

**PRESENTATION D'ENSEMBLE
(ARMINES – CENTRE DE GEOSCIENCES, COORDONNATEUR)**

Rapport final Fondation MAIF
ALEA ET RISQUE SECHERESSE
Armines – Centre de Géosciences,
coordonnateur
Janvier 2009



Rapport final Fondation MAIF
ALEA ET RISQUE SECHERESSE
Armines – Centre de Géosciences,
coordonnateur
Janvier 2009



SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION	1
2.	LA SENSIBILITE DES SOLS ARGILEUX AU RETRAIT-GONFLEMENT. COMMENT CARACTERISER LES FACTEURS DE PREDISPOSITION ET LES FACTEURS DECLENCHANTS ? COMMENT DIFFERENCIER LES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX ET LES FACTEURS ANTHROPIQUES ?	1
3.	ACTIONS DE RECHERCHES ET PROJETS RECENTS OU EN COURS RELATIFS A LA SECHERESSE GEOTECHNIQUE	3
3.1	Actions du MEEDDAT (Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire)	3
3.2	Programme RGCU (Réseau Génie Civil et Urbain) : RGA : Retrait-Gonflement des Argiles ..	4
3.3	Projet Fondation MAIF : Aléa et risque sécheresse	4
3.4	Projet R2DS Ile-de-France : Sécheresse géotechnique et bâti	5
3.5	Projet ANR-RGCU : ARGIC : Analyse du retrait-gonflement et de ses incidences sur les constructions	5
3.6	Projet Fondation MAIF : Impact du changement climatique en France sur la sécheresse et l'eau du sol	6
3.7	Actions de recherche BRGM	6
3.8	Actions de recherche LCPC : La sécheresse et ses effets sur les constructions	6
3.9	Actions de recherche INRA : Sécheresse et forêt	6
3.10	Actions diverses	7
4.	LES OBJECTIFS DES TRAVAUX DE RECHERCHE, LES ACTIONS D'INFORMATION ET DE COMMUNICATION RELATIVES AUX RESULTATS ISSUS DU PROJET	7

Rapport final Fondation MAIF
ALEA ET RISQUE SECHERESSE
Armines – Centre de Géosciences,
coordonnateur
Janvier 2009



PRESENTATION D'ENSEMBLE (ARMINES – CENTRE DE GEOSCIENCES, COORDONNATEUR)

1. INTRODUCTION

Les résultats présentés dans ce rapport final du projet « Aléa et risque sécheresse géotechnique » prennent appui sur un état des connaissances déjà bien établi par des études antérieures, présentées dans des documents à caractère professionnel ou pédagogique, parfois orientés vers l'assurance, l'entreprise ou le public. Par ailleurs, d'autres recherches voisines se sont développées dans le même temps de ce projet et se sont consolidées mutuellement, les équipes de recherche concernées étant parfois très proches.

En effet, l'analyse, la mesure et la modélisation numérique du retrait-gonflement des sols argileux, de même que l'étude des mesures constructives adaptées mobilisent depuis plusieurs années un nombre important de groupes de recherche, dans des domaines scientifiques et techniques variés : climatologie et météorologie, géologie et géomorphologie, pédologie et botanique, géotechnique et engineering geology, technologie des constructions. Plusieurs regroupements de compétences ont vu le jour ces dernières années et obtenu divers financements pour leurs travaux de recherche, leurs propres institutions développant parfois un axe de recherche spécifique sur le domaine concerné.

Dans cette Présentation d'ensemble, nous exposons la problématique générale du retrait-gonflement des sols argileux, puis nous précisons les actions de recherche récentes ou en cours sur ce sujet, avant d'introduire les résultats des travaux de recherche en rapport avec ce projet et les contributions des partenaires du projet.

2. LA SENSIBILITE DES SOLS ARGILEUX AU RETRAIT-GONFLEMENT. COMMENT CARACTERISER LES FACTEURS DE PREDISPOSITION ET LES FACTEURS DECLENCHANTS ? COMMENT DIFFERENCIER LES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX ET LES FACTEURS ANTHROPIQUES ?

Les processus de retrait-gonflement des sols argileux, générateurs de tassements différentiels et de dommages au bâti, trouvent leur origine dans des facteurs de prédisposition relatifs à la *composition minéralogique* et la *microstructure* des sols concernés. Ces facteurs résultent de l'histoire géologique des sols argileux - sédimentation, diagenèse, altération - et des sollicitations hydriques, thermiques et mécaniques correspondantes, passées et actuelles (Cojean R., 2007).

Le déclenchement des processus de retrait-gonflement, de même que leur préparation, leur entretien ou leur réactivation, résultent de facteurs environnementaux : contexte climatique et scénarios climatiques, cadre géologique et géomorphologique, contexte hydrologique et hydrogéologique, type d'occupation du sol par le bâti, type de végétation présente à proximité du bâti. Certains de ces facteurs sont d'origine anthropique et l'homme doit parfois être reconnu comme un facteur aggravant ces processus de retrait-gonflement. Dans certains cas il

faut admettre qu'il est directement à l'origine des dommages occasionnés au bâti par suite d'un manquement aux règles de l'art de la construction.

La majorité des sols argileux est sensible au phénomène de retrait-gonflement.

Cette sensibilité, à l'échelle de l'échantillon de laboratoire, varie principalement en fonction de plusieurs facteurs :

- la nature et la proportion des *minéraux argileux* présents dans les sols argileux. Ces minéraux, de la famille des phyllosilicates, présentent une surface spécifique, une capacité d'échange de cations et une affinité pour les molécules d'eau dipolaires importante et très variable suivant leur espèce minéralogique.
- la *microstructure* (parfois nommée *texture*) des sols argileux et les caractéristiques géométriques du *milieu poreux*, contrôlant la plus ou moins grande facilité d'accès des molécules d'eau aux sites d'adsorption représentés principalement par les minéraux argileux et secondairement par des colloïdes.
- la présence d'*autres minéraux* (quartz, carbonates, etc.) et leur disposition en rapport avec la microstructure du sol argileux, pouvant contrarier les accès des molécules d'eau aux sites d'adsorption ou jouant un rôle dans les caractéristiques de déformabilité du matériau.
- la *densité initiale* du matériau. Plus la densité initiale du matériau est forte (ou son indice des vides faible), plus la capacité du matériau à développer des pressions de gonflement, s'il est mis en présence d'eau, est *a priori* forte, de même que l'amplitude de gonflement. A l'inverse, plus la densité initiale du matériau est faible (ou son indice des vides fort), plus son aptitude à donner lieu au phénomène de retrait en période de sécheresse est *a priori* élevée.
- la *teneur en eau initiale* du sol, par comparaison avec ses limites de retrait, de plasticité et de liquidité, qui contrôle évidemment la plus ou moins grande capacité du sol à se rétracter ou à gonfler suivant le type de sollicitation hydrique.

A l'échelle de la formation géologique et non plus de l'échantillon de laboratoire, la *structure géologique* contrôle également fortement l'accès de l'eau aux zones et sites d'adsorption. Des intercalations silteuses ou sableuses ou bien la présence de fissures verticales éventuellement colmatées de produits silteux favorisent les échanges hydriques, soit au sein de la formation géologique, soit au niveau de l'interface sol-atmosphère.

Les *altérations et remaniements de surface* (présence d'altérites et de colluvions argileuses, développement de profils pédologiques) conduisent également à une structuration complexe des formations superficielles argileuses, cette structuration allant généralement dans le sens d'un plus facile accès de l'eau aux zones et sites d'adsorption et donc une plus grande sensibilité de ces formations argileuses aux processus de retrait-gonflement.

Enfin l'envahissement des sols argileux, en profondeur, par le *système racinaire* de la végétation arbustive ou arborée est à mettre en rapport avec des processus d'extraction d'eau *in situ* particulièrement efficaces dans les processus de retrait des sols, cette extraction se réalisant au sein même de la formation argileuse sur de grandes profondeurs et non depuis la seule surface du terrain naturel.

Ainsi, ces différents facteurs, à considérer depuis l'échelle de l'échantillon de laboratoire jusqu'à l'échelle de la formation géologique sur le terrain, contrôlent les amplitudes et les cinétiques de retrait ou de gonflement des sols argileux.

Observons aussi que *l'état de référence des sols superficiels* est très variable suivant le *contexte climatique zonal*. Dans le cas des pays de climats tropicaux secs (régions désertiques ou semi-désertiques) et méditerranéens, où l'état de référence des sols est généralement un état de sol sec ou de faible teneur en eau la plus grande partie de l'année, la sollicitation hydrique à l'origine des dommages est très souvent représentée par un apport d'eau inhabituel, générateur de processus de *gonflement* des sols argileux. A l'inverse, dans le cas des pays de climats tempérés océaniques ou continentaux, où l'état de référence des sols est le plus souvent un état de sol humide, la sollicitation hydrique à l'origine des dommages est un assèchement des sols en surface, sollicitation d'origine climatique ou liée à l'action de la végétation, génératrice de processus de *retrait* des sols argileux.

Observons enfin que le processus de retrait et le processus de gonflement sont tous deux en cause dans la « sécheresse géotechnique », ces deux types de processus ayant évidemment leurs caractéristiques propres, à étudier spécifiquement, au travers d'essais de retrait et de gonflement conduits au laboratoire, d'essais sur modèles physiques, de suivis expérimentaux *in situ* des profils hydriques ainsi que des tassements ou des gonflements des sols, de simulations numériques adaptées.

Référence bibliographique :

Cojean R., 2007. *Introduction : la sécheresse géotechnique*. Revue Française de Géotechnique n° 120-121. pp. 7-9.

3. ACTIONS DE RECHERCHES ET PROJETS RECENTS OU EN COURS RELATIFS A LA SECHERESSE GEOTECHNIQUE

Plusieurs actions de recherche, à caractère fondamental ou appliqué, méritent d'être citées, d'autant que plusieurs des travaux réalisés par notre groupe de recherche s'y réfèrent ou interfèrent avec ces mêmes travaux. La présentation suit un ordre chronologique pour l'essentiel (Cojean R., 2008).

3.1 ACTIONS DU MEEDDAT (MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DE L'ENERGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE)

Le MEEDDAT promeut et finance plusieurs types d'actions à caractère opérationnel, de recherche appliquée ou des actions orientées vers la communication et l'information du public, en particulier sur le thème de la sécheresse géotechnique.

Il faut ainsi citer le soutien à la cartographie départementale de l'aléa retrait-gonflement, dont la mise en œuvre a été confiée au BRGM. Cette action constitue une opération initiée en 1998, après plusieurs études méthodologiques, qui doit aboutir en 2010. De premiers travaux

en ce sens avaient été produits par Armines - Centre de Géologie de l'Ingénieur, avec la réalisation d'une carte de la France, à l'échelle du 1/1 000 000, donnant l'aptitude au retrait-gonflement des principales formations argileuses du territoire métropolitain. Les cartes départementales sont aujourd'hui disponibles sur le site www.argiles.fr du BRGM.

A une échelle communale, la réalisation des PPRN Sécheresse géotechnique se poursuit, avec récemment l'établissement d'un Règlement type pour ces PPRN Sécheresse géotechnique, règlement à adapter cependant aux diverses configurations géologiques régionales. Armines – Centre de Géosciences a contribué à l'établissement de cette réglementation.

Dans le domaine de la communication vers le public, un Guide sur « Le retrait-gonflement des argiles. Comment prévoir les désordres dans l'habitat individuel ? » a été établi en 2007 et est disponible sur le site prim.net du MEEDDAT.

Enfin, un groupe de travail sur « Risques naturels, assurances et adaptation au changement climatique », piloté par le MEEDDAT vient d'être mis en place et comporte un sous-groupe orienté vers le retrait-gonflement des argiles.

3.2 PROGRAMME RGPU (RESEAU GENIE CIVIL ET URBAIN) : RGA : RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES

Ce programme a rassemblé le BRGM comme coordonnateur, et les partenaires suivants : CSTB, LAEGO (INPL), LMSSMat - ECP, CEBTP - SOLEN.

Ce programme a duré 2 ans et s'est achevé en décembre 2006. Il avait comme objectifs d'aboutir à une meilleure compréhension des mécanismes de déclenchement du phénomène de retrait-gonflement des argiles et d'étudier les causes des sinistres et les interactions entre les mouvements différentiels de sols et la structure des bâtiments.

Le rapport final est accessible sur le site www.argiles.fr du BRGM.

3.3 PROJET FONDATION MAIF : ALEA ET RISQUE SECHERESSE

Ce projet de recherche rassemble Armines – Centre de Géosciences comme coordonnateur et les partenaires suivants : CERMES - ENPC, CSTB, OTIG - UPEMLV. Ce projet, de durée 3 ans, s'est terminé en décembre 2008 et ce rapport final présente les résultats issus de cette recherche.

Partant d'un inventaire de l'aléa sécheresse en Ile-de-France, il s'est focalisé sur la caractérisation des paramètres de prédisposition des sols argileux à la sécheresse, l'analyse et la modélisation des échanges sol-atmosphère et des modifications des profils hydriques des sols, l'analyse de la vulnérabilité du bâti par référence à une typologie des structures, l'apport potentiel de l'interférométrie radar pour un suivi régional des faibles déplacements au sol en réponse aux processus de retrait-gonflement. Les aspects cycliques des sollicitations hydriques sont plus spécialement considérés.

Il se conclut par des recommandations pour le diagnostic sécheresse géotechnique et la rédaction d'un document d'information préventive.

3.4 PROJET R2DS ILE-DE-FRANCE : SECHERESSE GEOTECHNIQUE ET BATI

Ce projet a été retenu par le GIS Réseau francilien de Recherche sur le Développement Durable, dans le cadre du thème « Activités économiques de l’Ile-de-France face au changement climatique ». Il rassemble les partenaires Mines ParisTech - Centre de Géosciences, Ecole des Ponts ParisTech - CERMES, UPEMLV - OTIG. La recherche se développe sur 3 ans et arrivera à échéance à mi-2009.

La recherche porte sur l’analyse des conditions climatiques de préparation et de déclenchement de l’événement de sécheresse anormale, la définition des facteurs de prédisposition au retrait-gonflement des sols argileux, l’analyse de la pertinence des approches développées pour les ouvrages en terre comme les remblais, l’étude du rôle des différents paramètres environnementaux du bâti sur sa vulnérabilité potentielle, l’analyse du potentiel des techniques d’interférométrie radar pour un suivi des faibles déformations au sol résultant des processus de retrait-gonflement.

Il se conclura par une synthèse sur les indicateurs techniques capables de caractériser la sécheresse géotechnique ainsi que la sinistralité sécheresse propre au bâti.

3.5 PROJET ANR-RGCU : ARGIC : ANALYSE DU RETRAIT-GONFLEMENT ET DE SES INCIDENCES SUR LES CONSTRUCTIONS

Ce projet se développe sur 3 ans et arrive à échéance début 2009. Il est coordonné par le BRGM et rassemble les partenaires suivants : Armines - Centre de Géosciences, Univ. Bordeaux 1 - GHYMAC, Ecole Centrale Paris - LMSSMat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées - CERMES, Ecole Supérieure d’Ingénieurs de Poitiers - HydrASA, FONDASOL, INERIS, Institut National Polytechnique de Lorraine - LAEGO, INRA, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon - URG, LCPC, Météo - France.

Constitué en 3 Modules, le projet développe des travaux sur 1) l’analyse des effets de la sécheresse sur les constructions : interaction sol-structure, pathologie, prévention et réparation des désordres, 2) la caractérisation hydro-mécanique des sols sensibles au retrait-gonflement par approches expérimentales (essais de laboratoire, suivi de sites expérimentaux) et 3) l’analyse et la modélisation des mécanismes de propagation de la sécheresse dans le sol.

Le projet se conclura par plusieurs synthèses bibliographiques ou fiches de synthèse relatives aux trois ensembles de travaux réalisés et plusieurs types de Recommandations portant sur les essais de laboratoire adaptés à la caractérisation de l’aptitude d’un sol argileux au retrait-gonflement, les techniques de suivi expérimental en place (équipement de site, acquisition et traitement des mesures), les critères de reconnaissance de période de sécheresse exceptionnelle, les techniques de réduction de la vulnérabilité du bâti vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement et les techniques de confortement, la simulation numérique de l’évolution des profils hydriques dans différents contextes environnementaux.

3.6 PROJET FONDATION MAIF : IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN FRANCE SUR LA SECHERESSE ET L'EAU DU SOL

Ce programme de recherche a commencé en 2008 et se développera sur 2 ans. Coordonné par Météo - France, il associe les partenaires CERFACS et l'UMR Sisyphe qui regroupe des chercheurs des Institutions : Univ. Pierre et Marie Curie, CNRS et Mines ParisTech – Centre de Géosciences.

Le projet vise à analyser la variabilité de l'eau du sol sur la période 1958-2008 en utilisant le modèle Safran-Isba-Modcou (SIM), à définir un indicateur sécheresse basé sur l'utilisation de paramètres SIM, puis à réaliser des simulations d'un scénario climatique (scénario A2 devenu A1B, proposé par le GIEC), en vue de rechercher l'évolution prévisible des ressources en eau du sol et de préciser le risque de sécheresse. Partant d'une validation de la méthode sur la période 1960-1989, le programme de recherche vise à préciser l'impact du changement climatique sur la période 2008-2099.

3.7 ACTIONS DE RECHERCHE BRGM

Le BRGM développe de longue date des travaux de recherche sur les risques naturels. Ses actions sont supportées par des fonds propres et divers programmes de recherche. Plus spécialement le BRGM est engagé sur la sécheresse géotechnique au travers du projet ANR-RGCU : ARGIC déjà cité et sur un programme cofinancé par le MEEDDAT portant sur l'équipement et le suivi de sites expérimentaux pour le suivi de profils hydriques et des déformations du sol en réponse aux sollicitations climatiques. Enfin il est met en œuvre, avec le soutien du MEEDDAT, le programme de cartographie départementale de l'aléa retrait-gonflement.

3.8 ACTIONS DE RECHERCHE LCPC : LA SECHERESSE ET SES EFFETS SUR LES CONSTRUCTIONS

Le LCPC a développé de longue date divers travaux de recherche sur les sols argileux, en particulier sur les sols gonflants, et développe depuis 2006 (opération 2006-2010) plusieurs axes de recherche sur la sécheresse et ses effets sur les constructions : caractérisation de l'effet de la sécheresse sur les constructions, mise au point de méthodes de mesure de teneur en eau sur des sites de référence, caractérisation de l'aptitude des sols argileux au retrait-gonflement, modélisation des phénomènes de retrait-gonflement. Actuellement, ces actions sont supportées par des fonds propres et divers programmes de recherche, dont le projet ARGIC. Les Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées participent par ailleurs à ces différents axes de recherche.

3.9 ACTIONS DE RECHERCHE INRA : SECHERESSE ET FORET

L'INRA développe des programmes de recherche sur le thème Sécheresse et forêt, avec en particulier le projet piloté par le GIP ECOFOR entre 2003 et 2005 et la participation actuelle au Projet ARGIC. Un thème de recherche porte sur l'analyse de la croissance des

arbres forestiers, limitée par l'intensité du déficit hydrique du sol. Ces travaux, prenant appui sur la modélisation des bilans hydriques forestiers sur des bases éco physiologiques, visent à identifier des indicateurs de sécheresse géotechnique au travers des réductions majeures de croissance des arbres.

3.10 ACTIONS DIVERSES

Par ailleurs, il apparaît nécessaire de citer collectivement les travaux de bureaux d'étude et d'entreprises engagés sur des opérations en rapport avec la thématique du retrait-gonflement des sols argileux, sur la définition de méthodes de prévention, sur la mise au point de techniques de réparation des dommages au bâti ou de limitation des effets néfastes de la sécheresse géotechnique. Nombre de résultats issus de ces opérations sont utilisés dans les programmes de recherche présentés. De même il faut citer les actions de communication, vers la profession ou le grand public, de diverses communautés administratives, des assureurs et d'agences telles que l'AQC : Agence Qualité Construction.

Référence bibliographique

Cojean R., 2008. *Présentation de projets de recherche récents ou en cours se rapportant à la sécheresse géotechnique*. Symposium international Sécheresse et Constructions (SEC 2008). Editions LCPC, Paris, pp. 427-430.

4. LES OBJECTIFS DES TRAVAUX DE RECHERCHE, LES ACTIONS D'INFORMATION ET DE COMMUNICATION RELATIVES AUX RESULTATS ISSUS DU PROJET

L'ensemble des sujets, présentés au point 2 de cette Présentation générale, a fait ou fait l'objet de travaux de recherche dont beaucoup de résultats ont déjà été présentés dans diverses publications. Le groupe de recherche qui rend compte de ses travaux dans ce rapport final a directement contribué à des actions d'information et de communication, faisant référence à ce projet : « Aléa et risque sécheresse », soutenu par la Fondation MAIF.

En particulier, notre groupe de recherche a été directement à l'origine d'une journée technique, commune aux associations CFGI (Comité Français de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement) et CFMS (Comité Français de Mécanique des Sols et de Géotechnique) qui a rassemblé plus de 150 participants en janvier 2007. Par la suite, notre groupe de recherche a pris en charge l'édition d'un N° spécial de la Revue Française de Géotechnique (N° 120-121), Armines-Centre de Géosciences étant rédacteur en chef. Ce numéro a rassemblé 23 communications dont 6 issues du groupe de recherche du projet « Aléa et risque sécheresse ».

Dans cette action les thèmes de recherche suivants étaient représentés :

Thème 1: Typologie des sécheresses. Facteurs de préparation et de déclenchement. Indicateurs climatiques. Retours d'expériences sur les caractéristiques des sécheresses passées. Changement climatique global et événements extrêmes.

Thème 2: Profils hydriques dans les sols argileux. Rôle de la végétation dans les processus de propagation de la sécheresse dans les sols argileux. Rôles du bâti et de son environnement sur les profils hydriques au voisinage du bâti. Mesures in situ et surveillance. Modélisation des échanges à l'interface sol-atmosphère et simulation numérique des profils hydriques.

Thème 3: Minéralogie et texture des sols argileux et des marnes. Relations eau - argiles. Caractérisation de l'aptitude au retrait- gonflement des sols argileux. Caractérisations thermo-hydro-mécaniques des processus de retrait-gonflement. Approches expérimentales au laboratoire. Modélisation des essais de retrait- gonflement des sols argileux.

Thème 4: Impacts de la sécheresse géotechnique sur les constructions. Pathologie des constructions soumises à la sécheresse géotechnique. Dispositions constructives et reprises en sous-œuvre. Retours d'expérience.

Thème 5: Cartographie de l'aléa sécheresse. Plans de Prévention des Risques. Politiques de gestion du risque de sécheresse géotechnique en France.

Thème 6: Rôle du secteur assurantiel dans l'indemnisation des dommages. Retours d'expérience des experts d'assurance.

Par ailleurs, notre groupe de recherche a contribué, via Armines-Centre de Géosciences et Ecole des Ponts ParisTech-Cermes, à l'organisation du Symposium international Sécheresse et Construction 2008 (SEC 2008), constituant, avec le LCPC, la présidence du Comité scientifique de ce symposium. Les mêmes thèmes de recherche que ceux précédemment évoqués étaient passés en revue. Ce symposium a conduit à l'édition d'un ouvrage de 444 p, rassemblant 54 communications, parmi lesquelles 8 communications issues du groupe de recherche du projet « Aléa et risque sécheresse ».

Ce rapport final de recherche reprend les conclusions des travaux spécifiques réalisés dans le cadre du projet « Aléa et risque sécheresse » et présente en annexe les différents articles issus de cette recherche.

Après cette Présentation générale, le rapport donne les contributions des partenaires aux différentes tâches. *(Il faut noter que les appellations simplifiées de certains partenaires ne correspondent plus exactement au nom de leur institution qui s'est modifié au cours du projet. CGI correspond à Armines - Centre de Géosciences ou Mines ParisTech - Centre de Géosciences. CERMES correspond à Ecole des Ponts - ParisTech / U.R. Navier-Géotechnique. CSTB est inchangé. OTIG correspond à UPE-MLV / OTIG).*

Il faut rappeler la définition des tâches du projet :

Tâche 1 : Synthèse actualisée sur la phénoménologie « retrait-gonflement », les processus de « dessiccation – humectation », l'état de l'art sur le diagnostic « sécheresse » et la démarche des experts d'assurance, la cartographie PPR « sécheresse » en France, la prévention du risque « sécheresse » en Europe et dans le monde, l'apport potentiel des techniques de télédétection (interférométrie radar, ...) dans le diagnostic « sécheresse ».

[CGI, CERMES, OTIG, CSTB]

Tâche 2 : Inventaire de l'aléa sécheresse (contextes climatiques régionaux, contextes environnementaux) et ses conséquences sur les 15 dernières années en Ile-de-France, et focalisation sur les départements de Seine-et-Marne et Val-de-Marne. Les formations géologiques concernées sont, principalement : les Marnes bleues d'Argenteuil, les Marnes blanches de Pantin, les Argiles vertes de Romainville, la Formation de Brie.

[CGI]

Tâche 3 : Détermination des paramètres minéralogiques, pétrophysiques et géotechniques de formations types sélectionnées pour l'étude :

Deux formations géologiques du Bassin parisien sont étudiées : les Marnes bleues d'Argenteuil et les Argiles vertes de Romainville. Les échantillons sont prélevés sur deux sites de carrière et à différents niveaux de la série stratigraphique, afin de réaliser des caractérisations géotechniques et des essais hydro-mécaniques : analyses minéralogiques et texturales, caractérisation du milieu poreux, études des comportements sous sollicitations mécaniques et hydriques.

[CGI, CERMES]

Tâche 4 : Analyse du rôle de la fissuration dans les processus « dessiccation – humectation ». Étude expérimentale sur l'analyse du développement de la fissuration et de la microfissuration lors des processus de dessiccation ; caractérisation géométrique de la microfissuration, le rôle de la microfissuration dans les processus d'humectation et de dessiccation, l'évolution du matériau lors de cycles successifs ; vieillissement ; propagation en profondeur des effets de la fissuration.

[CGI]

Tâche 5 : Etude de l'influence des échanges à l'interface « sol – atmosphère » sur le profil hydrique du sol ; simulation numérique : du modèle unidimensionnel au modèle bidimensionnel en milieu déformable, permettant de mettre en évidence les phénomènes de tassements différentiels, générateurs de dommages aux structures ; validation à partir des données recueillies à partir d'un modèle physique de laboratoire ; conséquences sur les processus de retrait - gonflement.

[CERMES]

Tâche 6 : Utilisation de la base de données de l'Agence Qualité Construction pour une analyse de la vulnérabilité du bâti. Définition d'une typologie des structures vis-à-vis du risque sécheresse.

[CSTB]

Tâche 7 : Télédétection - Interférométrie radar : Apport de l'interférométrie radar au suivi des processus de retrait - gonflement des sols argileux, résultant de sollicitations climatiques extrêmes (sécheresse), et portant à conséquence sur le bâti. Contrôle au sol et validation des résultats. Application à une région de l'est de la région parisienne.

[OTIG]

Tâche 8 : Recommandations pour le diagnostic « sécheresse » et l'appréciation des facteurs de prédisposition des formations argileuses aux variations hygrométriques extrêmes. Rédaction de documents d'information préventive.

[CGI, CERMES, OTIG, CSTB]

Au cours du projet, la définition précise de certaines tâches a légèrement évolué, en rapport avec le développement de la recherche elle-même, ces modifications restant très limitées. Dans tous les cas un équilibre a été trouvé par compensations entre tâches, avec accord de la Fondation MAIF.

Pour la tâche 1, la synthèse sur la phénoménologie « retrait-gonflement » et les processus de « dessiccation – humectation » a été particulièrement développée. Elle a d'ailleurs servie de base pour une tâche voisine dans le projet ARGIC, cet apport issu du projet Fondation MAIF étant clairement indiqué en préambule du rapport technique correspondant pour ce projet ARGIC. Par contre il est apparu hors de portée de réaliser une synthèse sur la prévention du risque « sécheresse » en Europe et dans le monde, les sources d'information étant trop limitées.

La tâche 2 prend appui sur la cartographie départementale réalisée par le BRGM, les dernières cartes de l'Ile-de-France venant d'être terminées. Par ailleurs, cette tâche fait appel également à des travaux relatifs à l'analyse du contexte climatique de l'Ile-de-France

Pour la tâche 3, il est apparu intéressant d'ajouter, en plus des deux formations géologiques retenues au projet : Argiles vertes de Romainville et Marnes bleues d'Argenteuil, une formation de colluvions issues des Argiles vertes de Romainville. De plus, deux profils très détaillés ont été échantillonnés dans les Argiles vertes de Romainville, sur les deux sites de carrière retenus au projet, afin d'apprécier la variabilité des paramètres pétrophysiques et géotechniques de la formation, verticalement au sein de la formation et latéralement à l'échelle de l'Ile-de-France.

La tâche 4 s'est déroulée conformément au programme prévu.

La tâche 5 s'est concentrée sur la mise au point d'un modèle physique de laboratoire pour analyser les échanges à l'interface sol-atmosphère. Une nouvelle approche pour décrire le processus d'évaporation au niveau de cette interface a été développée, en vue de l'intégrer par la suite dans des modèles numériques.

La tâche 6 a été réalisée conformément au projet, prenant appui sur divers travaux de modélisation numérique de structures.

La tâche 7 s'est déroulée conformément au projet.

La tâche 8 est une synthèse des résultats apportés par le projet.

Un document de synthèse rappelant l'ensemble des résultats du projet, orienté vers une démarche d'information préventive, sera élaboré à l'issue de la présentation finale du projet. Il représentera un document de 20 à 40 pages et sera réalisé par le coordinateur, avec l'appui des partenaires.