l'Illustration 12.

Les résultats du modèle simplifié sont présentés sur cette même illustration.

Pour cette expérience, les auteurs ont enregistré un gonflement de 14,2 cm à 0,2 m de profondeur. Les auteurs ne fournissent pas la valeur de retrait-linéaire puisqu'ils s'intéressent uniquement au gonflement. Le modèle simplifié nous fournirait un retrait-linéaire de l'ordre de 0,5.

Etant données les conditions expérimentales très particulières, les résultats de cet exemple ne correspondent pas à un cas de mouvements naturels de sol.

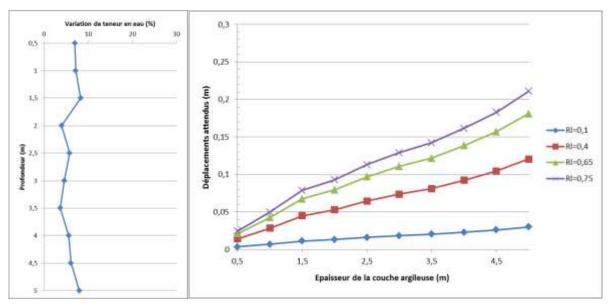


Illustration 12 - Profil de variations de teneur en eau (à gauche) et résultat de la détermination des déplacements en fonction de l'épaisseur du sol et du retrait-linéaire pour les variations de teneur en eau enregistrées à Al-Ghatt (à droite)

A partir du profil de teneur en eau obtenu sur le site de Pessac

L'application de cette méthode au site de Pessac n'a pas été réalisée à ce jour.

5.2.4. Généralisation à partir d'un profil de teneur en eau théorique

Dans une première approche de généralisation, nous avons réalisé le même exercice avec un profil type de variations de teneur en eau.

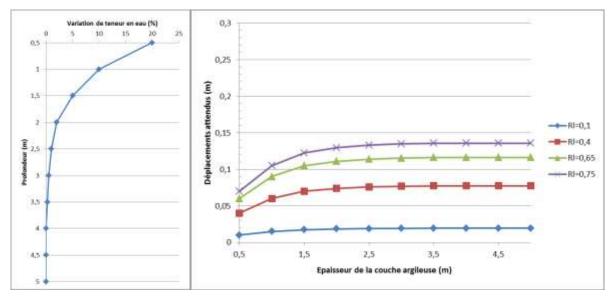


Illustration 13 - Profil de variations de teneur en eau (à gauche) et résultat de la détermination des déplacements en fonction de l'épaisseur du sol et du retrait-linéaire pour un profil type de teneur en eau

Ce type d'approche devrait nous permettre par la suite d'accéder à une cartographie de déplacements maximums, prenant en compte le type de sol ainsi que le climat.

6. Bibliographie

XP P94-060-2 (Décembre 1997) - Sols : reconnaissance et essais - Essai de dessiccation - Partie 2 : détermination effective de la limite de retrait sur un prélèvement non remanié.

Al-Shamrani & Dhowian, 2002, «Experimental study on lateral restraint effects on the potential heave of expansive soils », p 1-19.

Arbizzi S., Kreziak C. (LREP – DREIF), sous la coordination de Magnan J.-P. et Duc M. (2009) – Projet ANR ARGIC, rapport scientifique du LCPC, tâches 5 et 6.- Analyse de dossiers de sinistres en vue d'établir une pathologie des désordres. Analyse économique des techniques de confortements. Rapport LCPC, opération de recherche 13M06561, 65 p., 11 tabl., 35 ill., 3 ann.

Bigot G. et Zerhouni M.I. – (2000). Retrait, gonflement et tassement des sols fins. Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées n° 229, pp. 105-114.

Boutin C. (2007) – Rapport du gouvernement au parlement sur l'indemnisation des dommages aux bâtiments causés par la sécheresse survenue durant l'été 2003.

Braudeau E., 1988, Essai de caractérisation quantitative de l'état structural d'un sol basé sur l'étude de la courbe de retrait. C.R. Acad. Sei. Paris, 1. 307, série II, 1933-1936.

Braudeau E., Frangi J.P. et Mothar R.H. 2004, "Characterizing Nonrigid Aggregated Soil–Water Medium Using its Shrinkage Curve", Soil Science Society of America Journal.

Coquet & Boivin, 1995, « Mesure in-situ des propriétés de retrait de deux sols tropicaux peu gonflants », p 241-255.

Dorelon P. et Poupat B. (2008) – Méthodologie d'estimation des enjeux exposés aux inondations. Document technique de l'IFEN. Pp.11.

Fityus S.G., Smith D.W, Allman M A 2004, « Expansive Soil Test Site Near Newcastle », Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, pp 686-695.

Fityus S.G. & Smith D.W., 2004, « The development of a residual soil profile from a mudstone in a temperate climate », pp 39-56.

Haines, W.B. 1923. The volume changes associated with variations of water content in soil. Journal of Agricultural Science, 13: 296–310.

Hallaire, 1987, « Retrait vertical d'un sol argileux au cours du dessèchement – Mesures de l'affaissement et des conséquences structurales », p 631-637.

Kheirbek-Saoud S., Fleureau J.-M. & Nguyen Diep, 2007, «Nouveau test pour caractériser le potentiel de retrait des sols fins », 14th European Conference on Soil Mechanics & Geotechnical Engineering, Madrid, p 24-27.

Plat, Vincent, Fleureau, Le Roy, 2008, « Couplage des mesures in situ de déformations et de teneurs en eau dans un sol argileux sujet au retrait-gonflement », communication in Geodym 2008

Plat E., Vincent M. et Lenôtre N. (BRGM), Peinturier C., Poupat B. et Dorelon P. (MEEDDAT/CGDD), Chassagneux P. (Météo France), Kazmierczak J.B. (INERIS), Salagnac J.L. (CSTB), Gerin S., Nussbaum R. et Chemitte J. (MRN) (2009) - Estimation des coûts du changement climatique liés à l'aléa

retrait-gonflement – Rapport final du Groupe de Travail Risques Naturels, Assurances et Changement Climatique. BRGM/RP-56771-FR, 62 p., 28 ill.

Stirk G.B., 1954. - Some aspects of soil shrinkage and the effect of cracking upon water entry into soil. Austr. J. Agricul. Res., 5, 279-290.

Sulcas (2008) - Détermination d'une relation empirique entre déplacements de sol et variations de teneur en eau - Application à plusieurs sites expérimentaux. Rapport de fin d'étude de l'ENSG (Nancy).

Vincent M., Plat E., Le Roy S., Surdyk N., Dubus I. avec la collaboration de Martin M. (2007) – Suivi de l'évolution en profondeur de la dessiccation des sols argileux en période de déficit hydrique. Rapport final de phase 2. Rapport BRGM/RP-55845-FR, 161 p., 112 ill., 2 ann.

Vincent M., Hédou F., Chirouze M., Plat E., Le Roy S. (2008) – Cartographie à l'échelle départementale de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux à des fins préventives. Symposium international Sécheresse et Construction, Marne-la-Vallée, 1-3 sept. 2008, éd. du LCPC, Paris, pp. 55-62

Vincent M., Cojean R., Fleureau J.-M., Cui Y. J., Jacquard C., Kazmierczak J.-B., Masrouri F., Tessier D., Alimi-Ichola I., Magnan J.-P., Blanchard M., Fabre D., Pantet A., Audiguier M., Plat E., Souli H., Taibi S., Tang A.-M., Morlock C., Maison T., Mrad M., Bréda N., Djeran-Maigre I., Duc M., Soubeyroux J.-M., Denis A., Proust D., Geremew Z., Le Roy S., Dumont M., Hemmati S., Nowamooz H., Coquet Y., Pothier C., Makki L., Chrétien M., Fontaine C. (2009) – Rapport de synthèse final du projet ARGIC (Analyse du retrait-gonflement et de ses Incidences sur les Constructions) – Projet ANR-05-PRGCU-005. Rapport BRGM/RP-57011-FR en partenariat entre le Centre de Géosciences, le BRGM, le LMSSMat, le CERMES, Fondasol, l'INERIS, le LAEGO, l'INRA, le LGCIE, le LCPC, Météo-France, le GHYMAC et l'Université de Poitiers, 86 p., 27 ill., 6 tabl., 39 ann. (sur CD Rom)

Annexe 1

Proposition d'introduction pour le guide 3

Préambule

Les phénomènes de retrait et de gonflement des sols argileux ont été observés depuis longtemps dans les pays à climats 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 variations saisonnières moins marquées, 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, puis en 2003. Les dégâts observés en France sur les bâtiments concernent essentiellement les maisons individuelles.

Introduction

Le phénomène de retrait-gonflement est spécifique à certains sols argileux. 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 : plastiques et collant aux mains lorsqu'ils sont humides, durs et parfois pulvérulents à l'état desséché. Les sols argileux sont d'autant plus affectés par ce phénomène que leur fraction fine est riche en certains minéraux argileux, principalement de la famille des smectites (montmorillonite, beidellite...), ainsi que certains interstratifiés de type illite-smectites.

Pour ce type de sol, l'humidité du sol (ou teneur en eau) a une grande influence sur son comportement mécanique. Par suite d'une modification de celle-ci, les terrains superficiels argileux varient de volume : comme une éponge sèche mise en contact avec une surface humide, les sols argileux gonflent et deviennent plus souples en présence d'eau. Quand l'eau quitte ces sols, ils sont soumis à un phénomène de retrait, leur volume diminue et des fentes de dessiccation sont susceptibles d'apparaître. Certains minéraux argileux sont particulièrement sensibles à ces variations.

De manière générale, les maisons individuelles sont particulièrement vulnérables aux tassements différentiels sous la base des fondations. La surface du sol occupé par un bâtiment lors de sa construction devient quasi-imperméable. L'évaporation et l'humidication ne peuvent plus se produire qu'en périphérie de la maison. Il apparaît donc un gradient hydrique entre le centre du bâtiment (où le sol est en équilibre hydrique) et les façades. L'alternance de périodes sèches et de périodes humides, la présence d'arbres et d'autres éléments d'aménagement (terrasses, fossés...) peuvent induire des mouvements différentiels alternés dont l'influence finit par amoindrir la résistance de la structure et entraine sa fissuration.

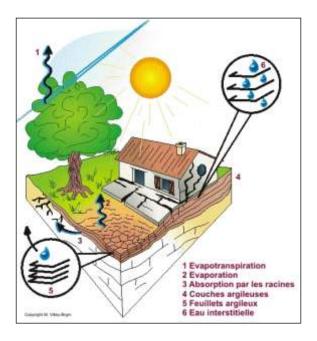


Illustration du mécanisme de dessiccation

L'intensité de ces variations de volume, ainsi que la profondeur de terrain affectée par ces mouvements de « retrait-gonflement » dépendent à la fois du sol sous la construction et de son environnement. Il s'agit essentiellement :

- des caractéristiques du sol : nature (composition minéralogique, microstructure), géométrie (épaisseur...) et hétérogénéité ;
- de l'épaisseur de sol concernée par des variations de teneurs en eau : plus la couche concernée par ces variations est épaisse, plus les mouvements en surface seront importants;
- de l'intensité des facteurs climatiques (amplitude et surtout durée des périodes de déficit pluviométrique...);
- de facteurs d'environnement tels que :
 - la végétation, dont les racines prélèvent directement l'eau en profondeur ;
 - topographie du site (pentes, chenaux d'écoulement);
 - ➤ la présence d'eaux souterraines (nappe, source...);
 - l'exposition (influence sur l'amplitude des phénomènes d'évaporation) ;
 - aménagement (création de zones imperméables).

En préalable à une construction, notamment d'une maison individuelle, la connaissance de ces facteurs doit permettre de bien dimensionner la construction vis-à-vis du retrait-gonflement, d'adapter les modes d'exécution de celles-ci et de prévenir d'éventuels désordres. Dans le cas d'une construction endommagée (dans un contexte de sols argileux), elle doit permettre de déterminer l'origine des désordres et d'optimiser les solutions de réparation adaptées.

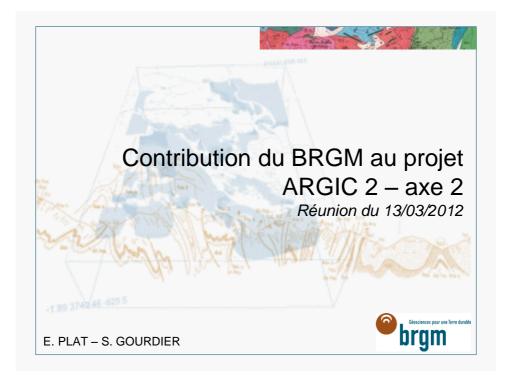
Ce guide a ainsi pour objectif d'aider à la détermination de ces facteurs et aborde successivement les sujets suivants :

- les informations à rechercher sur les facteurs et causes des phénomènes de retrait et gonflement;
- les moyens à mettre en œuvre pour obtenir ces informations ;
- les conclusions à partir des informations recueillies.

A noter que ce guide se limite au phénomène de retrait-gonflement et n'aborde pas les autres phénomènes (tassements par surcharge, glissement de terrain, affaissement de cavité souterraine...) qui pourraient avoir lieu sur la parcelle et qui nécessiteraient des investigations complémentaires.

Annexe 2

Présentation des mesures enregistrées sur le site de Mormoiron - Support de présentation du 3 mars 2011



Vision globale

- Axe 1. Comportement des constructions et de leurs fondations : pathologie, réparation, prévention

 Tâche 1. Études expérimentales sur la station d'essai en vraie grandeur

 - Tâche 2. Analyse du fonctionnement de constructions existantes soumises au retrait-gonflement
 - Tâche 3. Base de données des structures types des constructions individuelles
 Tâche 4. Dimensionnement et modélisation des structures et interactions sol-structure

 - Tâche 5. Guides pratiques pour la protection des maisons individuelles contre les effets de la sécheresse

 - Tâche 7. Rapport de synthèse relatif à l'axe 1

Axe 2. Analyse de la pénétration de la sécheresse dans le sol et définition des sécheresses anormales

- Tâche 8. Techniques de mesure des variations hydriques des sols Tâche 9. Sites expérimentaux : suivi et instrumentation complémentaires
- Tâche 10. Analyse des profondeurs de pénétration de la sécheresse en France
- Tâche 11. Étude des corrélations des déformations et des variations de teneur en eau
- Tâche 12. Influence de la végétation sur la pénétration de la sécheresse
- Axe 3. Sensibilité des sols argileux au retrait-gonflement

 - Tâche 13. Procédures d'essais de caractérisation de la sensibilité des sols Tâche 14. Étude des facteurs du comportement des sols argileux (cycles de séchage et humification, minéralogie, remaniement des sols, traitement à la chaux ou au ciment, microstructure, fissuration, cycles gel-dégel)
 - Tâche 15. Guide pratique pour la caractérisation des sites de construction en termes de retrait et
- Axe 4. L'analyse de la cartographie de l'aléa de retrait-gonflement
- Axe 5. Synthèse des études sur l'aléa (axes 2 à 4)
 - Tâche 17. Rapports relatif aux axes 2, 3 et 4.



Instrumentation des sites expérimentaux

- > Suivi de 2 sites expérimentaux
 - Le Deffend (entre le 02/12/2005 et fin 2008)
 - Mormoiron (depuis décembre 2004)

> Complément d'instrumentation à Pessac

- 1 capteur extensométrique H.S.
- > Instrumentation à Roaillan

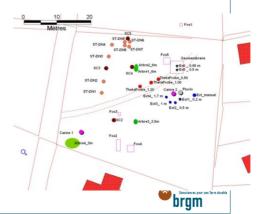
Site de MORMOIRON

- •déc. 2004 : 2 cannes Humitub (en prairie et près d'un arbre) effectuant des mesures d'humidité jusqu'à 7 m de profondeur (12 canteurs chaque)
- profondeur (12 capteurs chacune)

 déc. 2006 : 3 extensomètres mesurant les déplacements verticaux du sol entre 6 m et
- respectivement 0,2 m, 0,5 m et 1 m

 déc. 2007: 1 extensomètre supplémentaire entre 6 m et 1,7 m, et 2 extensomètres entre 6 m et respectivement 0,5 et 1 m sous géomembrane

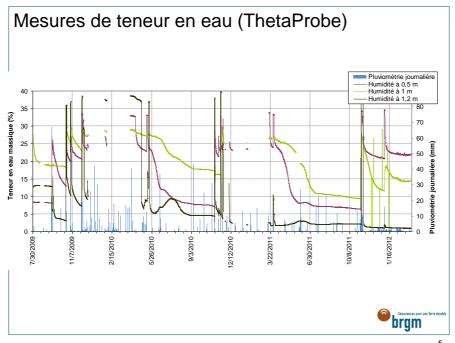
 juin 2008: sondages tubés pour mesures de
- juin 2008 : sondages tubés pour mesures de diagraphie nucléaire (LCPC)
- mars 2009: ajout d'un dispositif de contrôle à mesure « manuelle » des déplacements entre 0,2 m et 1,10 m de profondeur
- juillet 2009 : 3 sondes ThétaProbe à 0,5 m, 1 m 1,20 m de profondeur

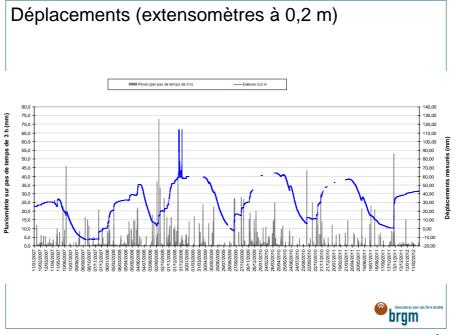


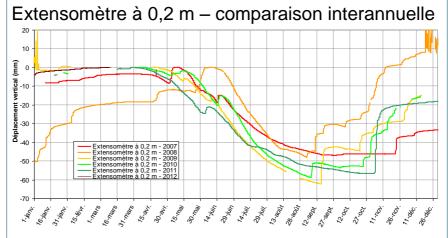
2

MESURES REALISEES A MORMOIRON









- 2007 : tassements tardifs, reprise des gonflement tardive, amplitude tassement modérée (- 4,8 cm), durée tassements de 6,5 mois
- 2008 (très humide): gonflement jusqu'en juin = tassements tardifs, gonflements précoces et importants, amplitude tassement modérée (- 4,8 cm), durée tassements 3,5 mois
- 2009 : plus forts tassements estivaux enregistrés (-6,2 cm) -> forts gonflements pdt hiver précédent et pluviométrie nulle en juillet/aout, durée tassements 4,5 mois
- > 2010 : forts tassements (-5,9 cm), durée tassements 4 mois

lundi 10 septembre 2012 > 7

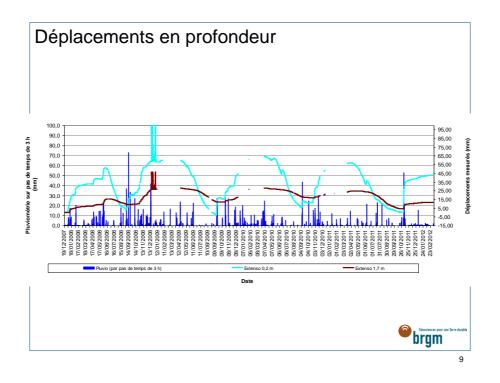
Retour sur l'année 2011 à Mormoiron

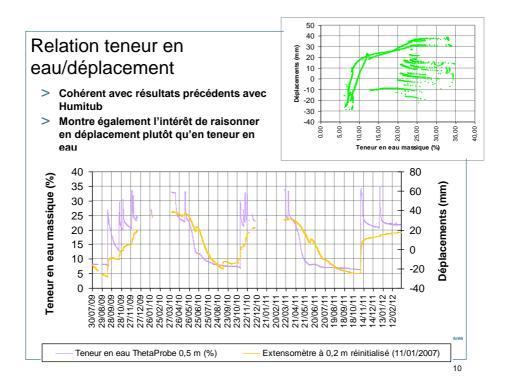
- > Une très longue période de tassement
 - Tassement le plus précoce (mois d'avril/mai très secs)
 - Tassement ralenti en période estivale (précipitations importantes en période estivale)
- > Tassements forts : près de 6 cm à 0,2 m de profondeur (en profondeur?)
- Gonflement tardif mais brutal : 3 cm de gonflement en 5 jours début novembre à 0,2 m de profondeur
- > Année sinistrée d'après la CCR

Généralités sur la période d'observation

- Début tassement : entre début avril (2011) et mi-juin (2009)
- Amplitude des tassements : de -4,8 cm à -6,2 cm
- Durée tassements de 3,5 mois à 7 mois
- Reprise des gonflements : fin août (2010) à fin novembre (2011)







Interprétation des mesures > Traitement à l'aide du logiciel TEMPO (2011) > Expliquer les variations de teneur en eau à partir des chroniques pluviométriques > Comportements été / hiver très différents : un même événement n'aura pas les mêmes conséquences selon la saison (ruissellement) | Pas échant.=1.00 j (base=1.00 j) | Pa

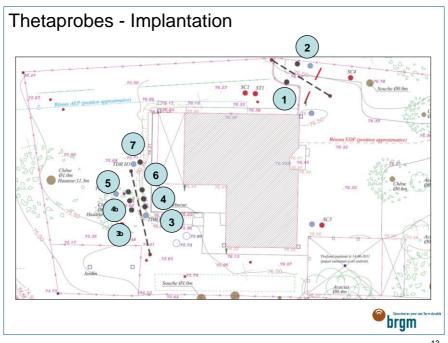
lundi 10 septembre 2012 > 11

9/ 5 10/ 6 12/ 7 13/ 8 14/ 9

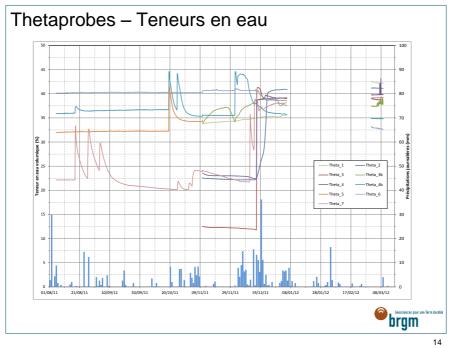
INSTRUMENTATION DE ROAILLAN

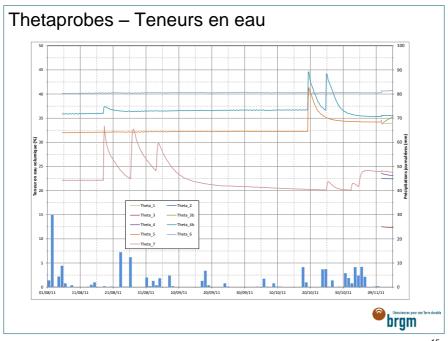


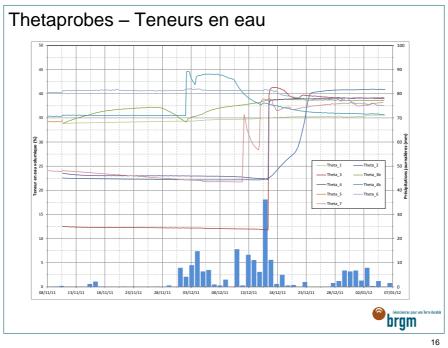
brgm

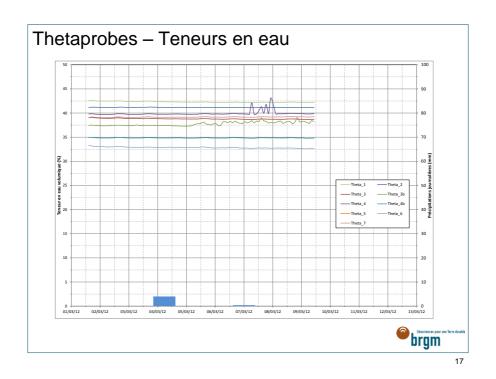


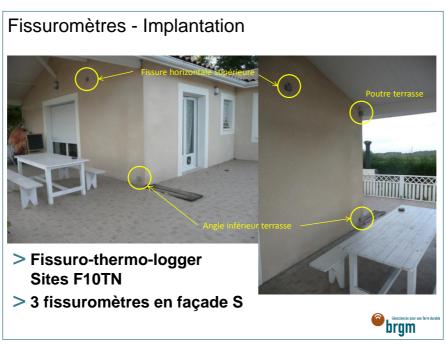


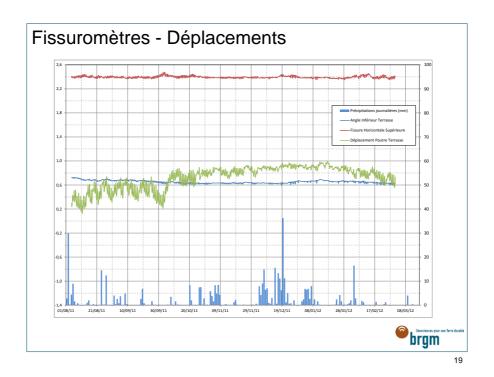


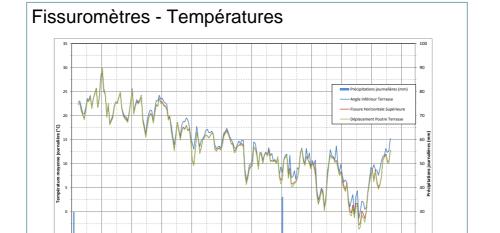












brgm Béssedientes paur un

Remarques

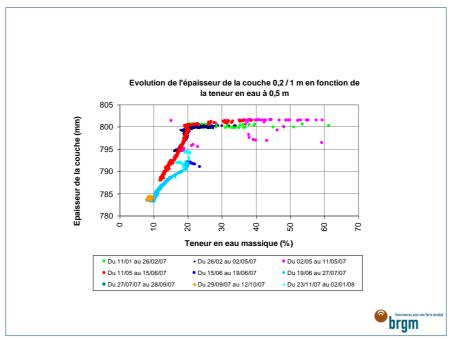
- > Interventions sur site:
 - le 10 nov. 2011 pour rétablir l'acquisition des sondes theta 1, 2, 3, 3b et 4
 - Le 1^{er} mars pour l'installation de la centrale sur secteur et pose d'un modem pour interrogation à distance.
- > Quelques problèmes électroniques persistent
- > Comportement des sondes thetaprobe stabilisé à partir de fin décembre
- > Très peu de mouvements enregistrés par les fissuromètres



21

ANNEXE







Centre scientifique et technique Direction Risques et Prévention)

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34

www.brgm.fr