



**cfms**

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE  
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

# **Restitution de la recommandation sur la prise en compte du gonflement des terrains argileux pour la conception des infrastructures profondes**

JOURNÉE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU 25 AVRIL 2024

# Journée Scientifique et Technique du CFMS du 25 avril 2024

## ► Présentation des Recommandations sur la prise en compte du gonflement des terrains argileux pour la conception des infrastructures profondes

Hervé LE BISSONNAIS



# Restitution du GT gonflement des terrains argileux

## Programme de la journée

HORAIRE	DUREE	TITRE	INTERVENANT(S)
14h00 – 14h20		Accueil des participants, café d'accueil	
14h20 – 14h40	20'	Introduction de la demi-journée	Hervé LE BISSONNAIS (Setec Terrasol)
14h40 – 15h15	35'	Caractérisation et essais	Jean Pierre MAGNAN (Université Gustave Eiffel)
15h15 – 15h40	25'	Ecrans de soutènement	Paul VIDIL (Soletanche Bachy)
15h40 – 16h00	20'	Pause	
16h00 – 16h35	35'	Radiers et tunnels	Grégory MEYER (EGIS Géotechnique)
16h35 – 17h00	25'	Fondations profondes	A. BEAUSSIER (Setec Terrasol)
17h00 – 17h35	35'	Le cas de la gare de CMF - Ligne 16 du GPE	Dino MAHMUTOVIC (EGIS Géotechnique) Martin CAHN (Setec Terrasol)
17h35 – 18h00	25'	Echanges sur le contenu de la recommandation	

# Restitution du GT gonflement des terrains argileux

## Introduction de la demi-journée

### GRUPE DE TRAVAIL

#### Les participants

Animateurs		
LE BISSONNAIS	Hervé	Terrasol
SERRATRICE	Jean-François	Cerema
Membres du groupe de travail		
BEAUSSIER	Alexandre	Terrasol
BERNARDET	Alain	Arcadis
CAHN	Martin	Geos puis Terrasol
CARPINTEIRO	Luis	Ginger CEBTP
CUISINIER	Olivier	ENSG, Université de Lorraine
DELAGE	Pierre	ENPC Navier/Cermes
DRONIUC	Niculai	Fugro puis Socotec puis Colas
GERARDIN	Cécile	RATP
GOURIN	Gaël	Socotec
HALFON	Isabelle	Systra puis BRGM
LE BISSONNAIS	Hervé	Terrasol
MAGNAN	Jean-Pierre	Université Gustave Eiffel
MAHMUTOVIC	Dino	Egis Géotechnique
MAZARE	Bruno	Egis Géotechnique
MEYER	Grégory	Systra puis Egis Géotechnique
SERRATRICE	Jean-François	Cerema
TANG	Anh-Minh	ENPC
VIDIL	Paul	Soletanche Bachy
Relecteurs externes		
BOUTONNIER	Luc	Egis Géotechnique
BURLON	Sébastien	Terrasol
PERSET	Vincent	Ginger CEBTP
Relecteurs Commission Scientifique et Technique du CFMS		
AGUADO	Pascal	Geotec
BRETELLE	Sylvie	Antea
PAVEL	Laetitia	Arcadis

18 membres : 2 représentants de BE entreprise, 7 maitres d'œuvre, 1 maitre d'ouvrage, 1 BE sols, 1 bureau de contrôle, 6 universitaires / organisme public : relativement bonne représentativité de la profession

3 relecteurs externes

3 relecteurs de la CST

# Restitution du GT gonflement des terrains argileux

## Introduction de la demi-journée

- A débuté en 2016 avec 45 réunions plénières organisées depuis (1 réunion tous les 2 mois environ depuis le 25/03/2016), une dizaine de participants par réunion.
- Depuis juin 2018 : réunions « plénières » regroupant les deux sous-groupes initiaux :
  - groupe travaillant sur les aspects « définition du mécanisme et essais »,
  - groupe travaillant sur les aspects « dimensionnement des ouvrages »
- + quelques réunions intermédiaires en « petits comité » sur des sujets spécifiques (essentiellement sur les méthodes de calcul des radiers)

# Restitution du GT gonflement des terrains argileux

## Introduction de la demi-journée

### ➤ Sommaire de la recommandation :

- Définition du problème, terrains concernés (qu'est-ce qu'un terrain gonflant ?)
- Caractérisation des propriétés mécaniques des terrains gonflants
- Cas des soutènements verticaux
- Cas des radiers sur argiles gonflantes
- Cas des tunnels
- Cas des fondations profondes

# Restitution du GT gonflement des terrains argileux

## Introduction de la demi-journée

### ➤ Sommaire

#### SOMMAIRE

5	■	NOTATIONS
7	■	GROUPE DE TRAVAIL
8	■	AVANT PROPOS
9	■	1. DOMAINE ET LIMITES D'APPLICATION
11	■	2. GÉNÉRALITÉS
		2.1. TERRAINS CONCERNES
		2.2. ORIGINE DU GONFLEMENT DES ARGILES
		2.3. IDENTIFICATION DES SOLS GONFLANTS
		2.4. CONTEXTE NORMATIF
19	■	3. CARACTÉRISATION DES PROPRIÉTÉS MECANIQUES DES TERRAINS GONFLANTS
		3.1. INTRODUCTION
		3.2. PRELEVEMENTS ET FOURNITURE DES ÉCHANTILLONS AU LABORATOIRE
		3.3. CARACTÉRISATION DU GONFLEMENT À L'ŒDOMÈTRE ET DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES DE GONFLEMENT
		3.3.1. Généralités
		3.3.2. Essai de gonflement par paliers successifs
		3.3.3. Essais de gonflement en parallèle
		3.3.4. Qualification du remaniement
		3.4. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS
		3.5. RÉSUMÉ DE L'EXPLOITATION DES DIFFÉRENTES PROCÉDURES D'ESSAIS
		3.6. ORDRES DE GRANDEURS DES CARACTÉRISTIQUES DE GONFLEMENT DE DIVERS SOLS GONFLANTS
		3.7. NOMBRE D'ESSAIS À RÉALISER

# Restitution du GT gonflement des terrains argileux

## Introduction de la demi-journée

### ➤ Sommaire

35

#### 4. ECRANS DE SOUTÈNEMENTS

4.1. RETOUR D'EXPERIENCE

4.2. SPECIFICITES DES SOUTÈNEMENTS

4.2.1. Généralités

4.2.2. Cas particuliers des parois moulées

4.3. DIMENSIONNEMENTS DES SOUTÈNEMENTS

# Restitution du GT gonflement des terrains argileux

## Introduction de la demi-journée

39

### 5. RADIERS

- 5.1. INTRODUCTION
- 5.2. RETOURS D'EXPERIENCES ET PRINCIPES ASSOCIES
  - 5.2.1. Déformations instantanées
  - 5.2.2. Déformations différées
  - 5.2.3. Pathologies observées
- 5.3. PRINCIPES DU CALCUL DE LA DECOMPRESSION DES SOLS ARGILEUX
- 5.4. ESSAIS EN LABORATOIRE VISANT A CARACTERISER MECANIQUEMENT LE GONFLEMENT
- 5.5. CINETIQUE DES DEFORMATIONS EN FOND DE FOUILLE
- 5.6. DEFINITION DE LA GEOMETRIE DE LA ZONE GONFLANTE
- 5.7. CHOIX DE CONCEPTION
  - 5.7.1. Dimensionnement d'un radier sur sol
  - 5.7.2. Radier « flottant » ou clavage tardif
  - 5.7.3. Ancrage du radier
  - 5.7.4. Mise en place d'un vide sanitaire
  - 5.7.5. Mise en place d'un matériau compressible
  - 5.7.6. Radier drainant
- 5.8. TABLEAU RECAPITULATIF
- 5.9. METHODE DE CALCULS
  - 5.9.1. Formulation de base : modélisation du comportement des sols gonflants
  - 5.9.2. Méthode n°1A – Détermination du soulèvement libre – méthode analytique
  - 5.9.3. Méthode n°1B – Détermination du soulèvement libre – méthode numérique
  - 5.9.4. Méthode n°2 – Présence d'un matériau fusible méthode analytique
  - 5.9.5. Méthode n°3 et 4 – Interaction sol-structure – radier en appui sur le sol
  - 5.9.6. Avantages et inconvénients de chaque méthode
- 5.10. RECOMMANDATIONS LORS DES TRAVAUX DE TERRASSEMENTS ET DE GENIE CIVIL

 **Sommaire**

# Restitution du GT gonflement des terrains argileux

## Introduction de la demi-journée

### ➤ Sommaire

77

#### 6. TUNNELS

6.1. REX PATHOLOGIES OBSERVEES

6.2. METHODES DE CALCUL

6.2.1. Méthode basée sur la méthode convergence-confinement

6.2.2. Calculs aux éléments finis

6.3. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

6.3.1. Système compressible modulaire

# Restitution du GT gonflement des terrains argileux

## Introduction de la demi-journée

### ➤ Sommaire

85

#### 7. FONDATIONS PROFONDES

7.1. COMPORTEMENT DES FONDATIONS PROFONDES SOUS LE FOND DE FOUILLE D'UN OUVRAGE ENTERRE

7.2. RECOMMANDATIONS POUR LA CONCEPTION

7.3. DETERMINATION DES SOLLICITATIONS DANS LES FONDATIONS PROFONDES

7.3.1. Influence de la conception du niveau inférieur de l'infrastructure

7.3.2. Méthodes basées sur le gonflement des sols « en champ libre »

7.3.3. Méthode d'interaction sol/structure (ISS) par un calcul axisymétrique de maille élémentaire

7.3.4. Mise en œuvre d'une ISS par un modèle numérique complet

7.4. JUSTIFICATIONS STRUCTURELLES ET GEOTECHNIQUES DU PIEU

7.4.1. Prise en compte des incertitudes sur la cinétique

7.4.2. Etats limites à justifier avant développement du gonflement

7.4.3. Etats limites à justifier après développement total du gonflement

# Restitution du GT gonflement des terrains argileux

## Introduction de la demi-journée

### ➤ Sommaire

99	■	<b>ANNEXE 1. CLASSEMENT RELATIF DES FORMATIONS ARGILEUSES VIS-À-VIS DE L'ALÉA RETRAIT-GONFLEMENT POUR L'ILE DE FRANCE, LE NORD ET LES BOUCHES-DU-RHONE</b>
108	■	<b>ANNEXE 2. ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE CONCERNANT LES RADIERS</b>
117	■	<b>ANNEXE 3. PRÉCISIONS SUR LE PRÉLÈVEMENT ET LE CONDITIONNEMENT DES ÉCHANTILLONS</b>
131	■	<b>ANNEXE 4. PRÉCISIONS SUR LES MÉTHODES DE CALCULS DES RADIERS</b>
142	■	<b>RÉFÉRENCES</b>

# Restitution du GT gonflement des terrains argileux

## Introduction de la demi-journée

### 1. DOMAINE ET LIMITES D'APPLICATION

- La recommandation concerne la conception et la réalisation des ouvrages en **interaction avec des terrains potentiellement gonflants**.
- ouvrages enterrés **de taille significative**.
- Il exclut la problématique de retrait/gonflement de surface sous les constructions superficielles.
- Etudes des fondations profondes, des écrans de soutènements, des tunnels et des radiers d'ouvrages enterrés à une profondeur suffisante pour que les terrains soient saturés et échappent aux phénomènes d'assèchement et de réhumidification liés aux variations climatiques.
- Le domaine de validité de ces recommandations ne concerne donc que les terrains **totallement saturés**

# Restitution du GT gonflement des terrains argileux

## Introduction de la demi-journée

### 1. DOMAINE ET LIMITES D'APPLICATION

➤ Sont également écartés des présentes recommandations :

- les ouvrages construits à très grande profondeur (CIGEO...) : on se limite aux projets d'infrastructures jusqu'à une centaine de mètres de profondeur.
- les terrains de type gypses, anhydrites, schistes cartons, ou encore les remblais et scories contenant de la chaux, (spécificités minéralogiques et donc comportementales variées nécessitant d'être traitées au cas par cas

➤ Recommandations été établies principalement sur la base de l'expérience acquise en France. Leur utilisation dans d'autres pays est possible sous réserve de s'assurer de leur compatibilité avec les contextes géotechniques et normatifs locaux.

# Restitution du GT gonflement des terrains argileux

## Introduction de la demi-journée

- **La rédaction de la recommandation est achevée !**
- **Mise en forme en phase finale (relecture de forme)**
- **Mise en ligne mi 2024**
- **Merci à toute les membres du groupe de travail et relecteurs**