



COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

Connaissances actuelles sur l'impact du phénomène de retrait-gonflement et de fissuration des sols argileux

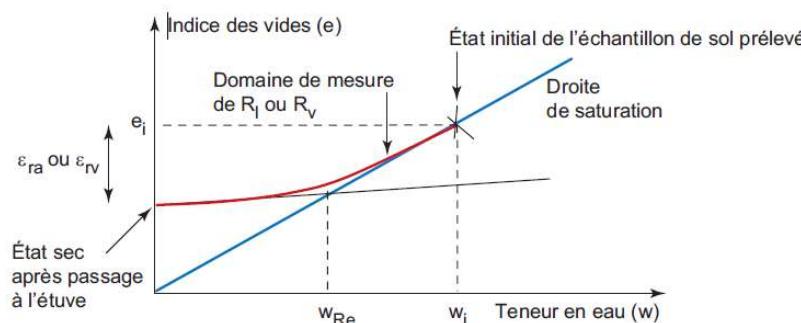
Xavier Charrier, Lucile Saussaye, Sébastien Burlon, Lamine Ighil Ameur

Webinar RGA du 04/11/2025



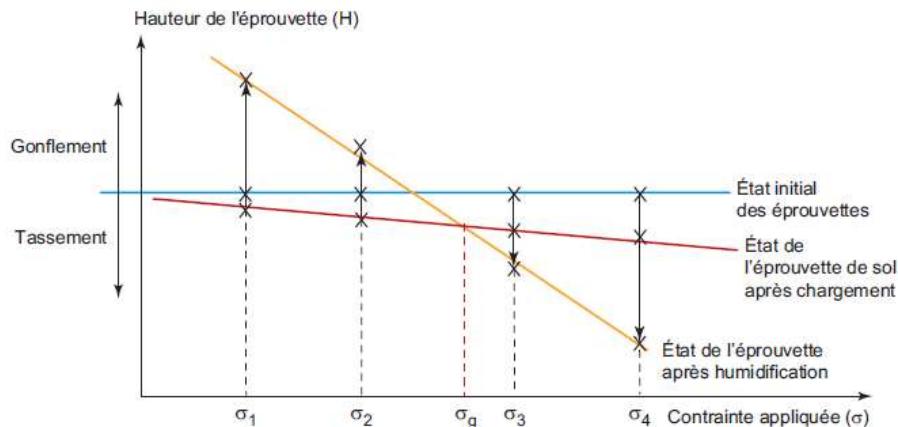
Introduction : quelques rappels

Le retrait-gonflement ou plus largement l'étude du comportement des terrains soumis à des variations de teneur en eau est un problème appréhendé de longue date en mécanique des sols. Les limites d'Atterberg, définies dès 1912, traduisent bien cette préoccupation. Trois idées sont à retenir :



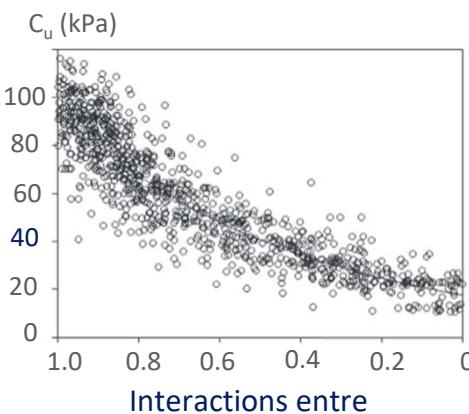
Influence de la teneur en eau

IFSTTAR, Guide #1



Influence de la charge

IFSTTAR, Guide #1



(l'indice de consistance
 $I_c = (w_L - w_n)/I_p$ « traduit » cette interaction)

Introduction : liste de quelques 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 », 6e Conférence internationale sur les sols gonflants, New Delhi, 1987
- ▶ « Retrait gonflement des argiles - Proposition de méthodologie », G. Philipponnat, Revue Française de Géotechnique, 57, 5-22, 1991
- ▶ 4 articles publiés en 1992 dans le n° 58 de la Revue Française de Géotechnique :
 - ▶ « 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
 - ▶ « 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. Toulemon
- ▶ « La pathologie des fondations superficielles : diagnostic, réparations et prévention », F. Béchade, 2014

D'après la conférence CFMS du 4 mars 2025, J.-P. Magnan

Introduction : liste de quelques projets

- travaux de cartographie du BRGM, initiés en 1998
- projet RGCU « RGA retrait et gonflement des argiles », coordonné par le BRGM, 2004-2006
- projet de la Fondation MAIF « Aléa et risque sécheresse », coordonné par Armines, 2006-2008
- projet R2DS Île-de-France « Sécheresse géotechnique et bâti », 2006-2009
- projet ANR RGCU « Argic Analyse du retrait gonflement et de ses incidences sur les constructions », coordonné par le BRGM, 2006-2009
- 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
- actions de recherche du LCPC/Ifsttar et du Cerema « Comportement des sols gonflants et dimensionnement des ouvrages géotechniques », 1998-2002, puis « Évaluation des risques liés à la sécheresse », 2006-2010, et « Effet de la sécheresse sur les bâtiments et les infrastructures », 2011-2014
- actions de recherche de l'INRA « Sécheresse et forêt » en particulier pour le GIP Ecofor, 2003-2005, et Argic
- projet de recherche Argic 2, 2011-2014, coordonné par l'Ifsttar (J.-P. Magnan et S. Burlon)

D'après la conférence CFMS du 4 mars 2025, J.-P. Magnan

Les enjeux du bâtiment : quelle est la situation ?

Sur chacune de ces deux photographies, une maison est concernée en 2024-2025 par le RGA.

Pourquoi seulement une ou peut-être quelques-unes et pas toutes ?

La pluviométrie est la même, le terrain à peu près le même, les maisons ont à peu près le même âge et obéissent à des normes de construction analogues et pourtant les désordres n'apparaissent pas au même moment et parfois n'apparaissent pas.

Comment expliquer un tel phénomène ? Est-ce le hasard ?

Ces maisons présentent-elles des différences ? Si oui, lesquelles ?



L'environnement de la construction : pentes, réseaux, végétation, etc.

Les enjeux du bâtiment : les projets en cours

De nombreux projets en cours :

- ▶ ISEC (comparaison sur 230 maisons de différentes techniques) (MRN & CCR)
- ▶ SAFE RGA (mesures horizontales du laboratoire à l'échelle 1) (Cerema)
- ▶ SESHAR (outil de veille et d'anticipation du niveau de sécheresse des sols argileux) (Cerema)
- ▶ REMED RGA (RGA à l'échelle d'une ville) (UGE)
- ▶ IRGAK (solution à base de potassium) (ESTP)
- ▶ Plan de prévention du Ministère, etc. (méthodes horizontales)

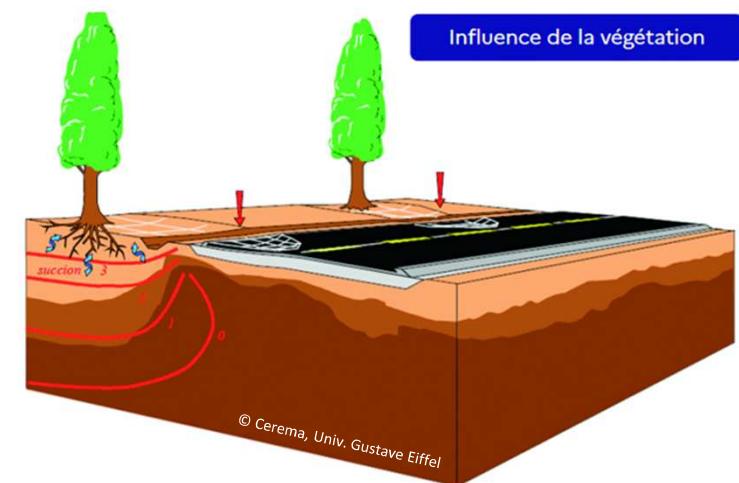
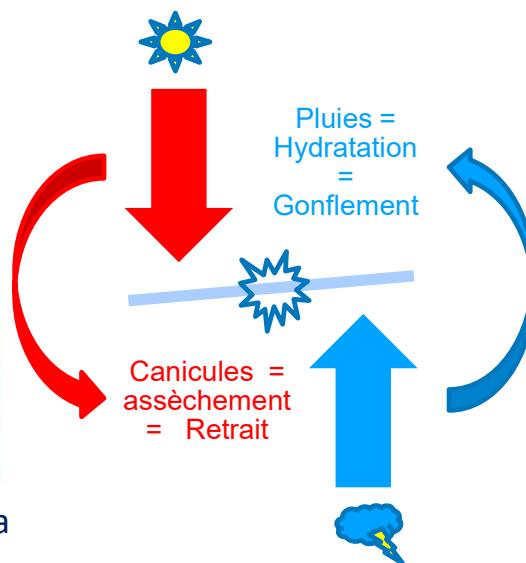
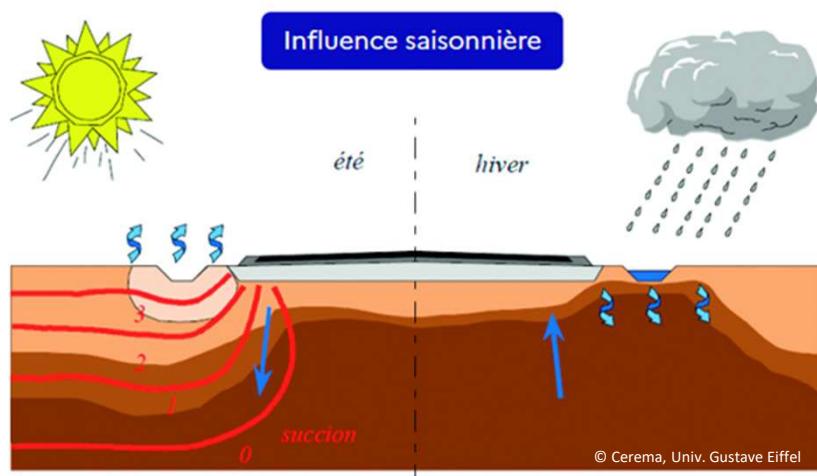
Les enjeux du bâtiment : les projets en cours

De nombreuses solutions à différentes stades de validation :

- ▶ MHCA (Méthode Horizontales de Confinement des Argiles) (solutions horizontales passives)
- ▶ MACH (MAison Confortée par Humidification) (solution horizontale active)
- ▶ HYSAPE (solution horizontale passive d'humidification)
- ▶ MAGELLAN (injection silicate)
- ▶ SARGAR (injection saline)

Les infrastructures routières : accentuation du phénomène

Deux principaux facteurs d'accentuation du RGA :



Les sols argileux sont affectés par les variations de la teneur en eau au niveau des **couches supérieures** fortement exposées aux conditions climatiques et aux facteurs de l'environnement proche : « **zone active** » ou « **zone de fluctuations saisonnières** »

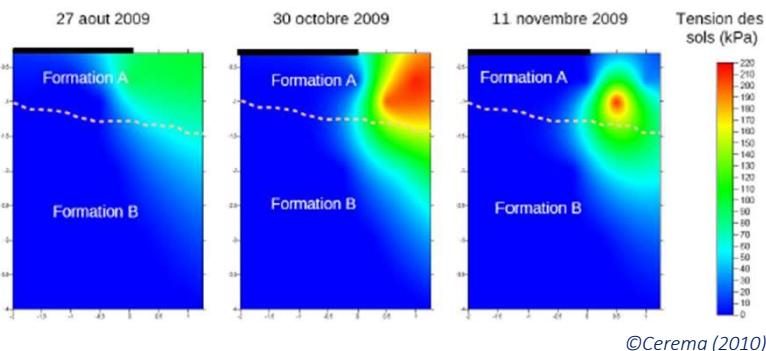
(Nelson et Miller, 1992)

Présence de végétation, système racinaire = $1,5 \times H$ de l'arbre
Phénomène de succion, déplacement et/ou augmentation du front de dessication des argiles

Les infrastructures routières : accentuation du phénomène

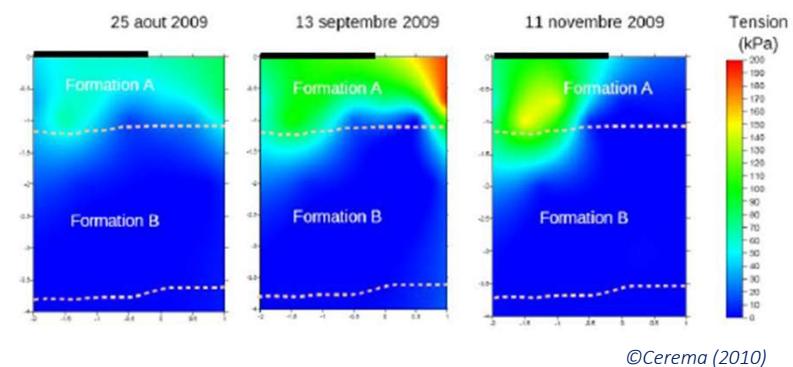
2009 : Étude du front de dessication, en « zone active », sur 3 sites test en Loir-et-Cher à l'aide de capteurs tensiométriques

Sol argileux plastique = **Dessication verticale**



Importance de
l'identification des sols

Sol argileux faible plasticité = **Dessication plus horizontale**



Troisième facteur d'accentuation :

- ▶ Dérèglement climatique = hausse des températures (ex. sécheresse 2022) et pluies plus intenses !
- ▶ Conséquences = **cycles assèchement-hydratation des sols argileux plus fréquents**, plus de sollicitation, récurrence des mouvements différentiels = augmentation des désordres ?



Solutions de remédiation (1/3)

► **Catégorie 1** : Solutions qui traitent les conséquences du RGA, solutions de renforcement mécanique de la chaussée (traitement structurel) :

- par géogrille, géotextile renforcé, géogrille cellulaire 3D, compostyrène
 - par les sables enrobés aux liants modifiés ou enrobés aux liants modifiés (parfois fibrés)
 - par grilles métalliques, par membranes bitumineuses gravillonnées, par géosynthétiques ou géocomposites, etc.

Exemple de chantiers tests (Vendée) :

2019 – RD59 (géogrilles acier et verre/remalaxage renforcé/reprofilage)

2020 – RD68 (géogrille cellulaire 3D)

(-1 complexe de 135 m + 1(x2) complexe de 100 m + 1 complexe de 115 m)



Reprise des fissures et tassements 3 mois après les travaux !

Surveillance sur 3 ans (relevé topo et visuel)
Apparition des désordres 1 an après les travaux (moins important que l'état initial)
Réduction moyenne de 40% à 45% des déformations en comparaison de la zone témoin



1

Solutions de remédiation (2/3)

► **Catégorie 2** : Solutions de traitement des phénomènes accentuant le RGA (réduction des effets aggravant par maîtrise des échanges d'eau avec le sol)

- déboisement
- écran anti-racines
- Étanchéification horizontale (*test Loir-et-Cher 2019*)
- encapsulage (*test Vendée 2021*)

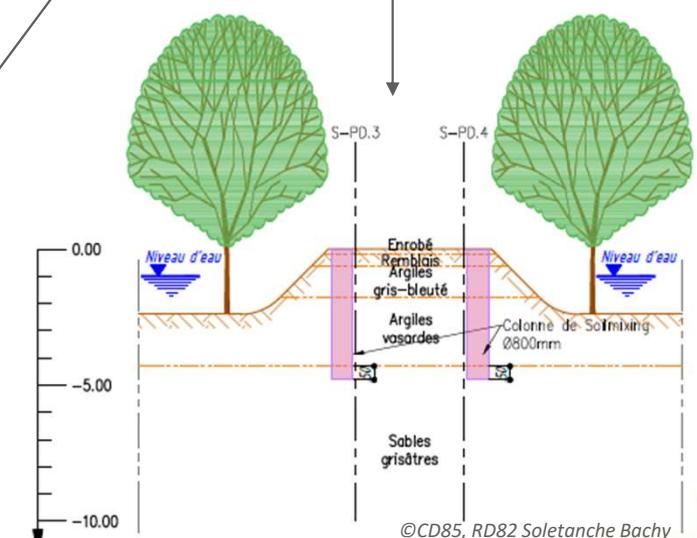
Exemple de chantiers test :



Après 6 ans = Pas de désordres observés
(+) facilité de mise en œuvre, coût modéré
(-) emprise disponible, servitude (gestion et entretien)



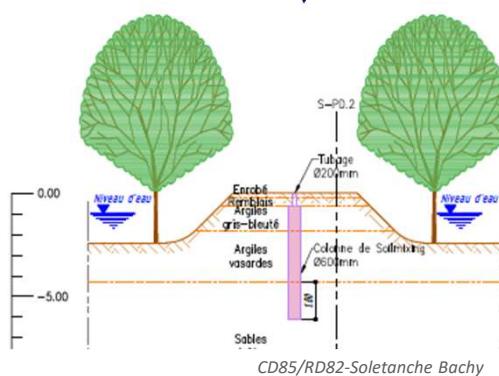
Coupe hydrique + écran anti-racine à 4,50 m/TA
Après 4 ans = pas de désordres observés
(+) faible variation de l'état hydrique et coupe racines
(-) difficulté de mise en œuvre, coût élevé



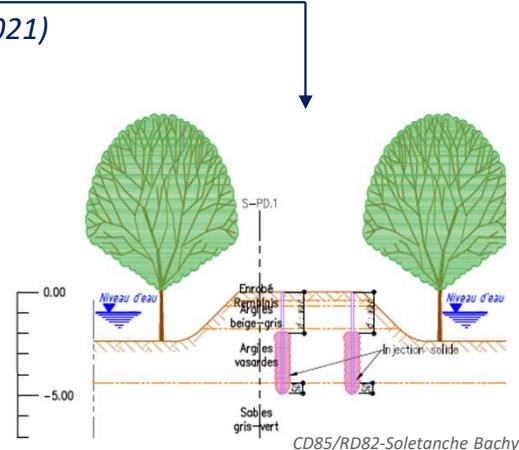
Solutions de remédiations (3/3)

➤ Catégorie 3 : Solutions de traitement des causes du RGA (action en profondeur sur le sol argileux lui-même)

- Injection solution cationique (test Loir-et-Cher et Vendée 2021)
- Injection de lait de chaux (test Vendée 2021)
- Injection de résine expansive
- Injectons solides CHS (test Vendée 2021)
- Inclusions rigides « Springsoil© » (test Vendée 2021)



Après 2 ans = points durs (têtes d'inclusions) + fissures
 (+) outils moins invasifs
 (-) difficultés de mise en œuvre, coût élevé



Après 4 ans = pas de désordres observés
 (+) compression latéral + reprise de charge
 (-) difficulté de mise en œuvre, coût élevé



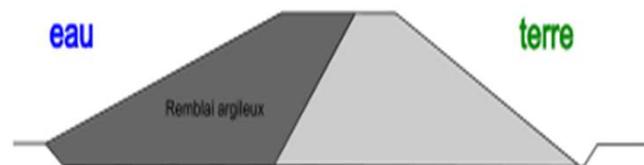
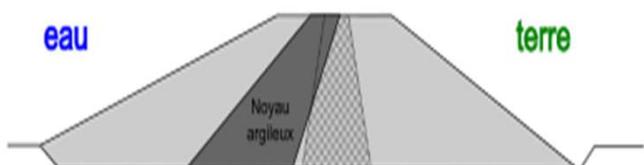
Après 4 ans = pas de désordres observés
 (+) méthode peu invasive (pas toujours)
 (-) innocuité solution ? Coût élevé

Conclusions

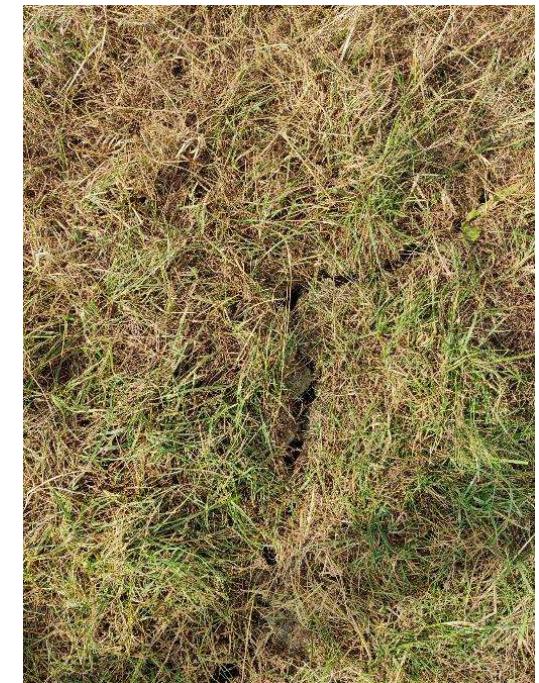
- ▶ Catégorie 1 (renforcement structurel) : facile à mettre en œuvre, coût modéré. Efficacité faible, à modérée pour la géogrille 3D
- ▶ Catégorie 2 (phénomène accentuant le RGA) : facile à mettre en œuvre, coût faible à modéré (sauf écran vertical), efficacité élevée. Problème d'emprise, impact écologique (déboisement)
- ▶ Catégorie 3 (traite les causes du RGA) : difficulté de mise en œuvre, coût élevé, efficacité moyenne à élevée. Entreprises spécialisées, impact environnemental (solution cationique, résine)?

Perspectives : chantier test en Loire-Atlantique. Écran antibruit avec problématique RGA et autres.

Les enjeux sur les digues



Estuaire du Lay



Baie de l'Aiguillon

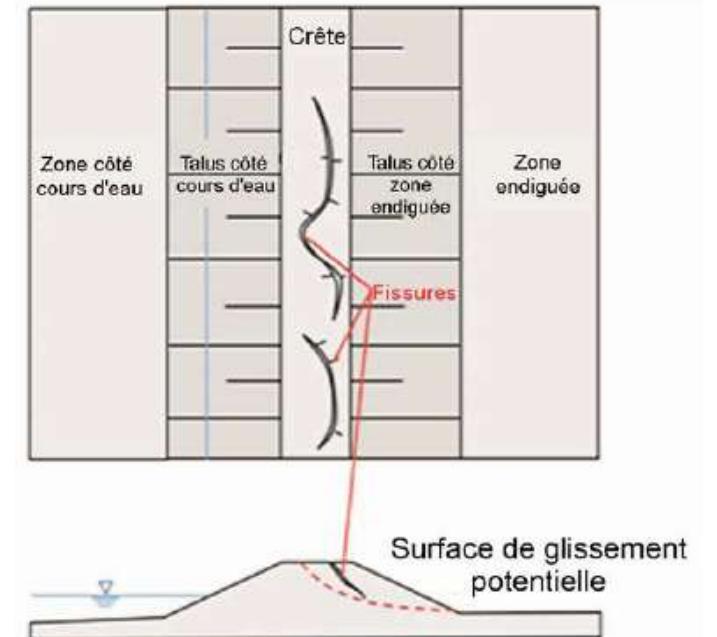
Les enjeux sur les digues



*Fissures apparues le long de la crête de digue
(Cerema, 2019)*



*Glissement translationnel des digues de Vilnius
(Stowa in Cerema, 2019)*

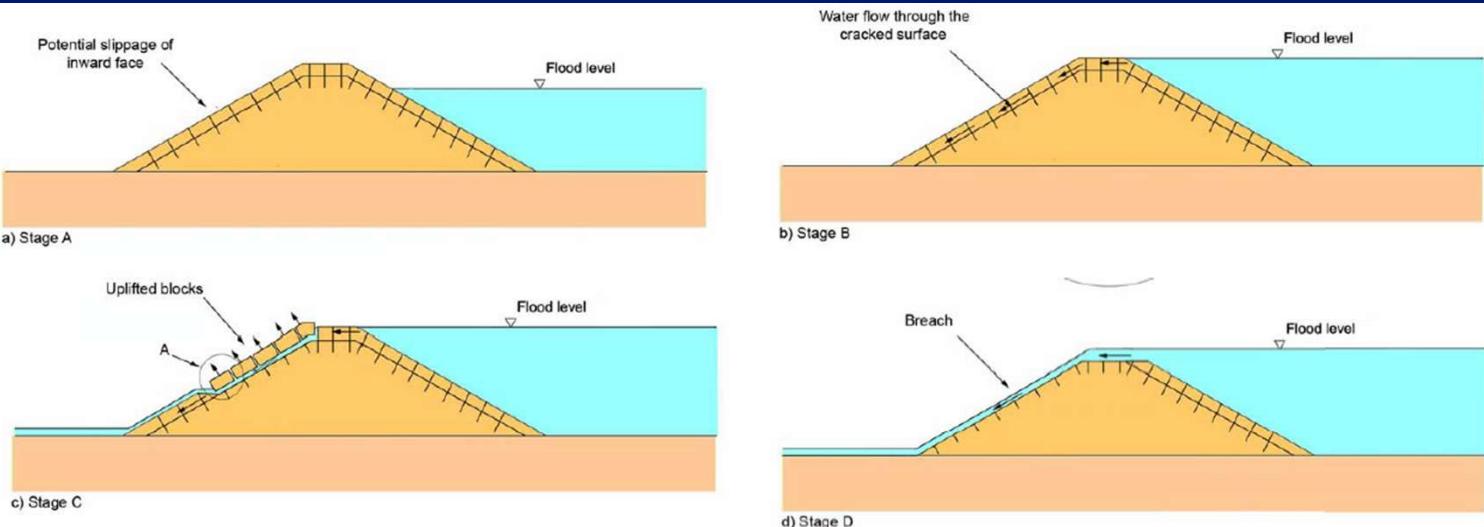


*Vue en plan et profil en travers de fissures
(Cerema, 2019)*

Les enjeux sur les digues



Fissure de dessiccation à Thorgumblad
(Dyer et al., 2009)



Mécanisme de rupture par soulèvement hydraulique de blocs fissurés par la sécheresse (Dyer et al., 2007)

- développement de la fissuration et individualisation de blocs de sols
- en période de crue, infiltration de l'eau via le réseau de fissures
- soulèvement des blocs de sols et circulation d'eau sur le talus côté zone protégée
- accentuation du phénomène et développement du mécanisme de défaillance par soulèvement hydraulique avec inondation

Mesures de gestion du patrimoine existant

- ▶ Connaissance du parc d'ouvrages
- ▶ Inspection visuelle :
 - ▶ Couvert herbacé insuffisant
 - ▶ Dépressions et ornières
 - ▶ Fissures qui continuent à s'ouvrir et à s'allonger
 - ▶ Fissures sur la berge adjacente à la digue
- ▶ Entretien :
 - ▶ Maintien d'un couvert végétal herbacé
 - ▶ Augmentation du niveau d'eau dans les fossés côté zone protégée
 - ▶ Aspersion d'eau sur la digue



Aspersion d'une digue (Comité de l'Eau de De Stischte Rijnlanden)

Conclusions générales

- ▶ Nécessité de diagnostic géotechnique :
- ▶ Caractérisation des sols. Attention ! Désordres multifactoriels : RGA + sols mous
- ▶ Environnement de la construction : pentes, réseaux, végétation, etc. :
 - ▶ Gestion des eaux (fossés, drains...)
 - ▶ Végétation
- ▶ PUIS choix de la méthode de remédiation
- ▶ Intervention en préventif (intégrer l'aléa RGA et le changement climatique au projet) plutôt qu'en curatif
- ▶ Intervention sur :
 - ▶ Structure
 - ▶ Environnement
 - ▶ Argile



COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

Merci de votre attention !

