



cfms

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

RGA : Comprendre, Anticiper, Prévenir

ENSEIGNEMENTS D'ARGIC 1 ET 2

JST DU 06/03/2025

Jean-Pierre Magnan

Introduction

Le retrait et gonflement des sols argileux est un problème majeur en France depuis les années 1980, mais c'est un problème mondial et bien plus ancien.

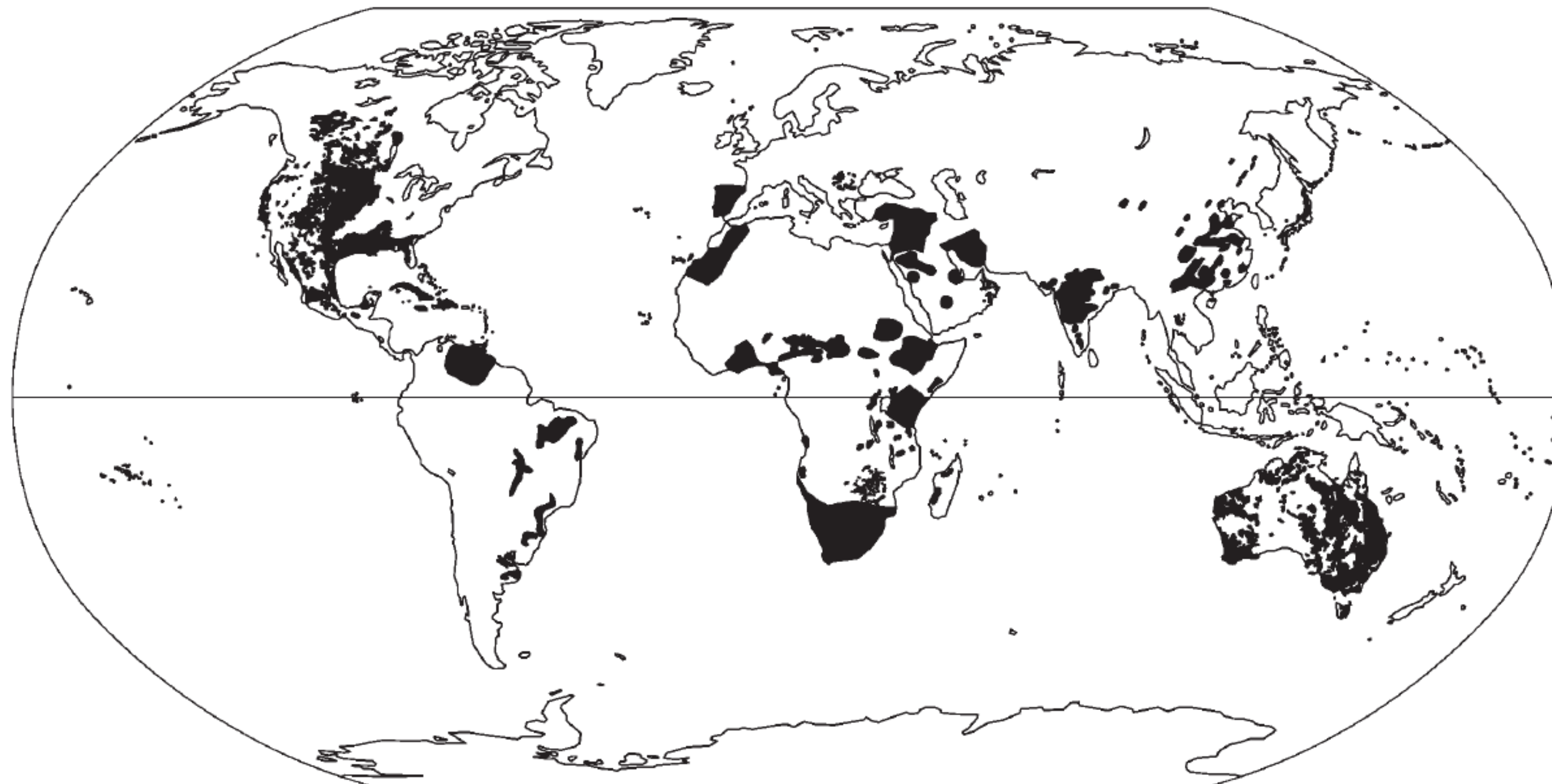
Congrès Sols gonflants

1. 1965 Texas
2. 1969 Texas
3. 1973 Haifa
4. 1980 Denver
5. 1984 Adelaide
6. 1987 New Delhi
7. 1992 Dallas

Congrès Sols non saturés

1. 1995 Paris
2. 1998 Pékin
3. 2002 Recife, Brésil
4. 2006 Arizona, USA
5. 2010 Barcelone
6. 2014 Sydney
7. 2018 Hong Kong
8. 2023 Milos, Grèce

+ conférences régionales



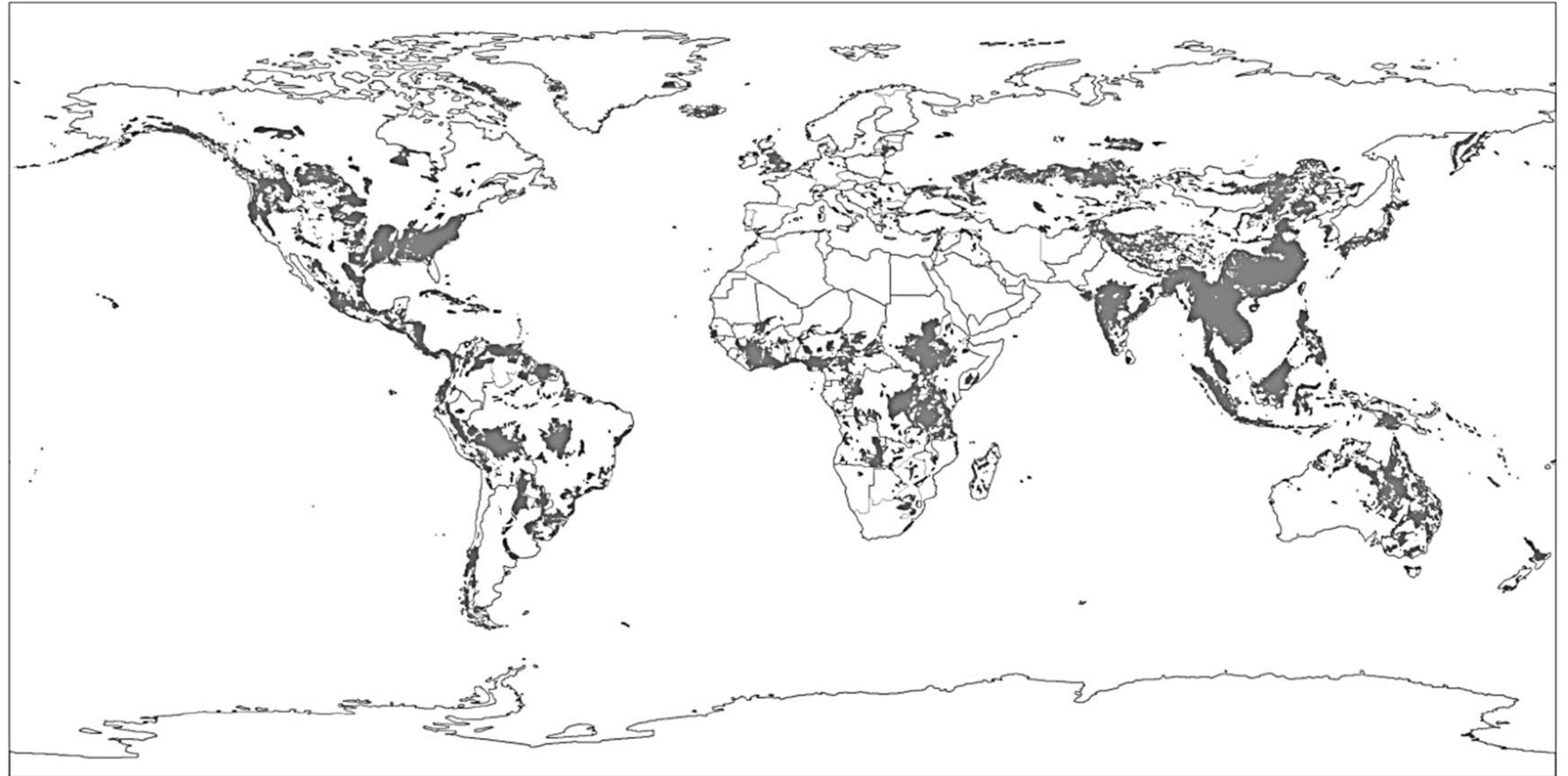
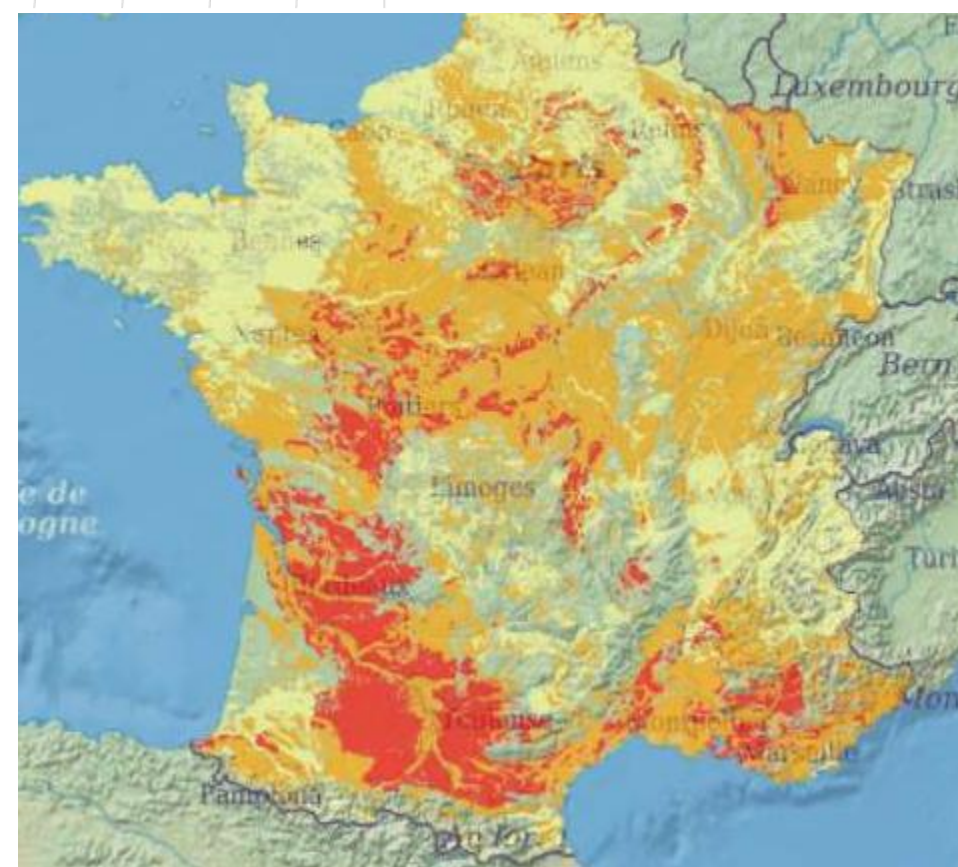
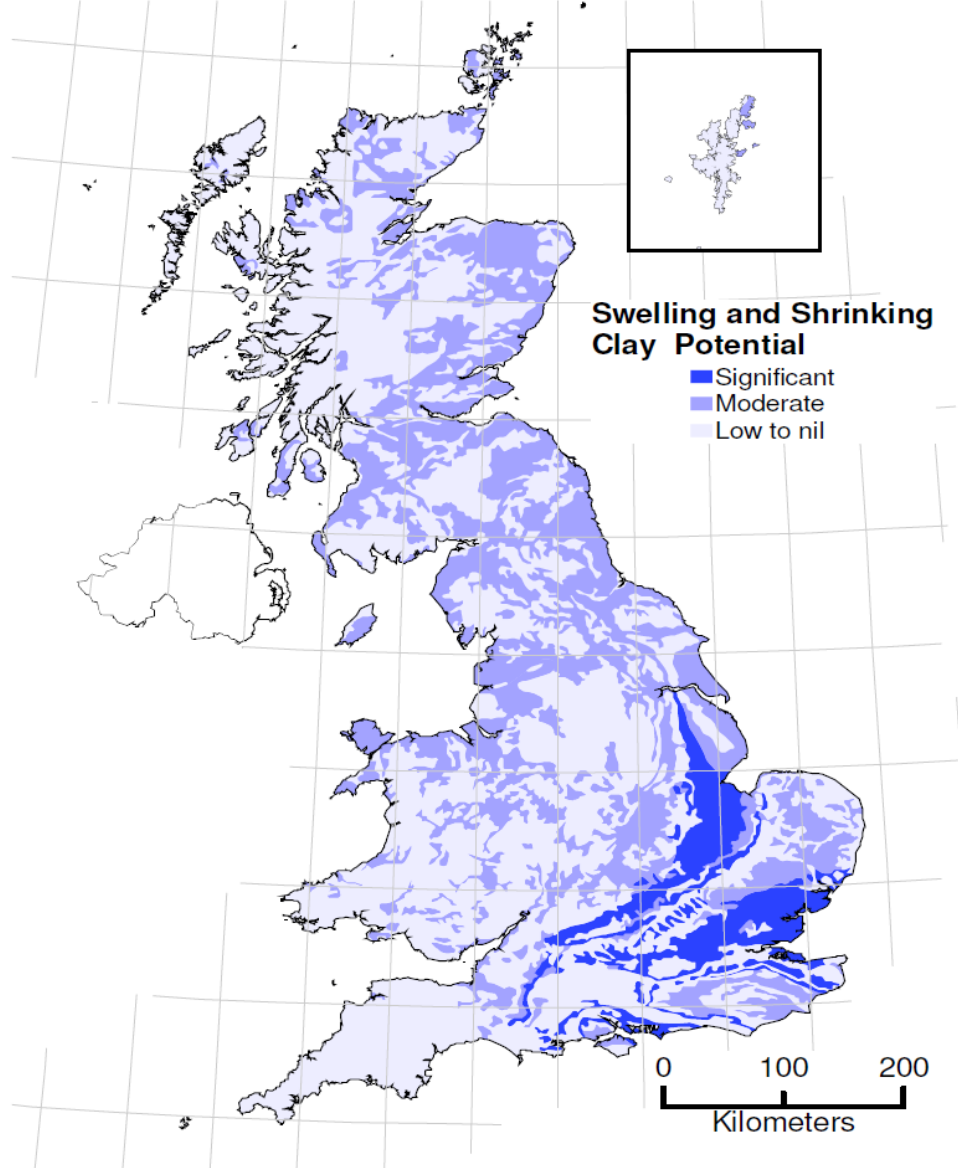
Carte des zones de sols gonflants dans le monde

Livres

- Kassif et al. (1969)
Chen (1975)
Mouroux et al. (1988)
Mustafaev (1989)
Sorochan (1991)
Freeman et al. (1994)
Wray (1995)
Nelson et Miller (1997)
Steinberg et Steinberg (1998)
Katti et al. (2002)
Al-Rawas et Goosen (2006)
Driscoll et Skinner (2007)

Introduction

Les cartes dépendent beaucoup des auteurs. Celle-ci a été faite par un auteur anglais. On voit la Russie et le Royaume Uni, mais rien en France ni en Espagne...

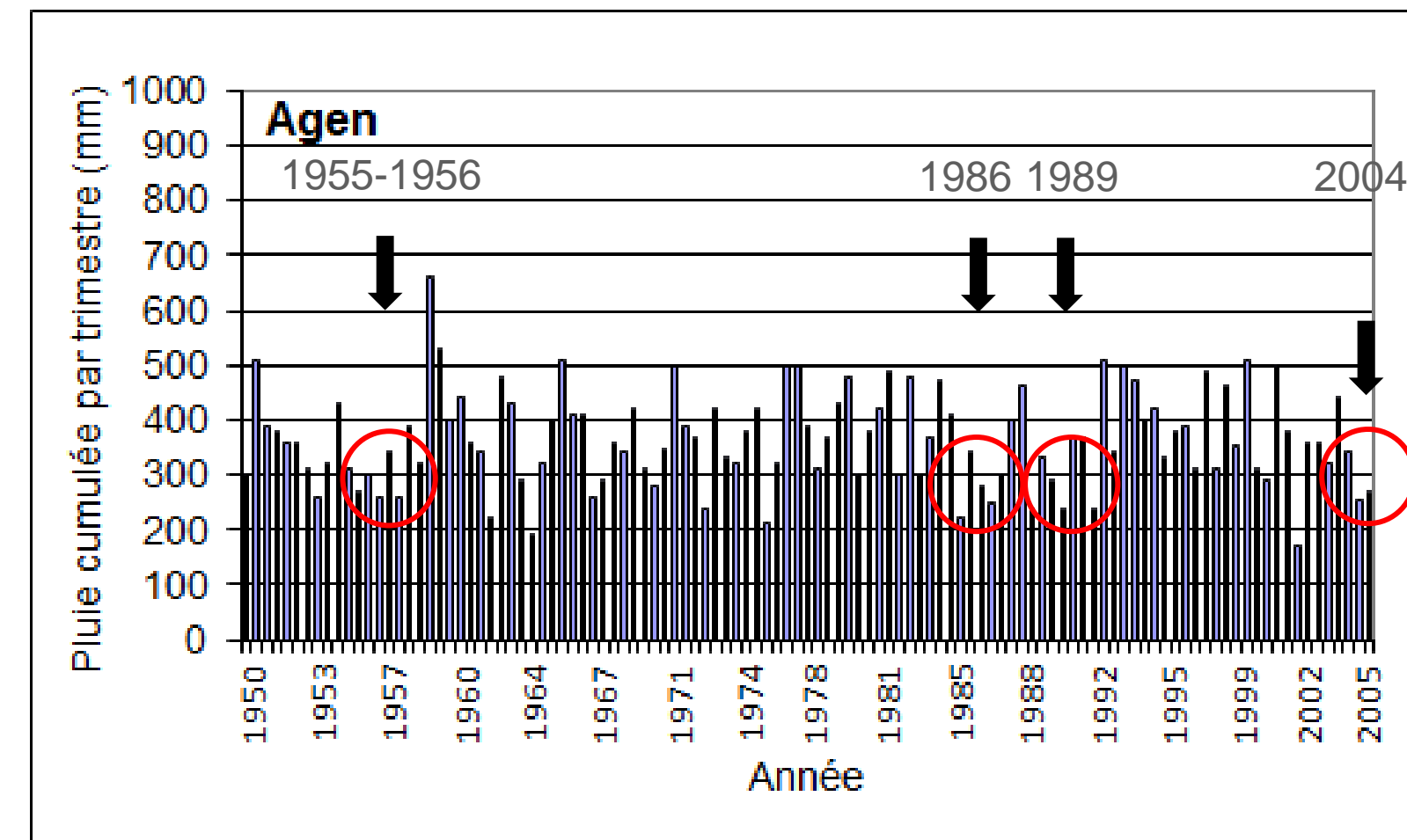
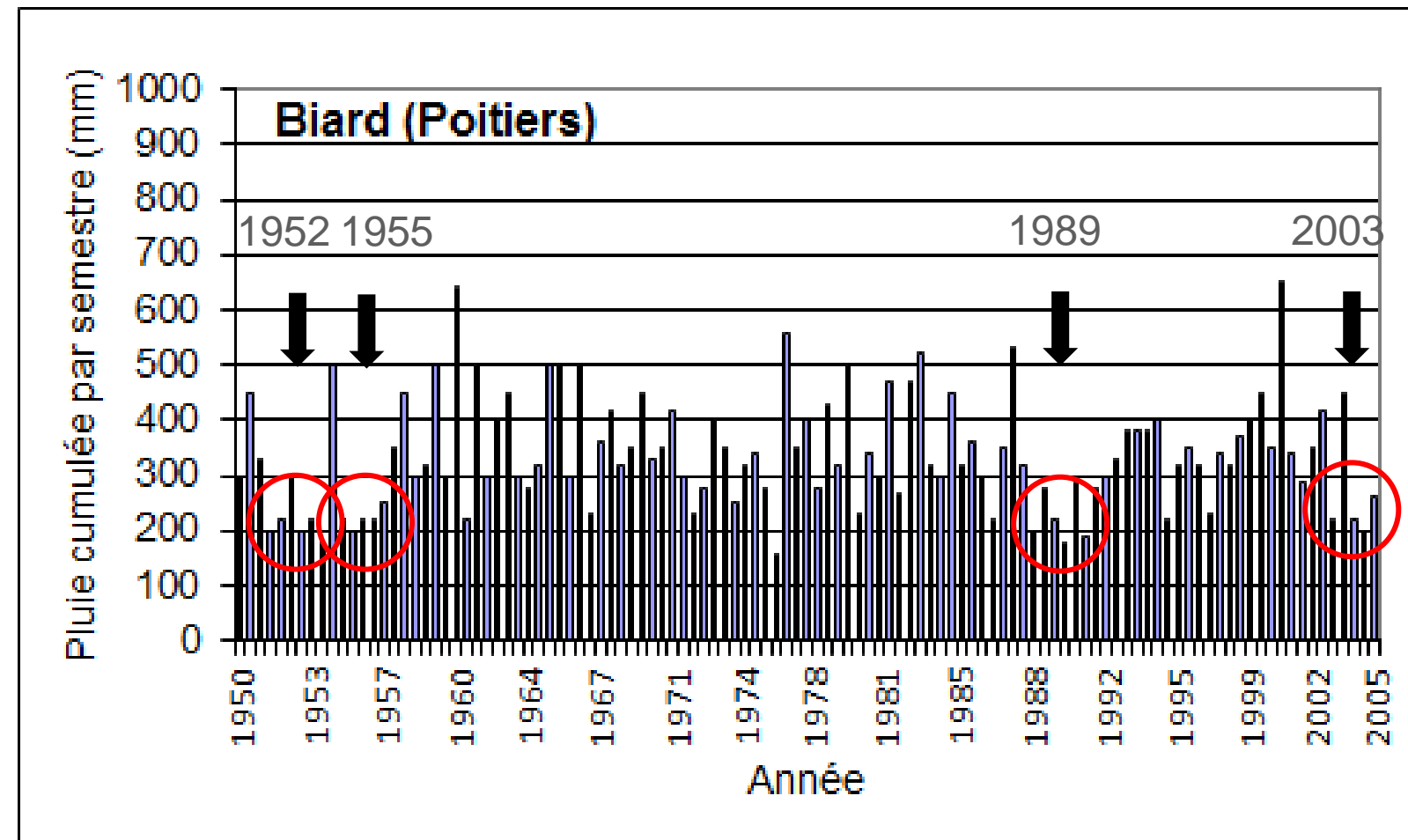


Introduction

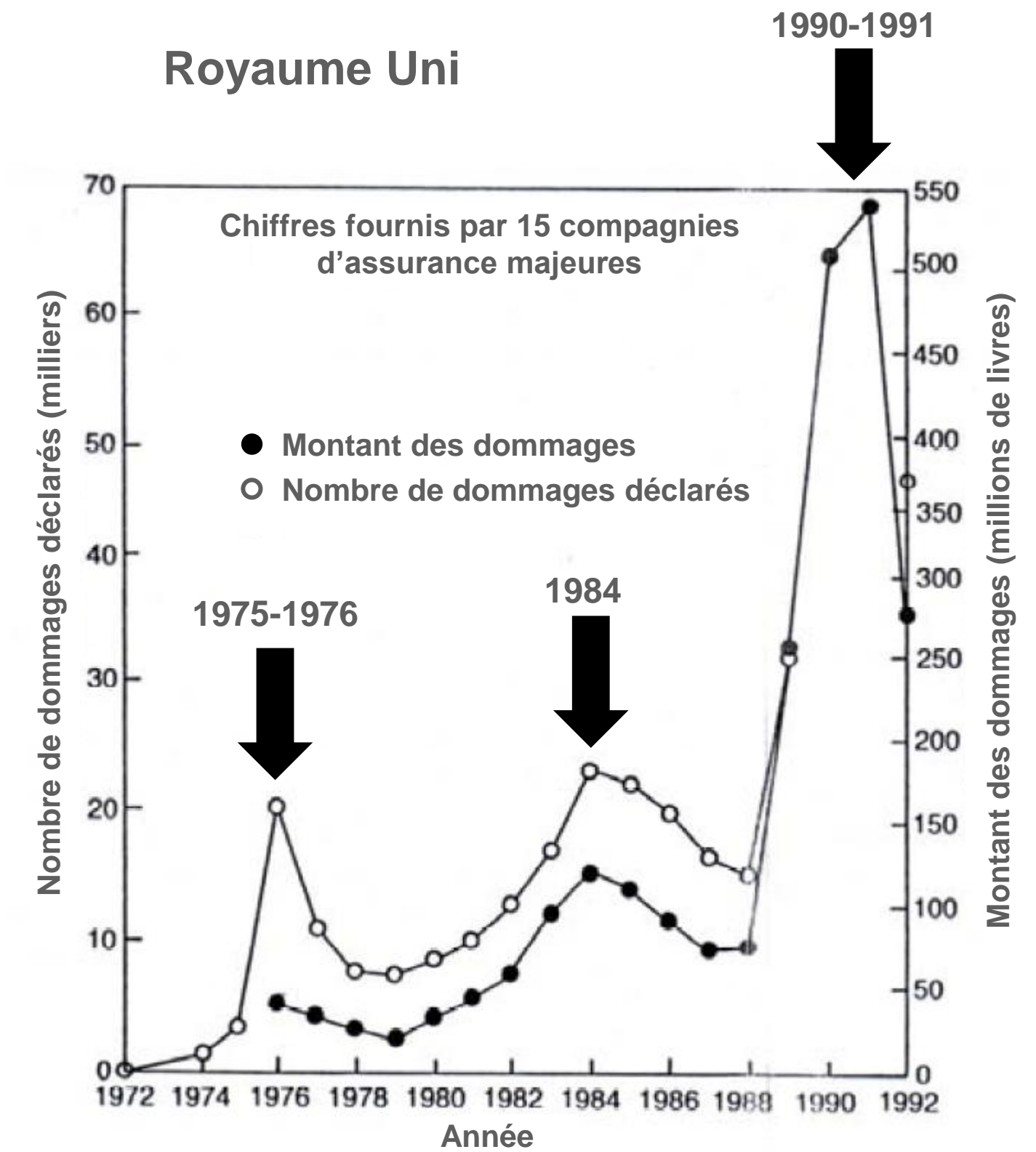
Les cycles de sécheresse et de réhumidification des sols argileux sont aussi très anciens.

France

Stations de Météo France



Le régime des Catastrophes Naturelles existe depuis 1982. Pour le RGA, depuis 1989.



Les compagnies d'assurance ont couvert ce risque à partir de 1970

Les préoccupations dues aux phénomènes de retrait et gonflement des argiles se sont développées en France à la fin des années 1970.

Le CEBTP a été le centre de ces premières études et Gérard Philipponnat un des acteurs majeurs, comme en témoignent deux publications :

- Désordres dus à la présence de sols gonflants dans la région parisienne. Annales de l'ITBTP, n° 364 (1978).
- Sols expansifs en France. Identification et recommandations pour les fondations. 6^{ème} Conférence Internationale sur les sols gonflants, New Delhi (1987).

En 1991 et 1992, la Revue Française de Géotechnique a publié une série d'articles sur ce sujet, à la suite des sécheresses subies en 1989 et 1990 :

- G. Philipponnat : Retrait-gonflement des argiles, proposition de méthodologie. Revue Française de Géotechnique, n°57, pp. 5-22 (1991).

Quatre articles en 1992 (RFG, n°58) : Exemples de sinistres en région parisienne (P. Vandangeon), Le point de vue du contrôleur technique (P. Blondeau), Le point de vue de l'expert (C. Duronsoy) et Les conditions d'application de la loi du 13 juillet 1982 relative à l'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles aux dommages dus à la sécheresse (M. Toulemont).

Les travaux réalisés au cours de cette période, avant le lancement des programmes de recherche des années 2000, ont produit des documents importants, orientés vers le grand public :

CEBTP, sous l'égide de l'AQC, de l'APSAD, de l'AFAC, de la CCR et de la FNB (1991) : **Détermination des solutions adaptées à la réparation des désordres des bâtiments provoqués par la sécheresse**. Guide pratique CEBTP en 3 fascicules.

La Documentation française (1993) : **Sécheresse et construction : guide de prévention**.

Agence Qualité Construction (2004) : **Sécheresse et construction sur sols argileux : nouvelles règles préventives**. (CD Rom).

Beaucoup des pratiques actuelles sont décrites dans ces documents.

Travaux antérieurs en France

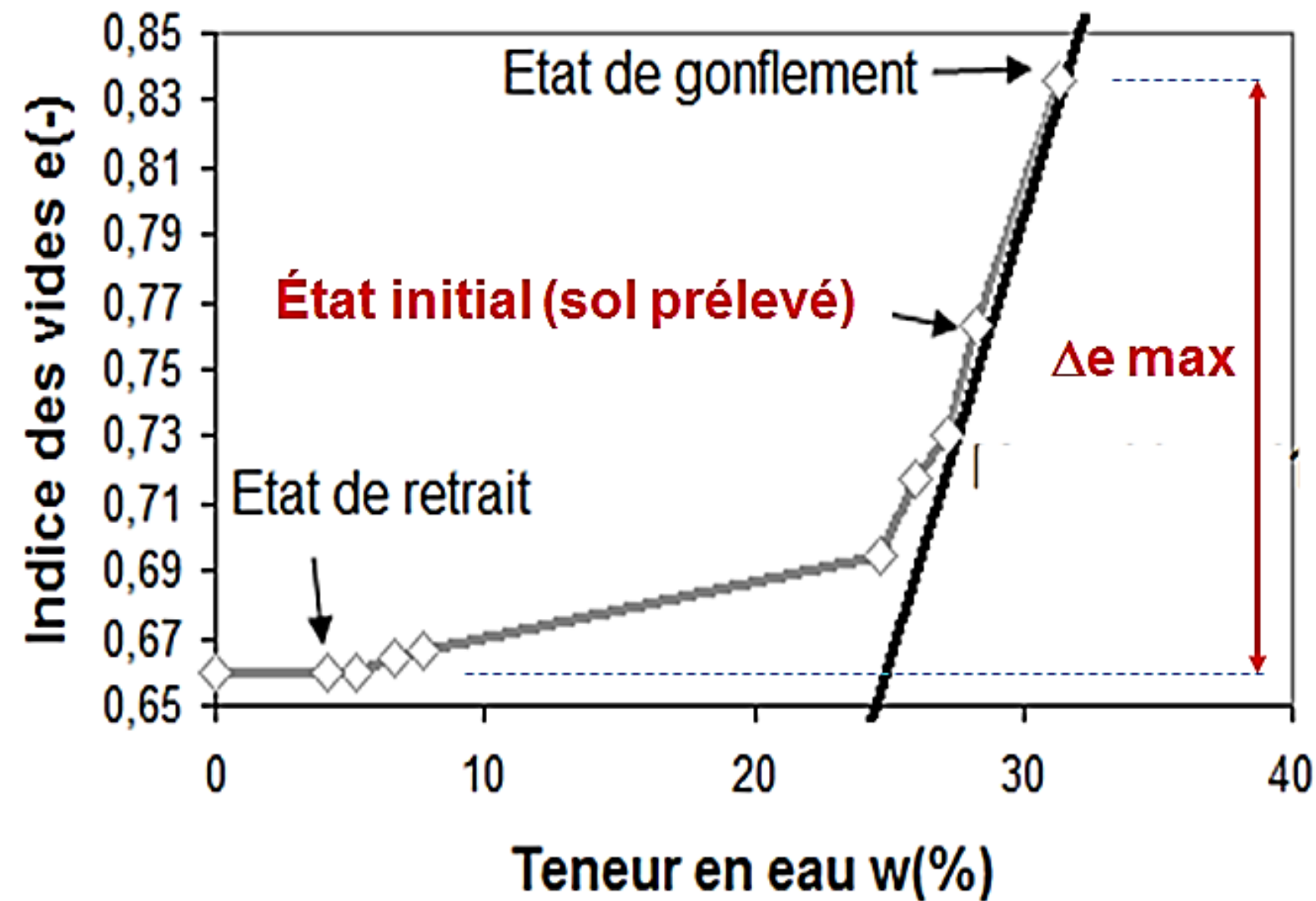
Roger Cojean a présenté en 2008 lors du symposium international SEC2008 les programmes de recherche réalisés ou programmés en France sur ce sujet des argiles et du retrait-gonflement. On trouve dans son rapport :

- les **travaux de cartographie** du BRGM, initiés en 1998,
- le projet RGCU « **RGA : retrait et gonflement des argiles** », coordonné par le BRGM (2004-2006),
- le projet de la Fondation MAIF « **Aléa et risque sécheresse** », coordonné par Armines (2006-2008),
- le projet R2DS Île de France « **Sécheresse géotechnique et bâti** » (2006-2009),
- le projet ANR-RGCU « **ARGIC : Analyse du retrait-gonflement et de ses incidences sur les constructions** », coordonné par le BRGM (2006-2009),
- le projet de la Fondation MAIF « **Impact du changement climatique en France sur la sécheresse et l'eau du sol** », coordonné par Météo France (2008-2010),
- les actions de recherche du LCPC/IFSTTAR et du CEREMA : **Comportement des sols gonflants et dimensionnement des ouvrages géotechniques** (1998-2002), **Évaluation des risques liés à la sécheresse** (2006-2010), **Effet de la sécheresse sur les bâtiments et les infrastructures** (2011-2014)
- les actions de recherche de l'INRA « **Sécheresse et forêt** » en particulier pour le GIP ECOFOR (2003-2005) et ARGIC,
- le projet de recherche **ARGIC2** (projet C2D2, MEDDE), coordonné par l'IFSTTAR (JPMagnan-SBurlon) (2011-2014).

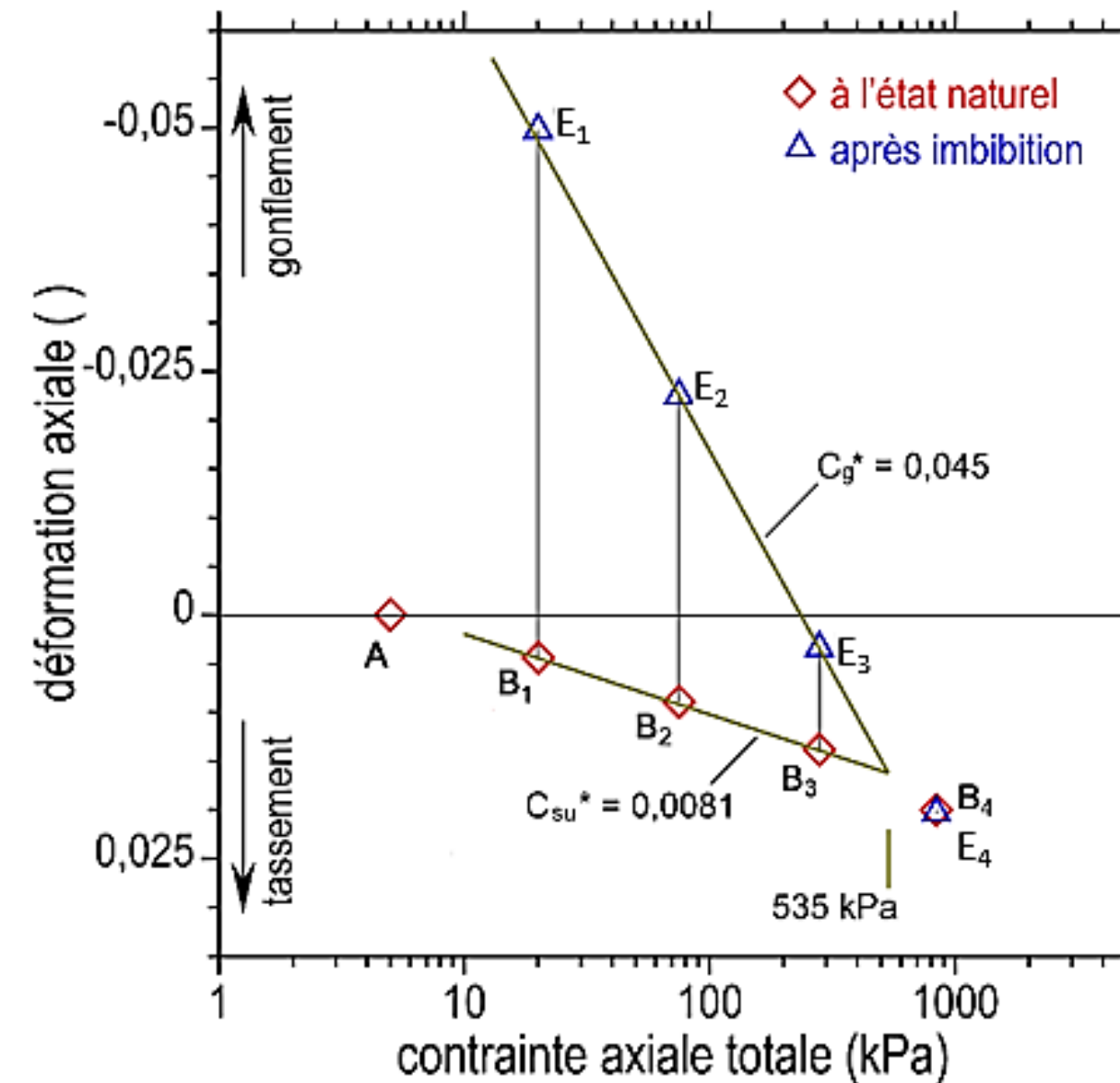
Quelques acquis

Trois facteurs conditionnent le retrait-gonflement des sols argileux :

- le sol,
 - les variations de la teneur en eau,
 - les charges appliquées,
- mais aussi l'influence des arbres.



Influence de la teneur en eau



Essais de gonflement en parallèle

Influence de la charge

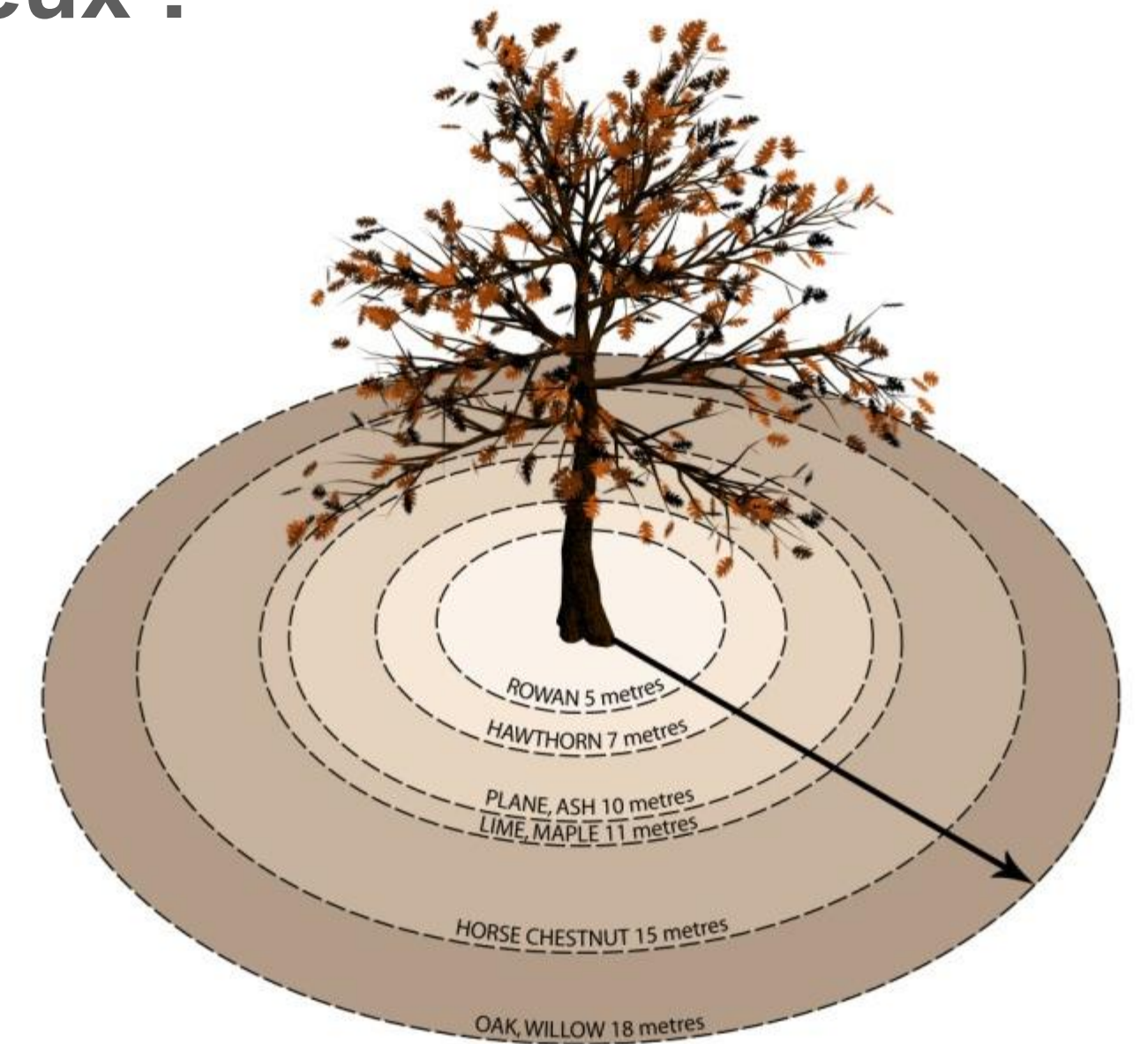


Tableau 2 du Guide 2 (ARGIC2)

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

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

Influence des arbres

Module A : Effets de la sécheresse sur les constructions : interactions sol-structure, pathologie, prévention et réparation des désordres

Partie A1 : Modélisation des interactions entre les sols sensibles au RGA et les structures des maisons individuelles
Partie A2 : Pathologie, prévention et réparation des désordres

Module B : Approches expérimentales (*in situ* et en laboratoire) pour la caractérisation hydro-mécanique des sols sensibles au RGA

Partie B1 : Synthèse bibliographique
Partie B2 : Suivi d'instrumentation *in situ*
Partie B3 : Caractérisation en laboratoire de la susceptibilité au RGA

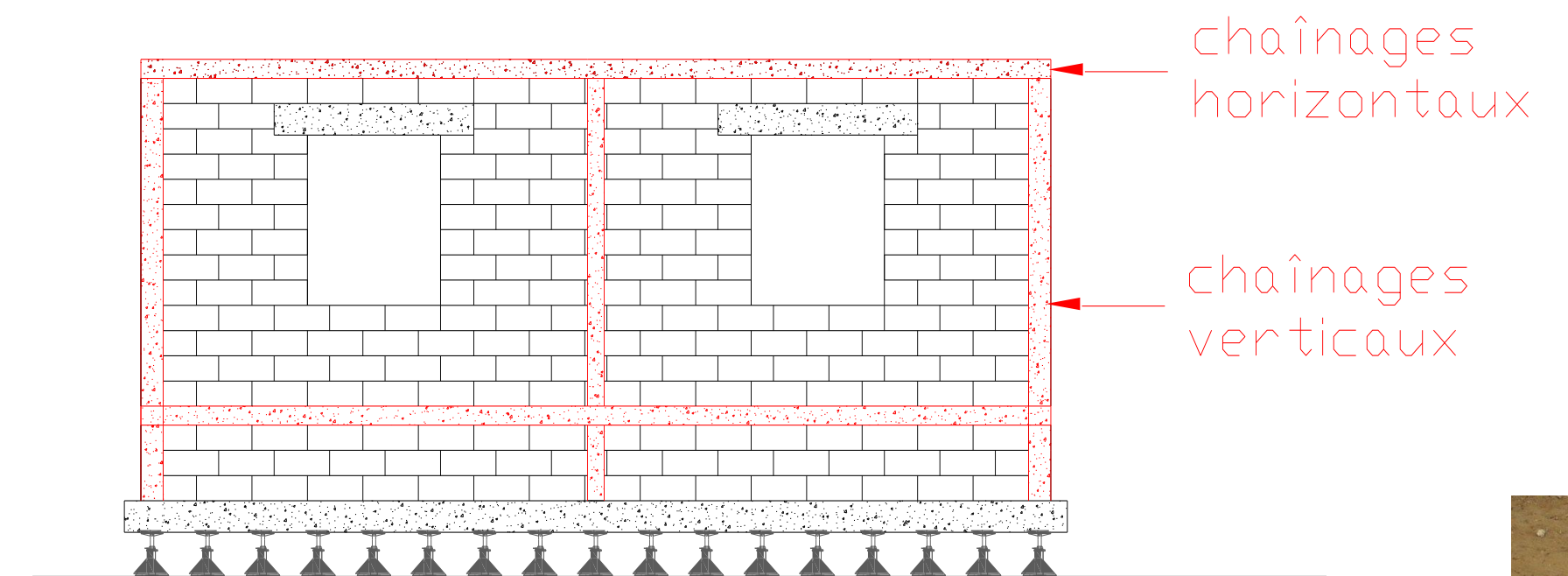
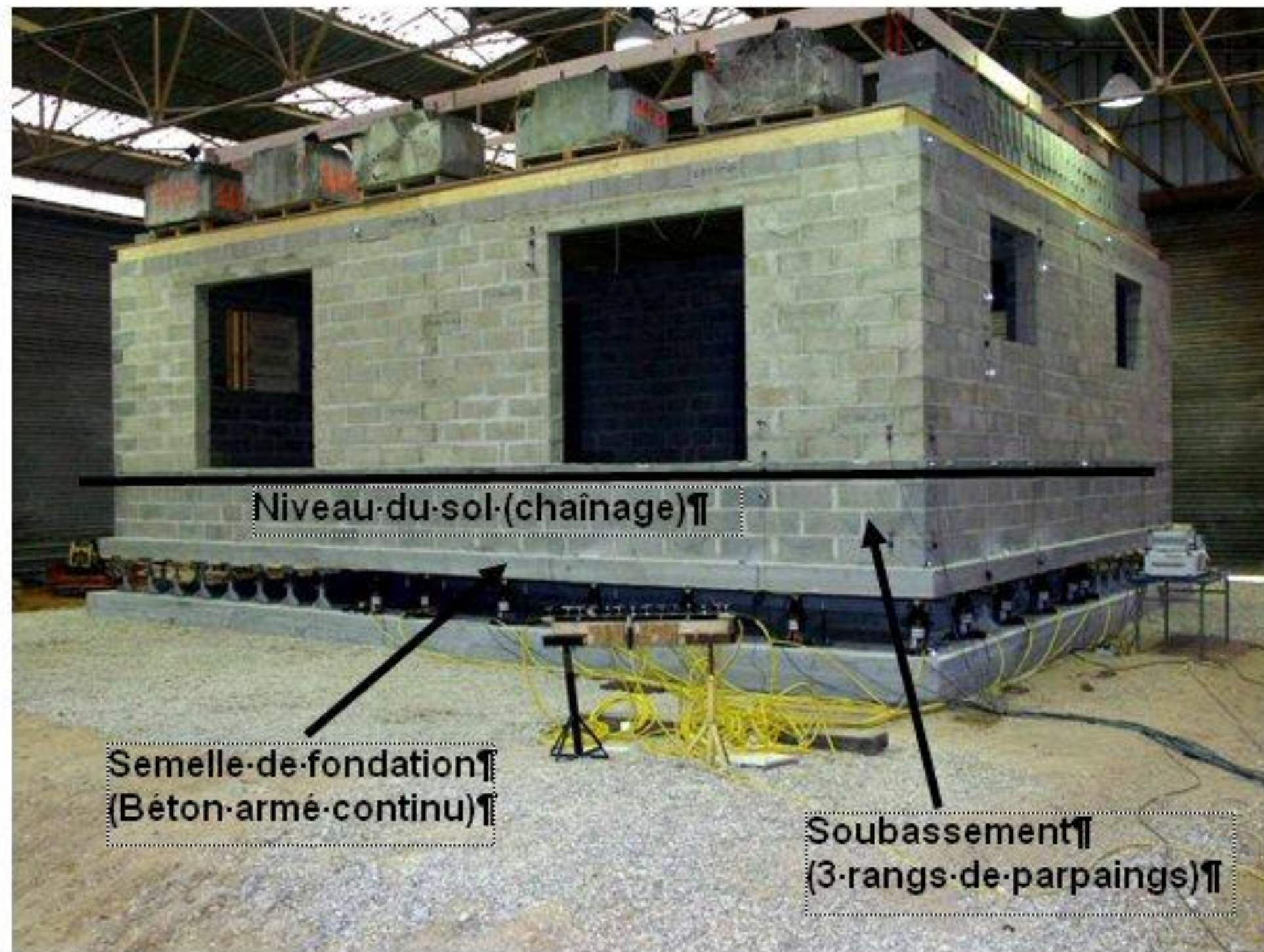
Module C : Mécanismes de propagation de la sécheresse dans le sol et modélisation

Partie C1 : Synthèse bibliographique
Partie C2 : Acquisition, analyse et sélection de critères pertinents pour la modélisation
Partie C3 : Modélisation numérique de l'évolution des teneurs en eau en profondeur en période de sécheresse
Partie C4 : Analyse des répercussions climatiques sur la dessiccation des sols

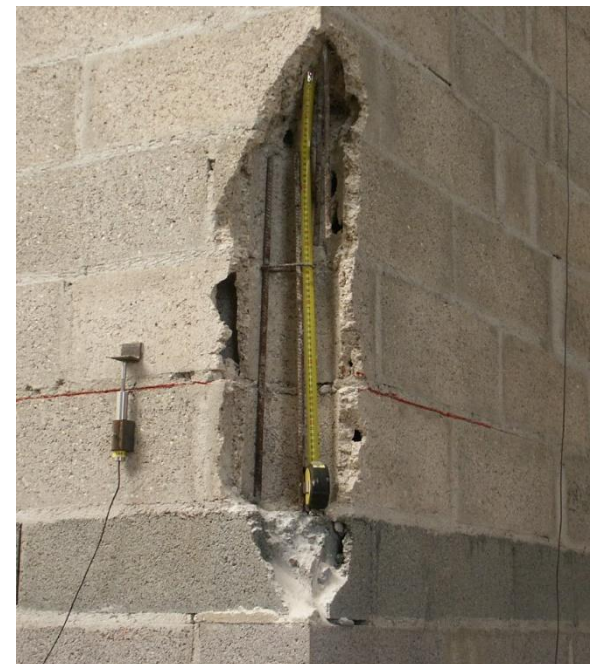
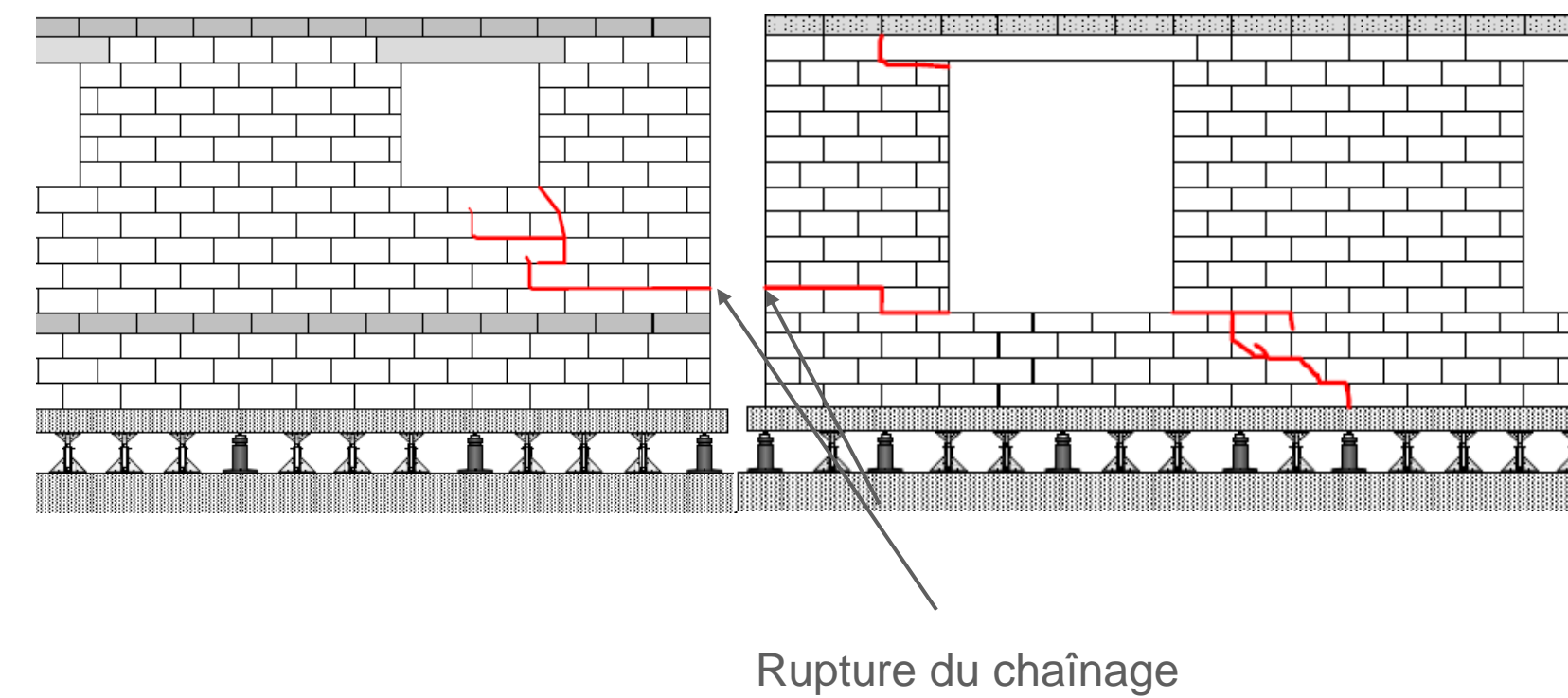
Productions d'ARGIC

Dans ARGIC, une maison a été construite sur vérins dans un hall, pour étudier sa résistance aux mouvements des fondations.

- Configuration générale : Maison individuelle en maçonnerie
 - 1 seul niveau
 - dimension en plan : 8 x 10 m
 - hauteur : $\cong 3 \text{ m} + 0,85 \text{ m}$ de fondation
 - avec plancher haut, sans charpente, ni couverture
 - surcharge reconstituée pour charpente et couverture



Pignon secteurs 1 & 4 Façade secteur 4



Conclusion : une maison bien construite résiste aux mouvements de ses fondations.

> Numéro spécial Revue Française de Géotechnique

- Journée technique CFMS-CFGI sur le thème sécheresse géotechnique (18 janvier 2007) à l'ENPC : 9 communications orales présentées par des partenaires d'ARGIC
- Rédaction d'un numéro spécial de la RFG (n° 120-121, 4ème trim. 2007), avec 14 contributions (sur 22) issues d'ARGIC

> Symposium international SEC'08

- Symposium international du 1^{er} au 3 septembre 2008, organisé à l'ENPC (Marne-la-Vallée) : 25 communications orales (sur 43) présentées par des partenaires d'ARGIC
- Edition des actes du colloque par le LCPC (vol. 1, 443 p. avec CD Rom : 31 contributions (sur 54) issues d'ARGIC

> Nombreuses autres communications

- Nombreuses publications scientifiques et communications issues d'ARGIC à différents colloques : JNGG 2006 et 2008, GEODIM'08, GFHN, 4th Intern. Conf. on Unsaturated Soils (Arizona), 14th Europ. Conf. on Soil Mechanics & Geotechnical Eng. (Madrid), etc.
 - Plusieurs thèses dans le cadre du projet ARGIC

Productions d'ARGIC 2

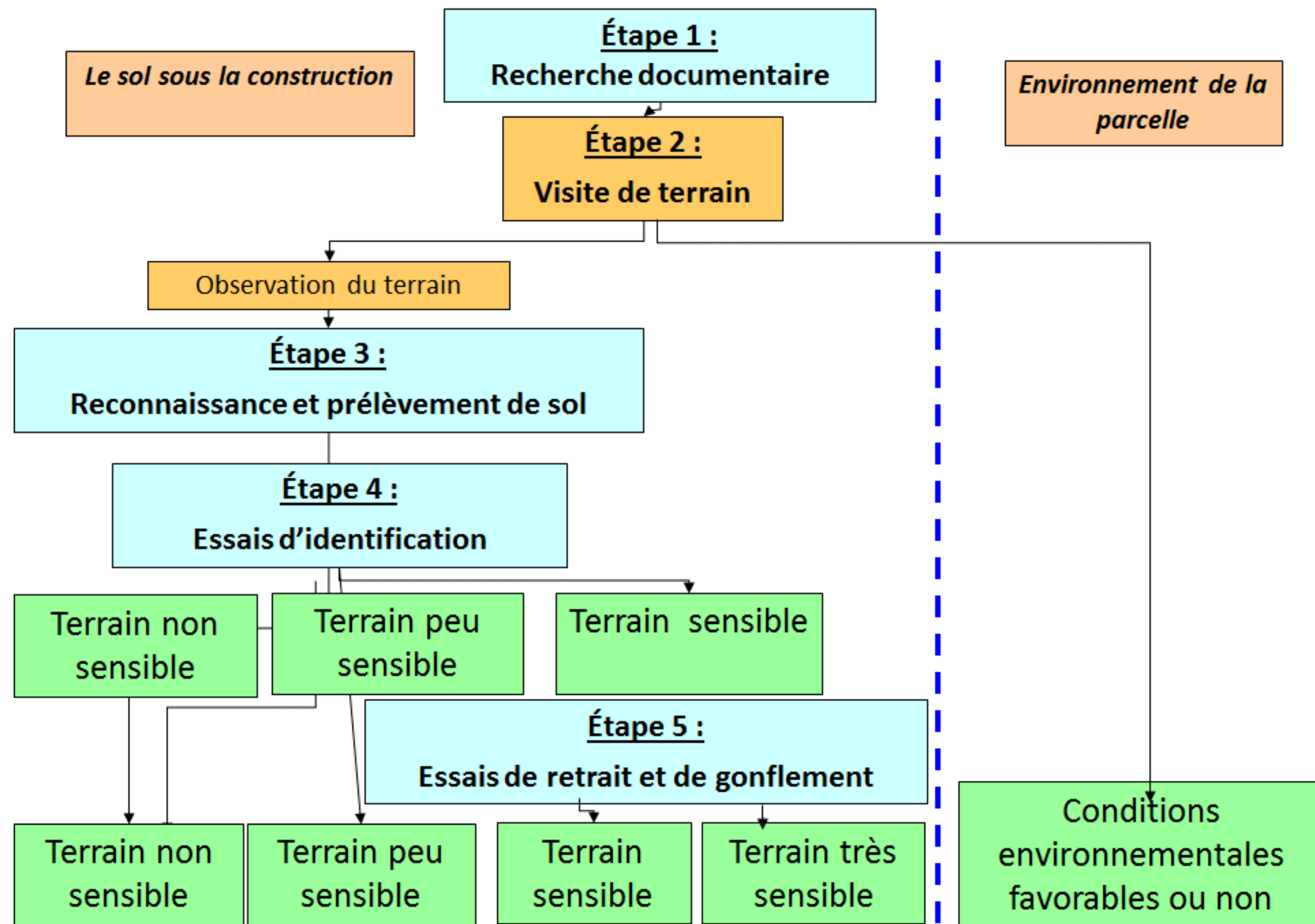
Trois guides destinés aux praticiens et au grand public ont été produits sous le titre général « Retrait et gonflement des argiles » :

Guide 1 : Caractériser un site pour la construction

Guide 2 : Protéger sa maison de la sécheresse – Conseils aux constructeurs de maisons neuves

Guide 3 : Réparer sa maison

Guide 1



Guide 2

Le guide 2 est structuré à partir des conclusions du guide 1 : l'influence du sol est appréciée selon 4 niveaux et celle de l'environnement selon 2 niveaux.

Différentes dispositions sont mis en œuvre :

- E0 : gestion des écoulements, éloignement des arbres (mesures communes à toutes les constructions)
- E1 : écrans anti-racines, terrasses périphériques, tranchées drainants (à choisir en fonction des éléments défavorables liés à l'environnement)

- S0 : DTU
- S1 : DTU + 0,8 m
- S2 : DTU + 1,2 m
- S3 : DTU + 1,2 m + renforcement des semelles ou des murs

		Environnement		
		Favorable	Défavorable	
Sol	Terrain non sensible	1	E0 + S0	E0 + S0
	Terrain peu sensible	2	E0 + S1	E0 + S1 + E1
	Terrain sensible	3	E0 + S2	E0 + S2 + E1
	Terrain très sensible	4	E0 + S3	E0 + S3 + E1

Guide 3

Le guide comprend six chapitres, structurés comme suit :

- 1 Quels désordres peut-on observer sur une maison ?
- 2 Comportement structurel d'une maison
- 3 Origine des désordres
- 4 Analyse des désordres
- 5 Traitement et réparation des désordres
- 6 Assurances : Coûts et démarches

Thèmes de recherche du programme ARGIC2

Quatre thèmes, choisis sur la base des conclusions du programme ARGIC :

a) diminution de la vulnérabilité du bâti

Pour mieux comprendre les mécanismes sources de désordres : expérimentations en vraie grandeur, base de données de sinistres et de leurs causes,; calculs ;

b) instrumentation et suivi de sites expérimentaux, en vue de préciser la profondeur des fronts de sécheresse

Sites instrumentés : Pessac (Gironde, 33), Roaillan (Gironde, 33), Trappes (Yvelines, 78), Le Deffend (Vienne, 86), Merville (Nord, 59), Le Fauga (Haute-Garonne, 31), Carmaux (Tarn, 81), Mormoiron (Vaucluse, 84), Saint-Saturnin-les-Apt (Vaucluse, 84), Routes du Loir-et-Cher (41) et de l'Indre (36).

c) compréhension des mécanismes de retrait-gonflement des sols à partir d'essais en laboratoire

Nombreuses études sur la caractérisation des sols argileux en laboratoire. Sols remaniés, reconstitués, intacts, séchés à l'air libre, lyophilisés, ... Étude de l'effet des carbonates, de l'état initial...

d) cartographie du retrait-gonflement

Problème complexe à enjeu. La descente des cartes à 1/50000 ou 1/10000 à l'échelle des parcelles n'est pas résolu.

Conclusions du programme ARGIC2

- a) Diminution de la vulnérabilité du bâti : les expérimentations montrent que le retrait-gonflement est un risque maîtrisable, en suivant des principes simples. Améliorer les bases de données.
- b) Sites expérimentaux et profondeur des fronts de sécheresse : continuer de rassembler des données
- c) Mécanismes de retrait-gonflement des sols en laboratoire : mécanismes compris, mais il faut structurer les connaissances et les développer.
- d) Cartographie du retrait-gonflement : problème complexe non résolu

Perspectives

Travailler sur les sols naturels intacts (donc les prélever intacts)

Approfondir la caractérisation de la pénétration de la sécheresse (en liaison avec les critères de sélection des sécheresses exceptionnelles)

Essayer d'aller plus loin dans le sens de la norme australienne

Vérifier en le mesurant l'effet réel des méthodes de renforcement et leur calcul

Progresser dans le calcul (calcul des amplitudes et vitesses de déformation des sols, calcul des constructions)

Progresser dans la prise en compte raisonnée du gonflement et du retrait dans les calculs de structures

Étudier et analyser l'expérience étrangère

Productions d'ARGIC et ARGIC2

Rapports et publications

ARGIC : Site du BRGM

ARGIC2 : IFSTTAR

Guides

Guide MEDDAT 2007

3 guides MEDDE 2015

2 symposiums internationaux SEC2008 et SEC2015

1 journée AQC 2015

TECHNIQUES ET MÉTHODES

Retrait et gonflement des argiles

Caractériser un site
pour la construction

Guide 1



TECHNIQUES ET MÉTHODES

Retrait et gonflement des argiles

Protéger sa maison de la sécheresse

Conseils aux constructeurs de maisons neuves

Guide 2

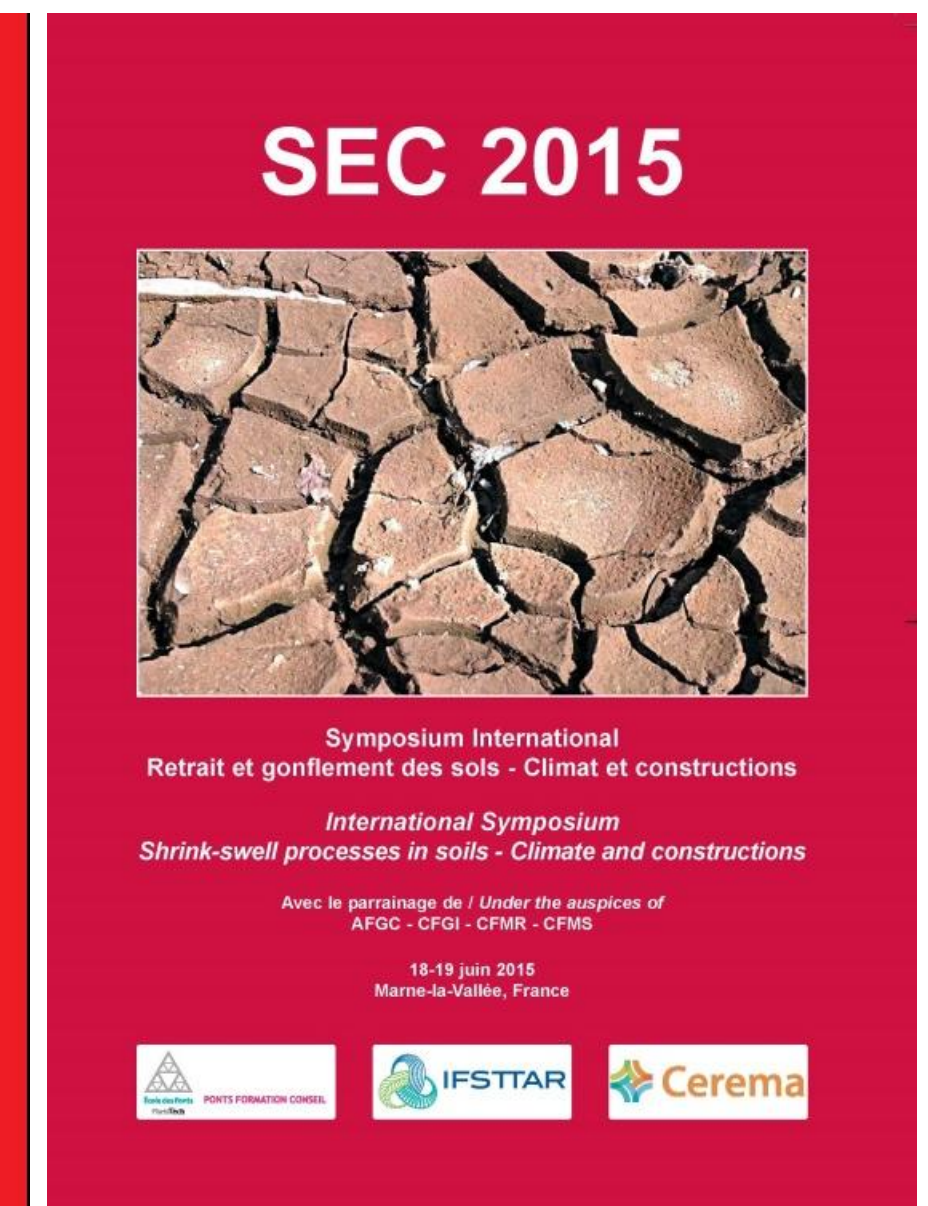
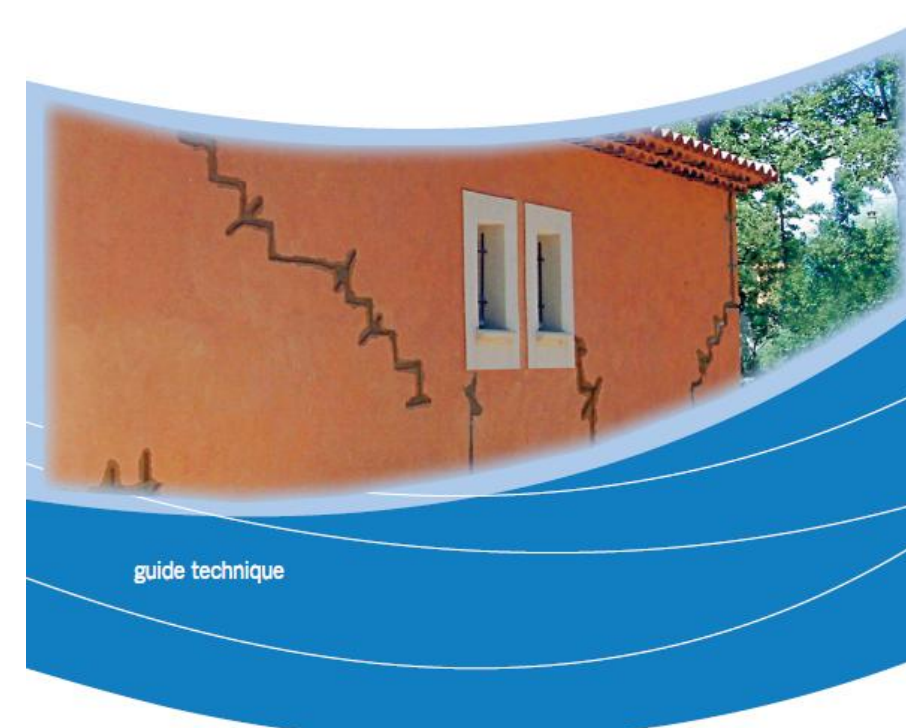


TECHNIQUES ET MÉTHODES

Retrait et gonflement des argiles

Analyse et traitement des désordres
créés par la sécheresse

Guide 3



Merci de votre attention