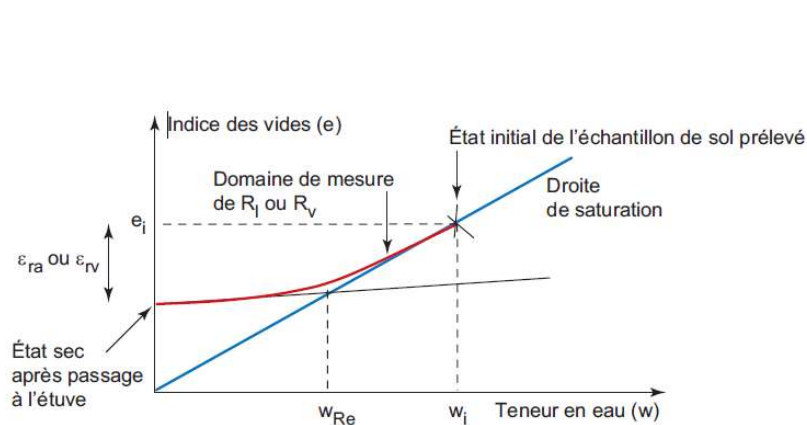


# Connaissances actuelles sur l'impact du phénomène de retrait-gonflement et de fissuration des sols argileux

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

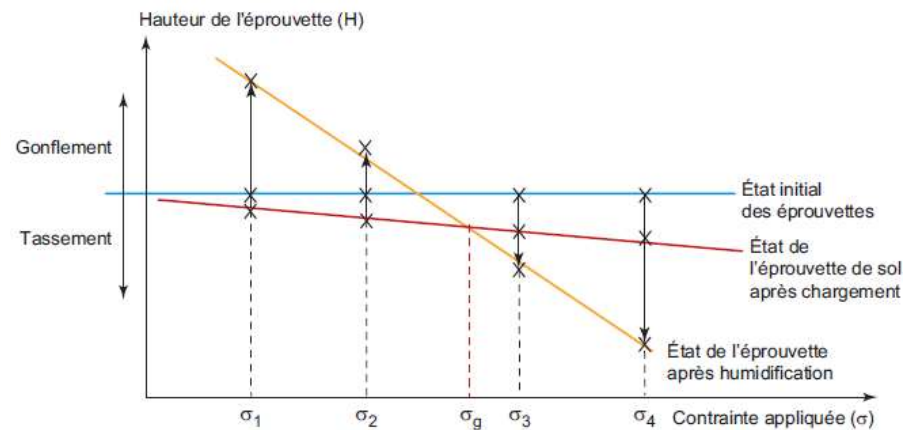
# Introduction : quelques rappels

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 :



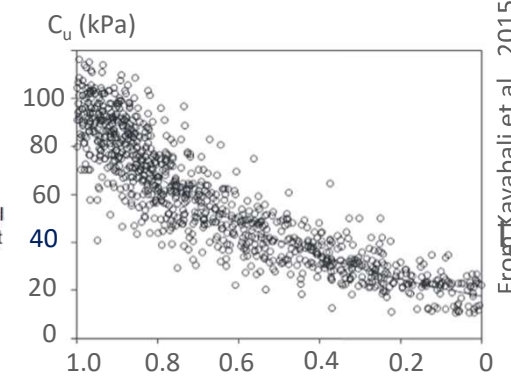
Influence de la teneur en eau

IFSTTAR, Guide #1



Influence de la charge

IFSTTAR, Guide #1



Interactions entre résistance/déformabilité et teneur en eau

(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. Toulemont
- « 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 RGPU « 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 RGPU « 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/lfsttar 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

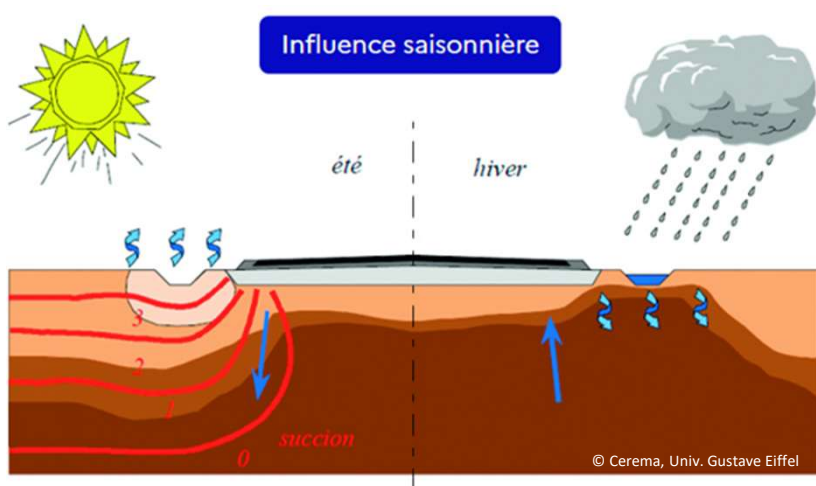
De nombreuses solutions à différentes stades de validation :

- MHCA (**M**éthode **H**orizontales de **C**onfinement des **A**rgiles) (solutions horizontales passives)
- MACH (**MA**ison **C**onfortée par **H**umidification) (solution horizontale active)
- HYSAPE (solution horizontale passive d'humidification)
- MAGELLAN (injection silicate)
- SARGAR (injection saline)

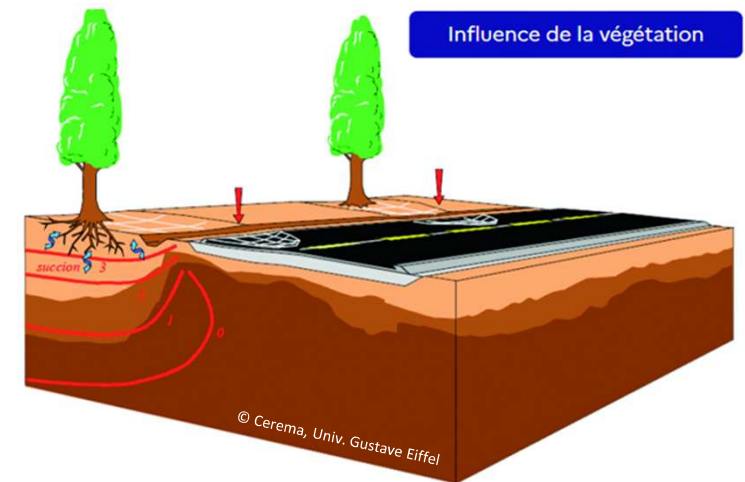
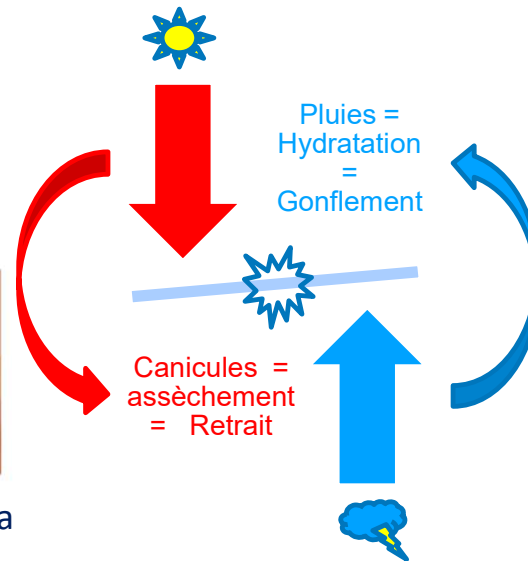


# Les infrastructures routières : accentuation du phénomène

## 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)



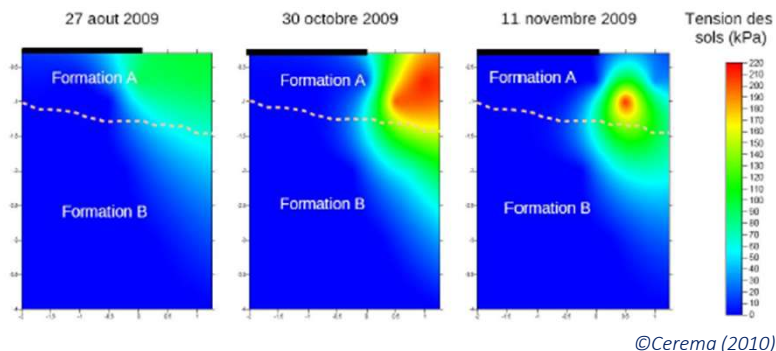
Présence de végétation, système racinaire =  $1,5 \times H$  de l'arbre  
Phénomène de suction, déplacement et/ou augmentation du front de dessiccation des argiles



# Les infrastructures routières : accentuation du phénomène

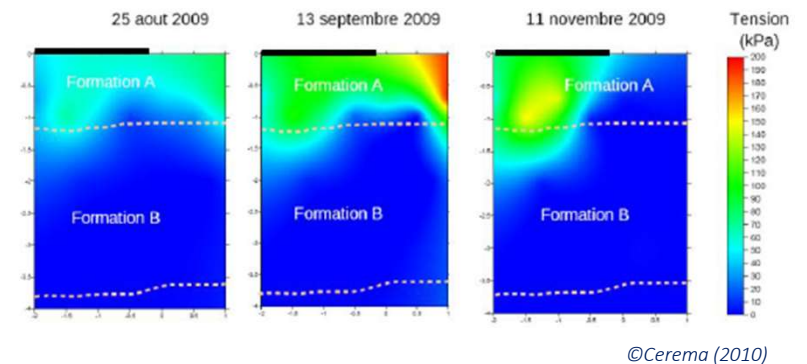
2009 : Étude du front de dessiccation, en « zone active », sur 3 sites test en Loir-et-Cher à l'aide de capteurs tensiométriques

Sol argileux **plastique** = Dessiccation verticale



Importance de  
l'identification des sols

Sol argileux **faible plasticité** = Dessiccation 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 structural) :

- par géogridde, géotextile renforcé, géogridde 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)



Reprise des fissures et tassements  
3 mois après les travaux !

Suivi 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

2020 – RD68 (géogridde cellulaire 3D)

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



## 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*)

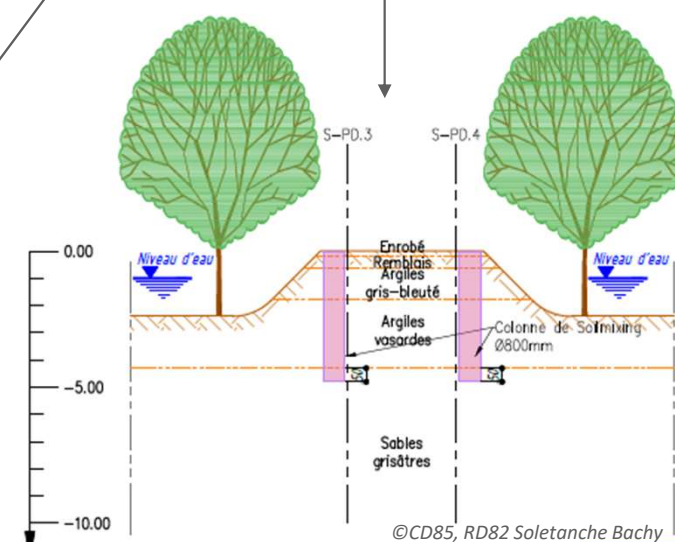
Exemple de chantiers test :



**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

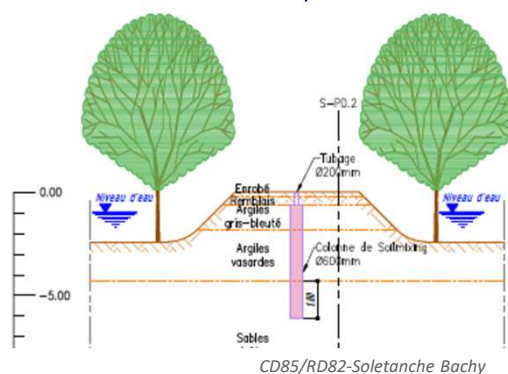




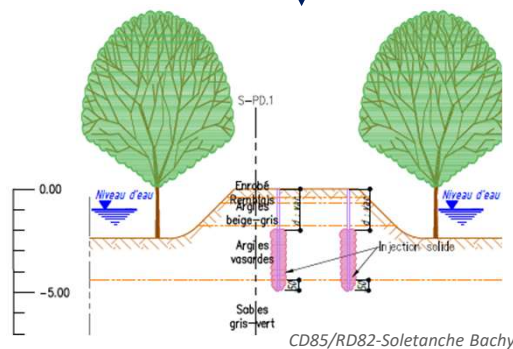
# Solutions de remédiation (3/3)

## ➤ **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
- Injections solides CHS (test Vendée 2021)
- Inclusions rigides « Springsoil® » (test Vendée 2021)



Après 2 ans = points durs (têtes d'inclusions) + fissures  
 (+) outils moins invasif  
 (-) 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



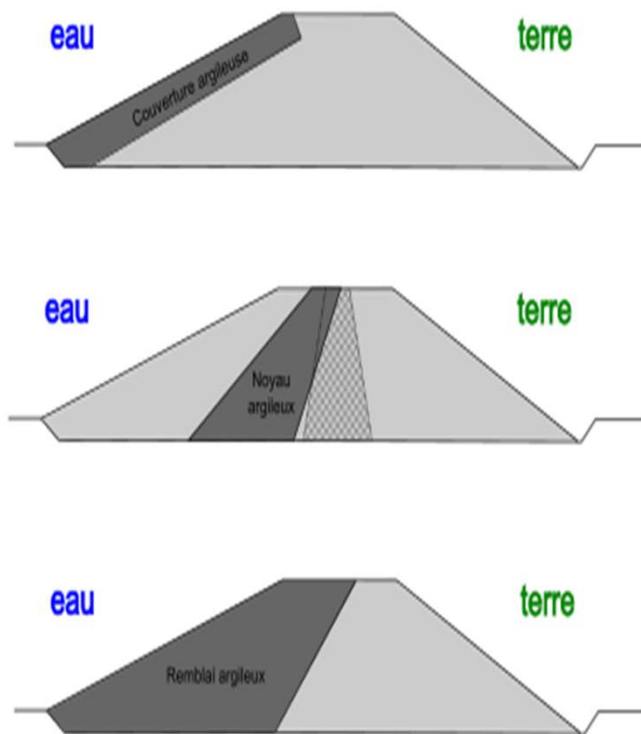
Après 4 ans = pas de désordres observés  
 (+) méthode peu invasive (pas toujours)  
 (-) innocuité solution ? Coût élevé

# Conclusions

- Catégorie 1 (renforcement structurel) : facile à mettre en œuvre, coût modéré. Efficacité faible, à modérée pour la géogrid 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*



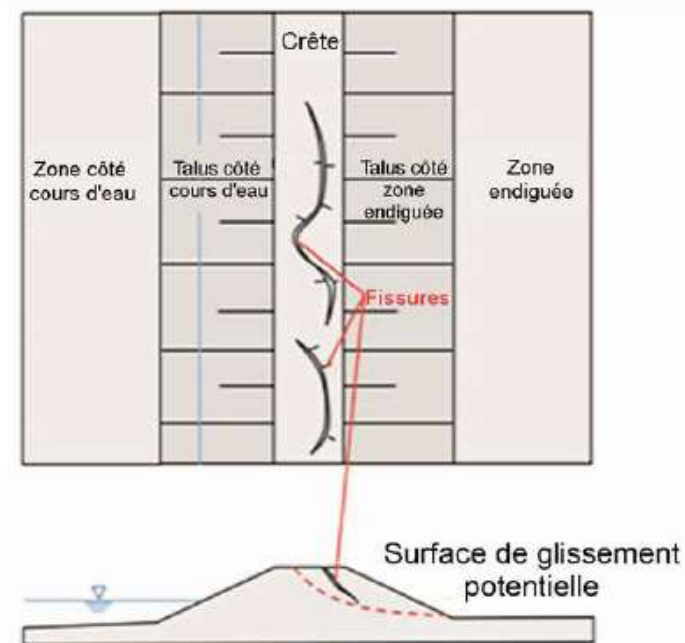
# Les enjeux sur les digues



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



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



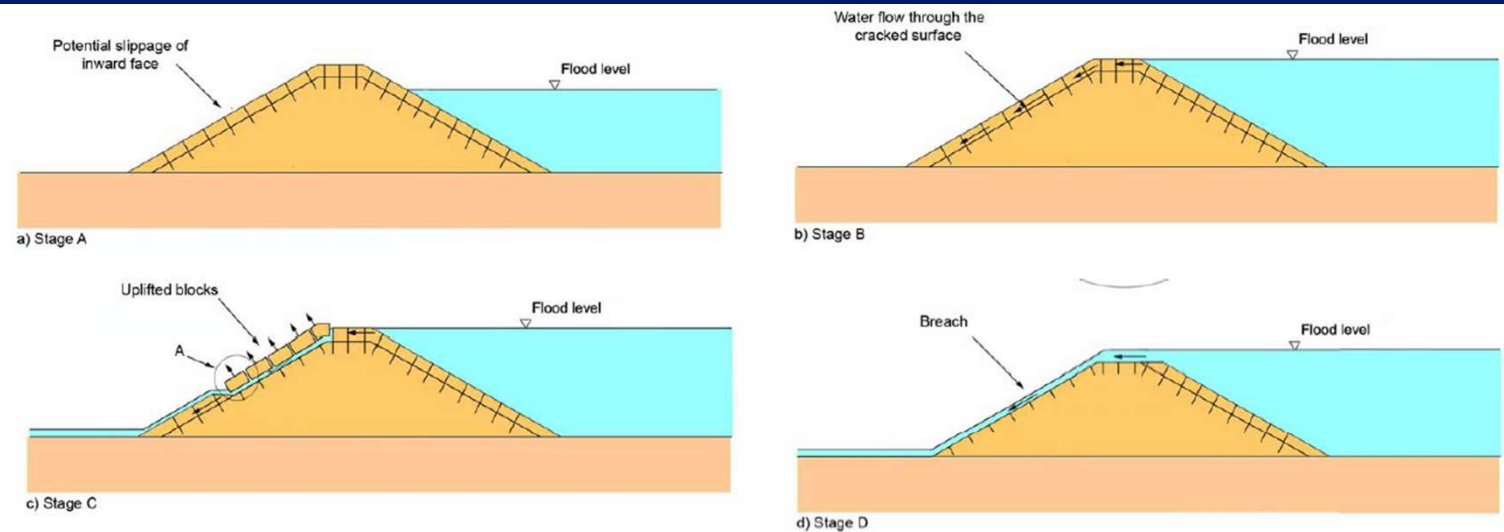
*Vue en plan et profil en travers de fissures  
(Cerema, 2019)*



# 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)*

- a) développement de la fissuration et individualisation de blocs de sols
- b) en période de crue, infiltration de l'eau via le réseau de fissures
- c) soulèvement des blocs de sols et circulation d'eau sur le talus côté zone protégée
- d) 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
  - Aspersions d'eau sur la digue



*Aspersions d'une digue (Comité de l'Eau de De Stichtse 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

Merci de votre attention !