



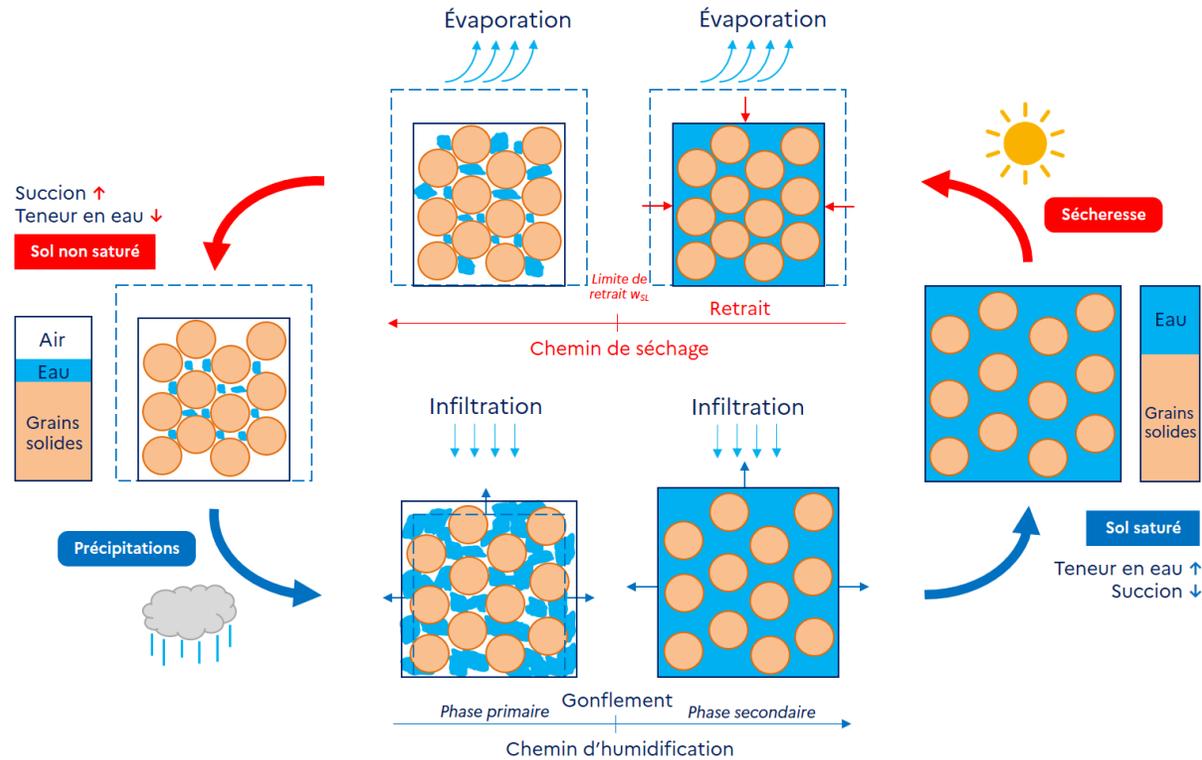
# SOLUTIONS EN DÉVELOPPEMENT FACE À L'ÉVOLUTION DU RGA SOUS L'EFFET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Lamine IGHIL AMEUR (Cerema / GéoCoD)

4 juin 2025

# 1. ÉVOLUTION DU RGA SOUS L'EFFET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Dérèglement des cycles de séchage-humidification (élément idéalisé d'un sol)

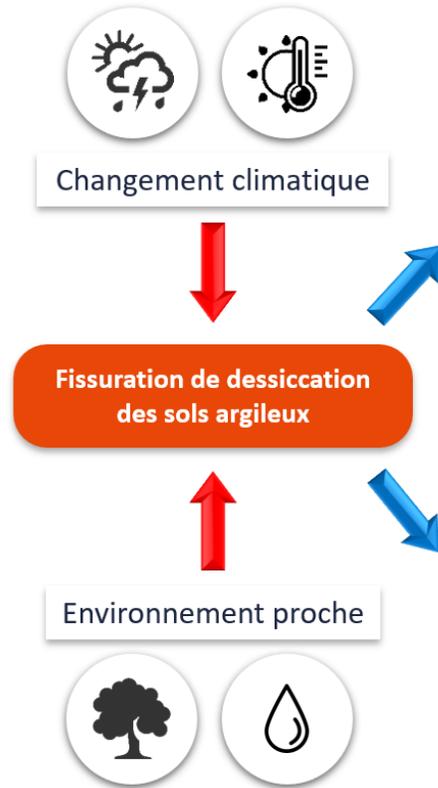


Les processus naturels de retrait et de gonflement sont une succession de variations de teneur en eau d'un sol argileux sous l'effet de sollicitations hydriques et cycliques influencées par les conditions météorologiques de sécheresse et de précipitations

# 1. ÉVOLUTION DU RGA SOUS L'EFFET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

## Faits marquants post-2015 :

- L'expansion de la sécheresse impacte d'autres ouvrages et infrastructures
- Extension géographique de l'exposition RGA
- 1 maison sur 2 est potentiellement très exposée au RGA
- La sécheresse devient la catastrophe naturelle la plus coûteuse de ces 10 dernières années
- La sécheresse s'étend progressivement sur toute la France
- La dessiccation des sols se propage en profondeur (> 3 m)
- Une sécheresse 2022 exceptionnelle



Les routes



Les pistes cyclables



Les ouvrages en terre

Les maisons

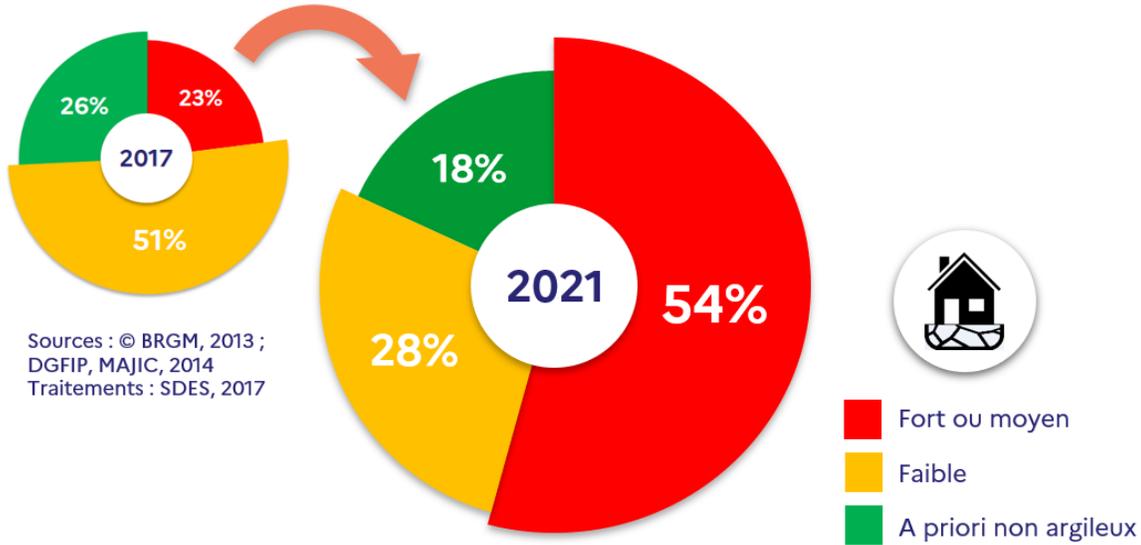


Les voies ferrées



# 1. ÉVOLUTION DU RGA SOUS L'EFFET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Nombre de maisons individuelles exposées à l'aléa RGA en France (en %)

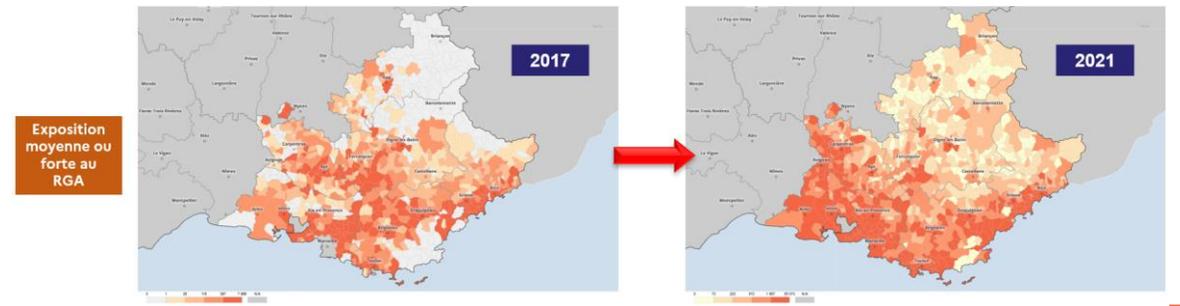
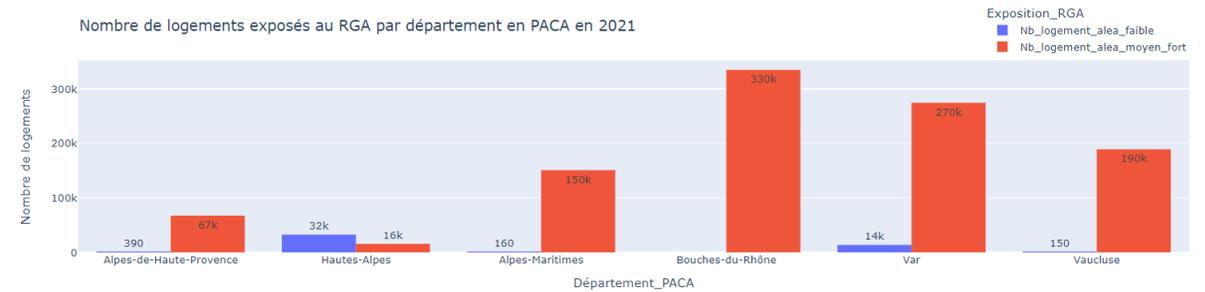


Sources : © BRGM, 2013 ; DGFIP, MAJIC, 2014  
Traitements : SDES, 2017

Sources : © BRGM, 2019 ; Fideli, 2017  
Traitements : SDES, 2021

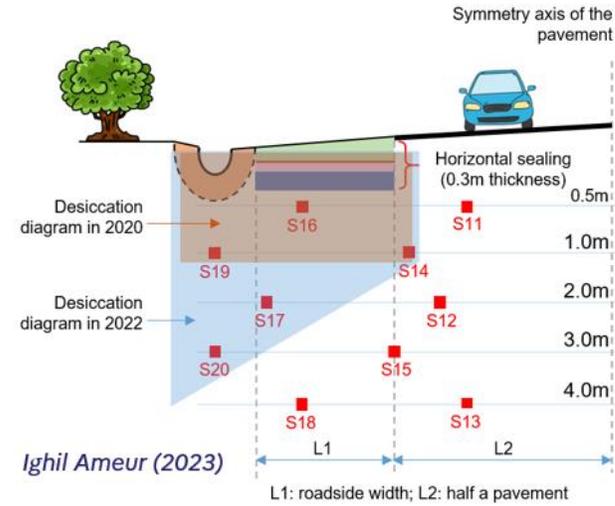
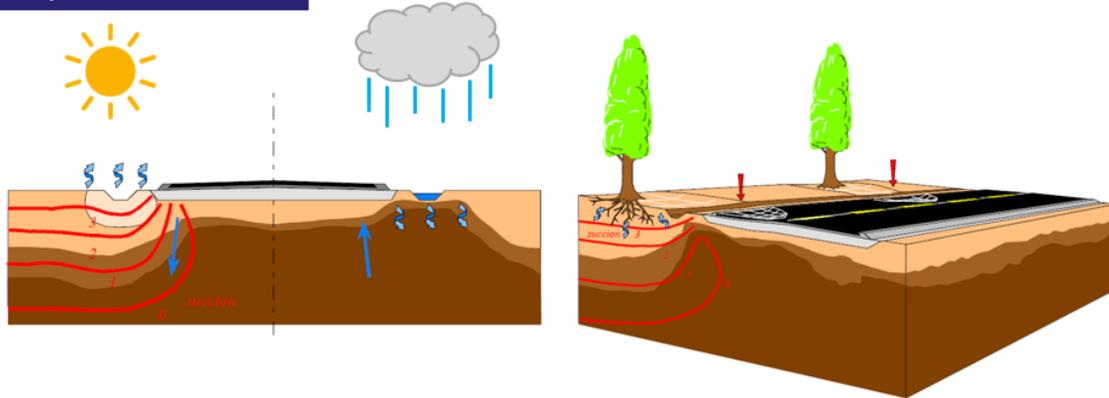
Par ailleurs, dans l'avis enregistré par le Sénat le 12 octobre 2021, sur la proposition de loi visant à réformer le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles (<http://www.senat.fr/rap/a21-045/a21-0450.html>), de nouveaux chiffres de la CCR ont été cités sur l'exposition RGA en France, à savoir désormais 18,9 millions de maisons concernées :

- 12,8 millions (contre 10,4 en 2021 et 4,3 en 2017) de maisons sont fortement ou moyennement exposées
- 6,1 millions de maisons sont faiblement exposées



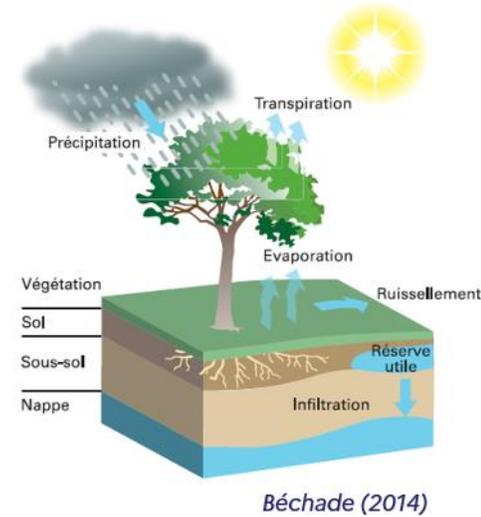
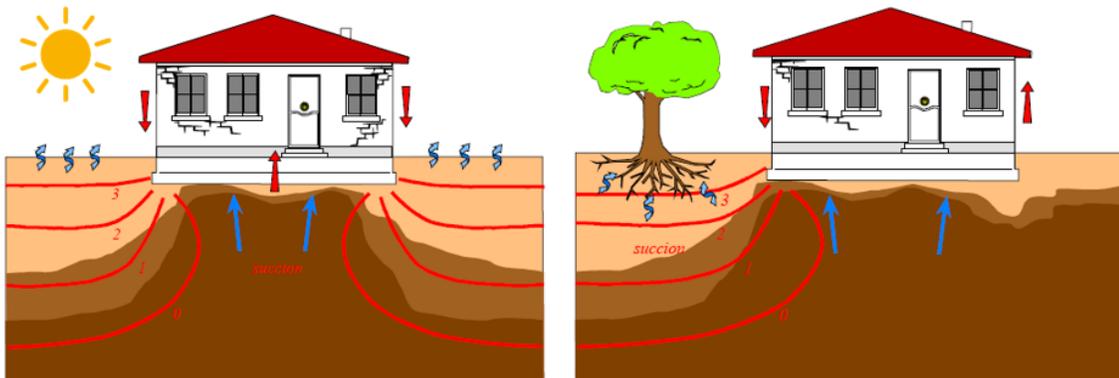
## 2. IMPACTS DE LA SÉCHERESSE SUR LES MAISONS ET LES ROUTES

### Impacts sur les routes

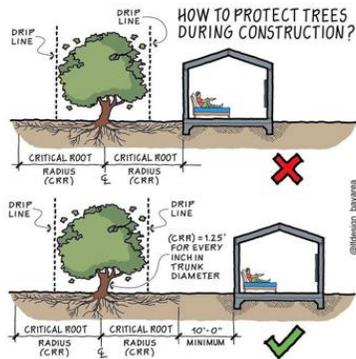
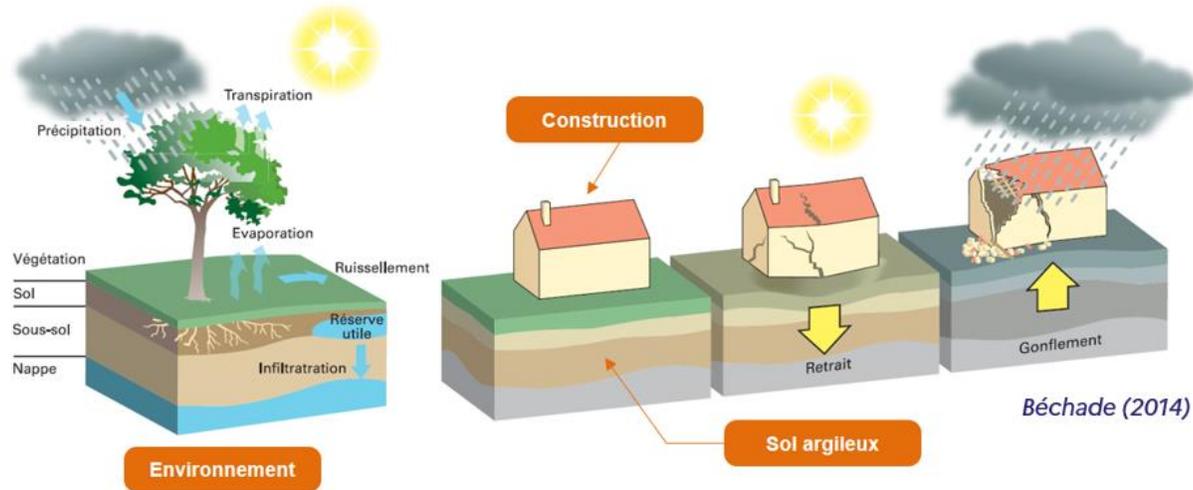


### Impacts sur les maisons

Reiffsteck (1999)



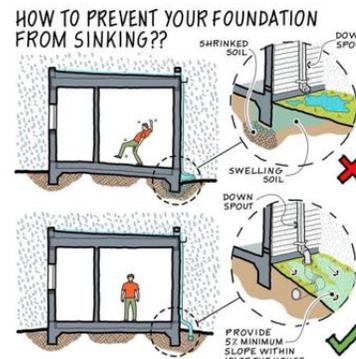
## 2. IMPACTS DE LA SÉCHERESSE SUR LES MAISONS ET LES ROUTES



Crédit photo : Luis Furushio © LF Design

### Influence de la végétation

La présence de la végétation n'est pas problématique lorsqu'elle est plantée à bonne distance afin d'éviter l'aggravation de la succion du sol par les racines

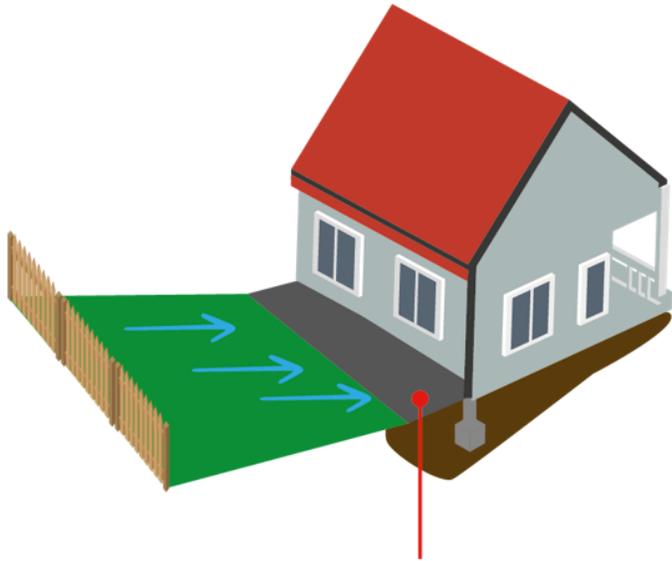


Crédit photo : Luis Furushio © LF Design

### Influence de la gestion des eaux

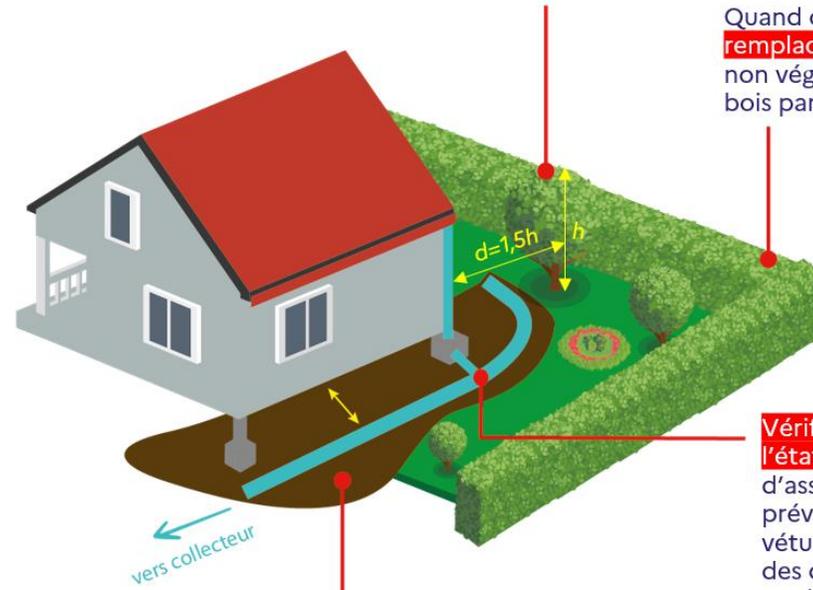
La gestion des eaux autour de la construction doit être aux normes et fiable pour éviter l'infiltration indésirable pouvant provoquer l'affaissement des fondations

## 2. IMPACTS DE LA SÉCHERESSE SUR LES MAISONS ET LES ROUTES



Face à un terrain en pente et un pourtour nu exposé, appliquer les recommandations nécessaires pour l'**étanchéification horizontale périphérique** et de **drainage des eaux adéquat**

Quand cela est possible, **éloigner toute végétation (arbre, arbuste, haie, etc)** des façades (à titre indicatif, la distance recommandée est  $d = 1,5$  fois la hauteur de la végétation à maturité)



Quand cela est possible, **remplacer la haie** par une clôture non végétale (métallique ou en bois par exemple)

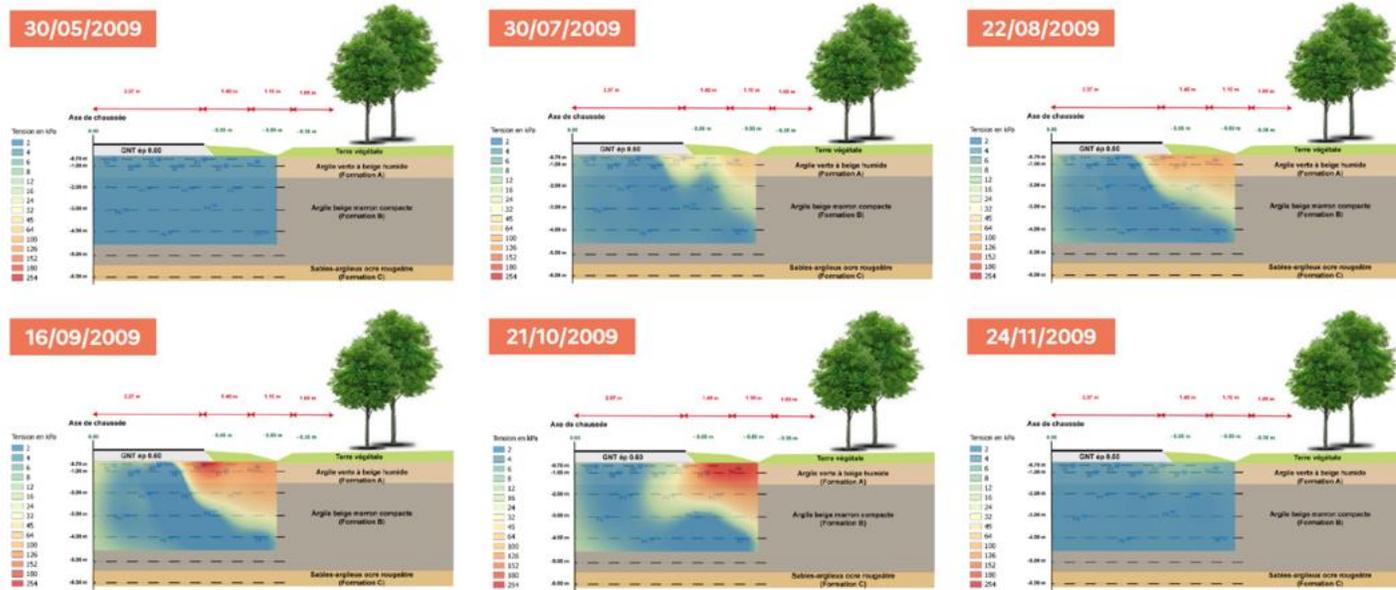
**Vérifier régulièrement l'état** des réseaux d'assainissement pour prévenir les fuites dues à la vétusté ou la fissuration des canalisations enterrées par le RGA

Quand cela est possible, par prévention, **écarter les réseaux enterrés** par rapport aux façades pour éviter, en cas de fuites, l'incidence sur les fondations en attendant la rénovation des canalisations endommagées

Crédit : L. Ighil Ameur © Cerema 2023

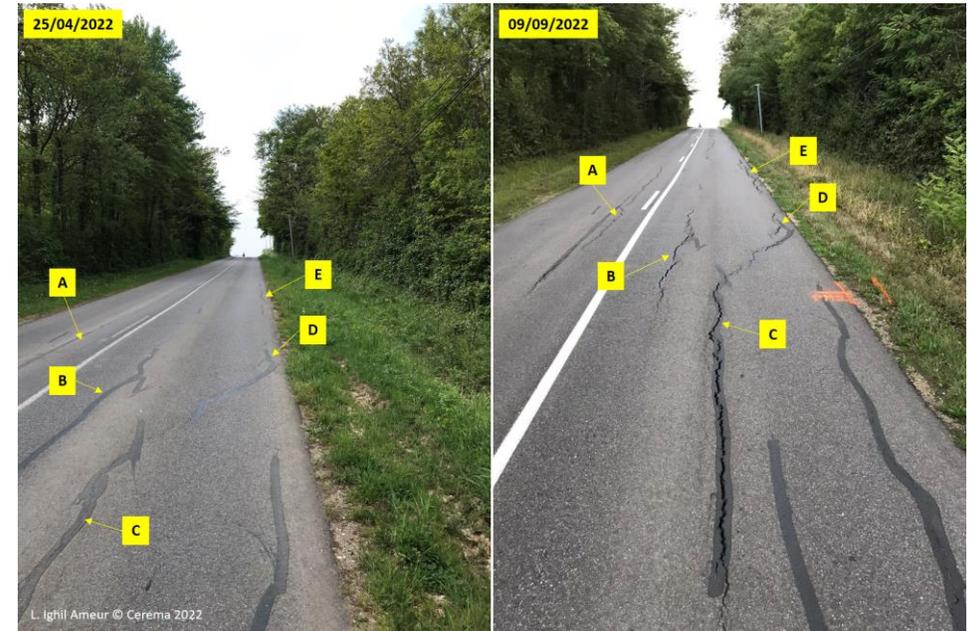
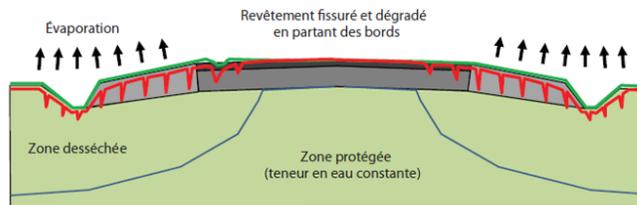
# 2. IMPACTS DE LA SÉCHERESSE SUR LES MAISONS ET LES ROUTES

Cartographies de la succion du sol mesurée in situ sous une demi chaussée et son accotement entre le 30/05 et le 24/11/2009



© Cerema

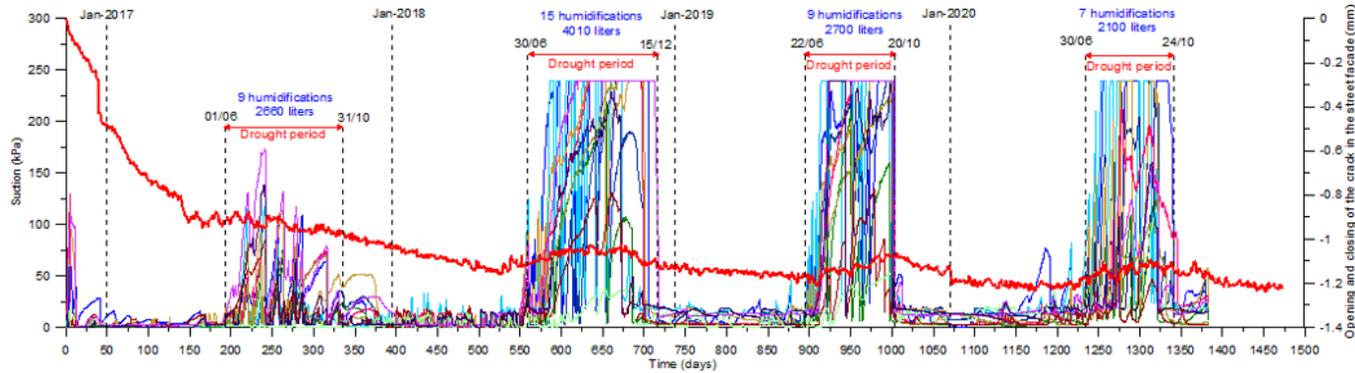
Mécanismes de dégradation d'une chaussée exposée à la sécheresse (Magnan, 2013)



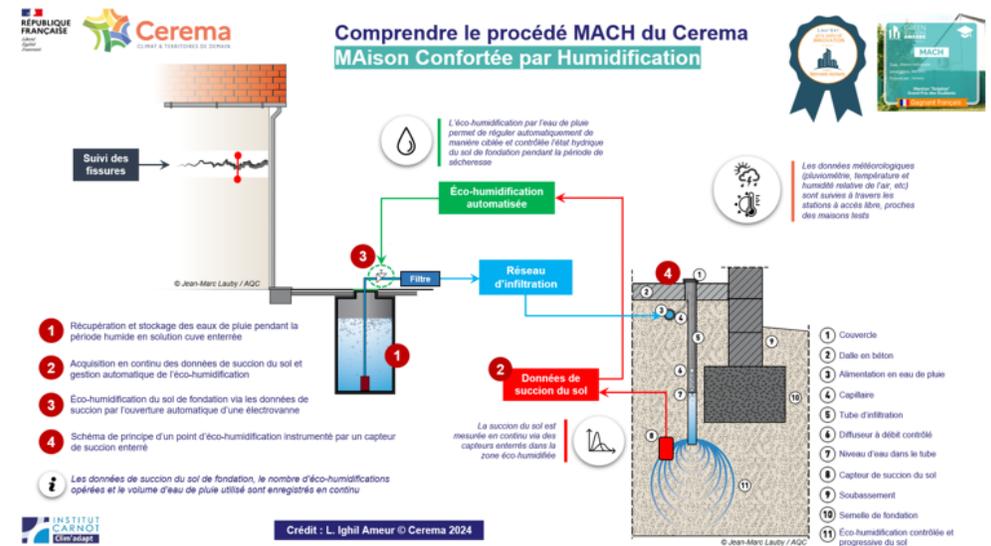
L. Ighil Ameur © Cerema 2022

# 3. SOLUTIONS D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Résultats obtenus entre 2016 et 2020



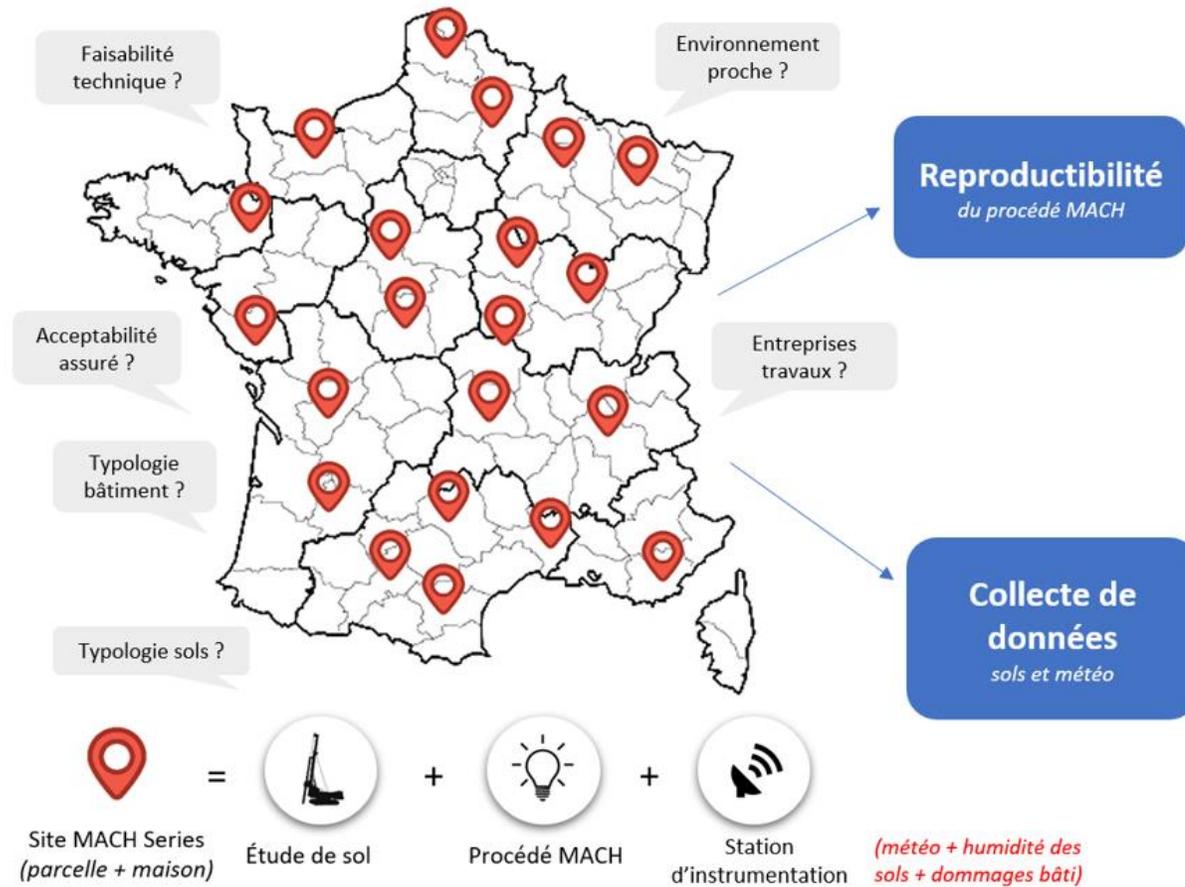
Résultats obtenus entre 2021 et 2024



## Quelques principaux résultats :

- La réhydratation ciblée et contrôlée du sol de fondation permet de réduire son niveau de dessiccation et la déformation de retrait associée ;
- Equilibrer l'état hydrique du sol durant les périodes de sécheresse a permis à la fois de stabiliser les dommages existants et prévenir l'apparition de nouvelles fissures dans la structure ;
- Le positionnement des capteurs de teneur en eau proche de la surface permet de prévenir la propagation de la dessiccation en profondeur.

### 3. SOLUTIONS D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE



Projet MACH Series\*  
(2023 – 2026)



\*Fait partie du projet « Initiative Sécheresse » de MRN, CCR et France Assureurs

Objectifs :

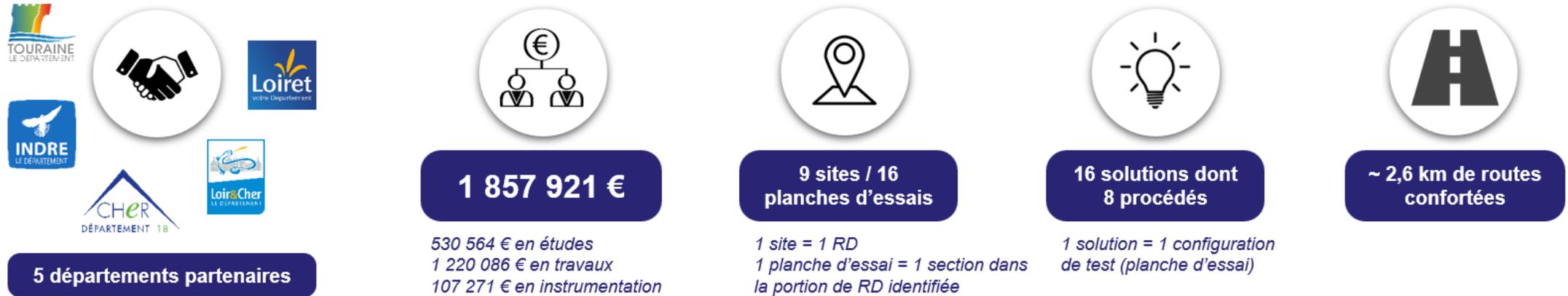
- Vérifier la reproductibilité du procédé MACH quelque soit la configuration du site (bâtiment, environnement proche, nature du sol, etc)
- Collecter les données sols et météo et interaction avec le bâti pour alimenter la base de donnée permettant de développer la solution MACH+



Première maison MACH Series équipée en 2024 près de Poitiers (86)

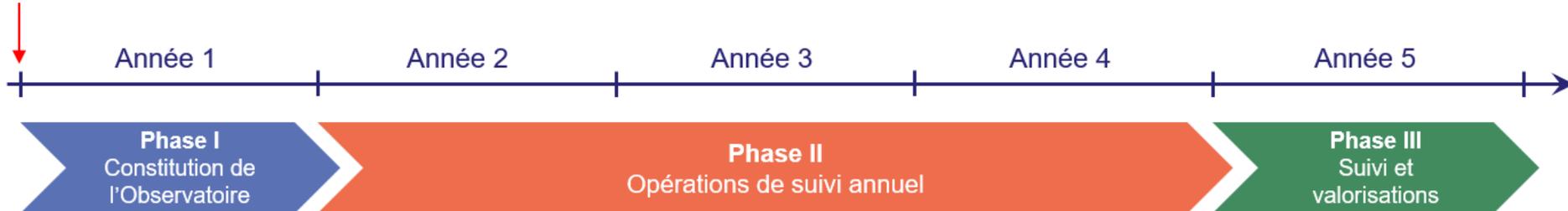
### 3. SOLUTIONS D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

- L'ORSS du Cerema, c'est à ce jour :



Date de signature des conventions Cerema & départements CVdL\*

#### Calendrier prévisionnel de l'Observatoire



\* Départements de la région Centre-Val de Loire partenaires du projet ORSS : Cher (18), Indre (36), Indre-et-Loire (37), Loir-et-Cher (41) et Loiret (45)

### 3. SOLUTIONS D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

#### Solutions catégorie 1



- 1** Stabilisation mécanique de la couche porteuse par deux lits de géogrille triaxiale TriAx®
- 2** Stabilisation mécanique de la structure de chaussée par pose de blocs de Compostyrène®

#### Solutions catégorie 2



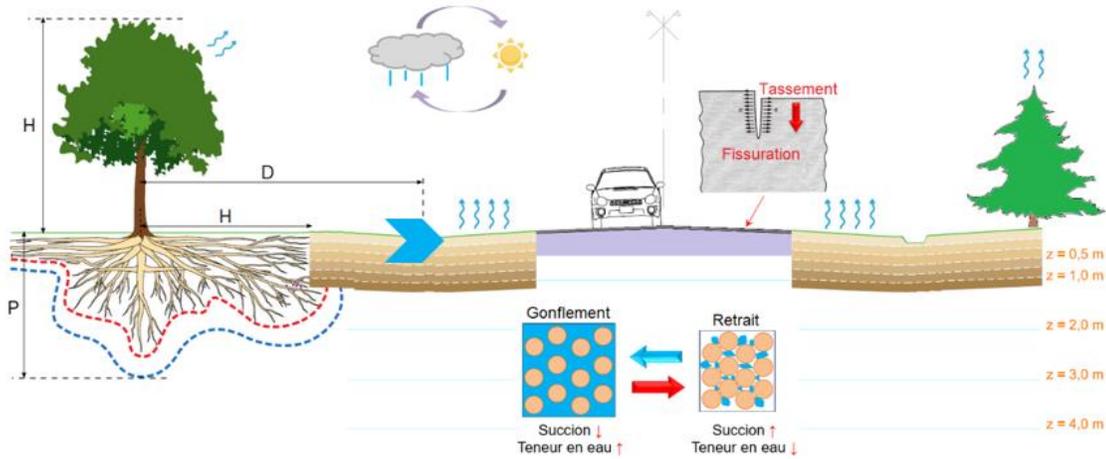
- 3** Étanchéification verticale par encapsulage avec une géomembrane
- 4** Étanchéification horizontale des accotements (par géomembrane ou par enduit de surface)
- 5** Stabilisation du sol sous chaussée par injection de résine expansive URETEK®

#### Solution catégorie 3



- 6** Stabilisation physico-chimique du sol sous chaussée par injection du RemediaClay®
- 7** Stabilisation physico-chimique du sol sous chaussée par Bio-cimentation MeduSoil® BS1

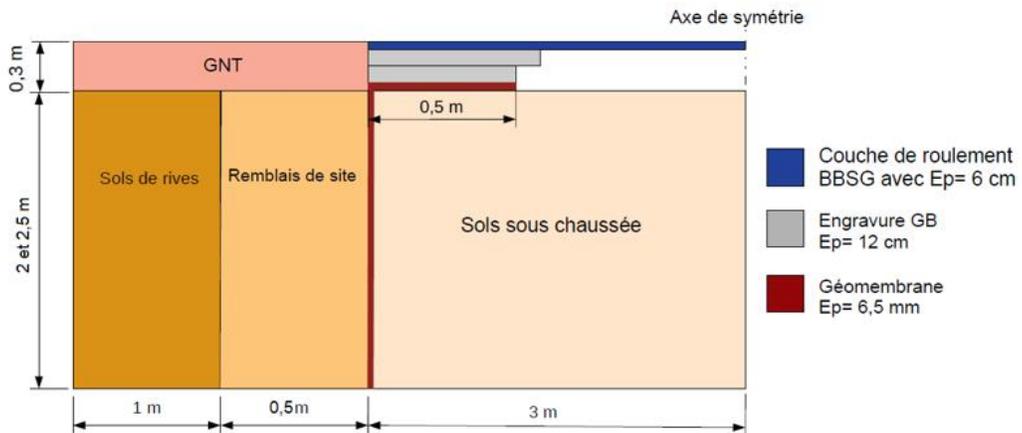
### 3. SOLUTIONS D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE



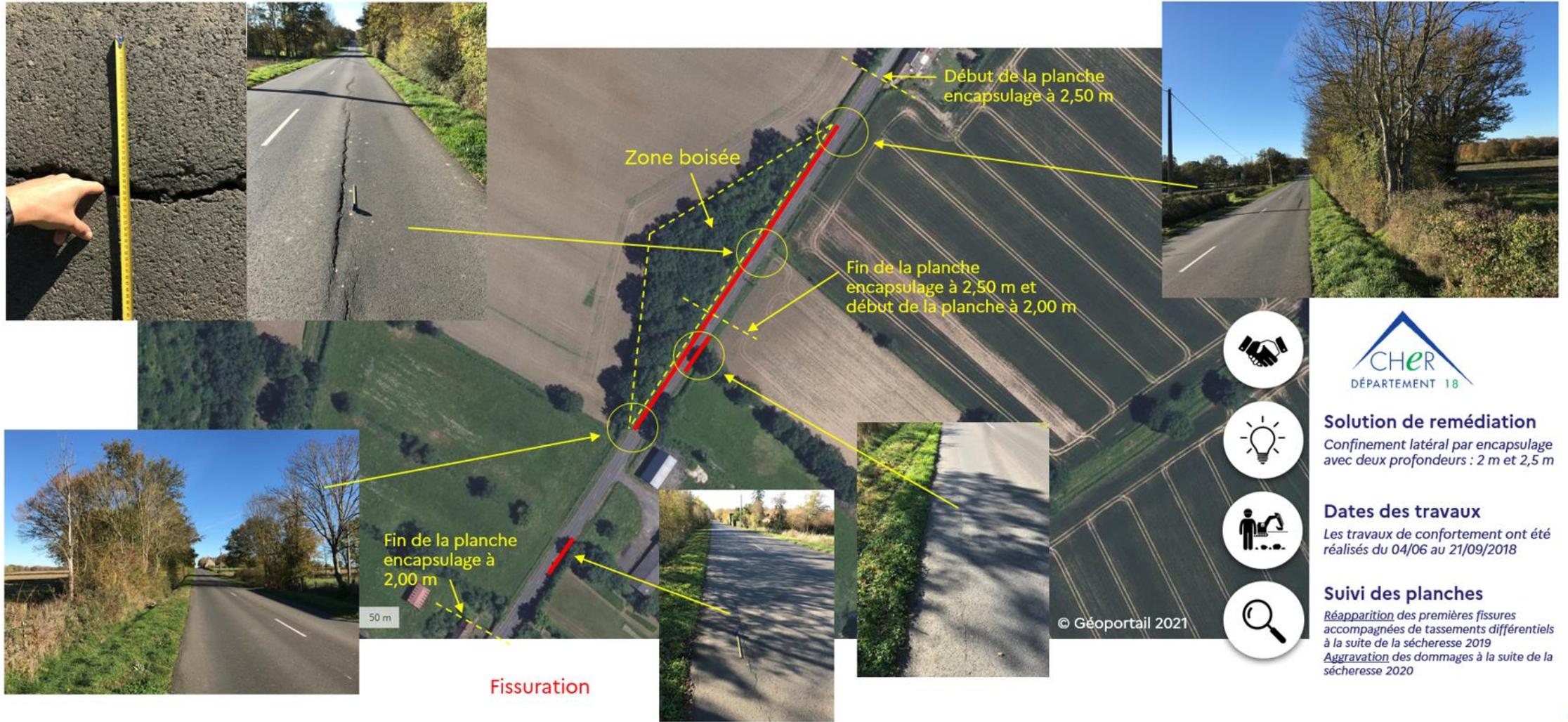
Travaux de mise en œuvre (entre juin et septembre 2018)



Planche 3 : confortement par encapsulage



### 3. SOLUTIONS D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE



**Solution de remédiation**  
Confinement latéral par encapsulage  
avec deux profondeurs : 2 m et 2,5 m



**Dates des travaux**  
Les travaux de confortement ont été  
réalisés du 04/06 au 21/09/2018



**Suivi des planches**  
*Réapparition* des premières fissures  
accompagnées de tassements différentiels  
à la suite de la sécheresse 2019  
*Aggravation* des dommages à la suite de la  
sécheresse 2020



© Géoportail 2021

## 4. PROJETS DE RECHERCHE SEHSAR ET SAFE RGA (2024 – 2029)

Montage de deux programmes de recherche AAP France 2030 piloté par ADEME  
(février 2023 – juin 2024)

**SEHSAR** : *Surveillance Etendue du niveau d'Humidité des Sols argileux pour l'Adaptation et la Résilience du bâti face au changement climatique*

**Objectif** : porté par le Cerema en partenariat avec le BRGM (2024 – 2029), l'objectif est de développer un outil de veille et d'anticipation du niveau de la sécheresse des sols argileux en France



**SAFE RGA** : *Solutions innovantes d'Adaptation du bâti exposé à la sécheresse Face à l'Expansion du phénomène de RGA*

**Objectif** : porté par le Cerema dans le cadre d'un consortium composé avec l'AQC, CEAD, Fondasol et Université d'Orléans (2024 – 2029), l'objectif est de développer de nouvelles solutions innovantes pour l'adaptation et la prévention RGA



Lauréat



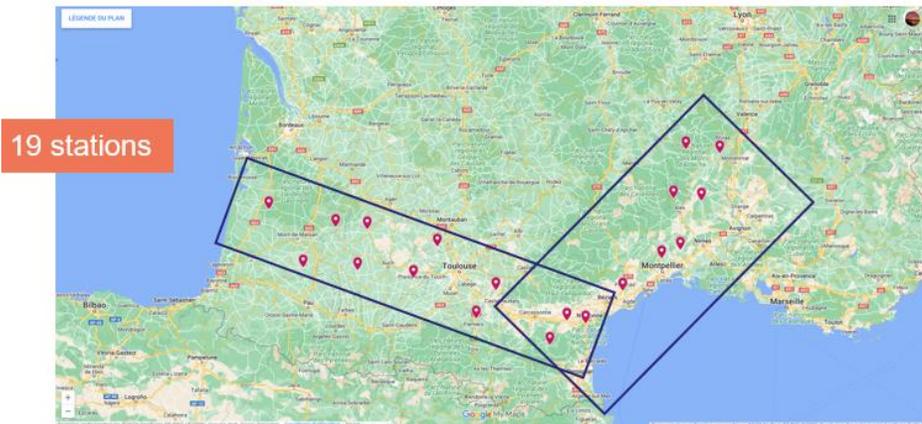
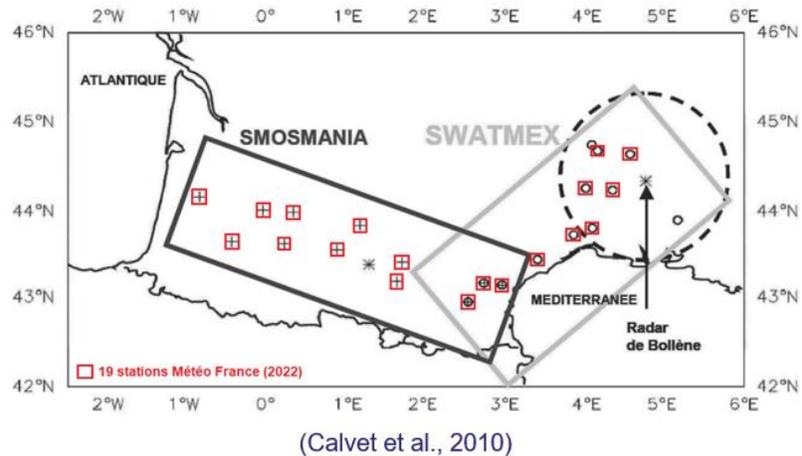
Financé par



Solutions en développement face à l'évolution du RGA sous l'effet du changement climatique

## 4. PROJETS DE RECHERCHE SEHSAR ET SAFE RGA (2024 – 2029)

### Etat actuel de la mesure de l'humidité des sols en France



### Objectifs

- **Étendre la mesure in situ** de l'évolution de l'humidité des sols argileux dans le contexte du changement climatique
- **SEHSAR → Coupler** données du sol et données météorologiques pour mieux adapter le bâti et prévenir la sécheresse des sols



Humidité des sols



Interactions  
sol/atmosphère

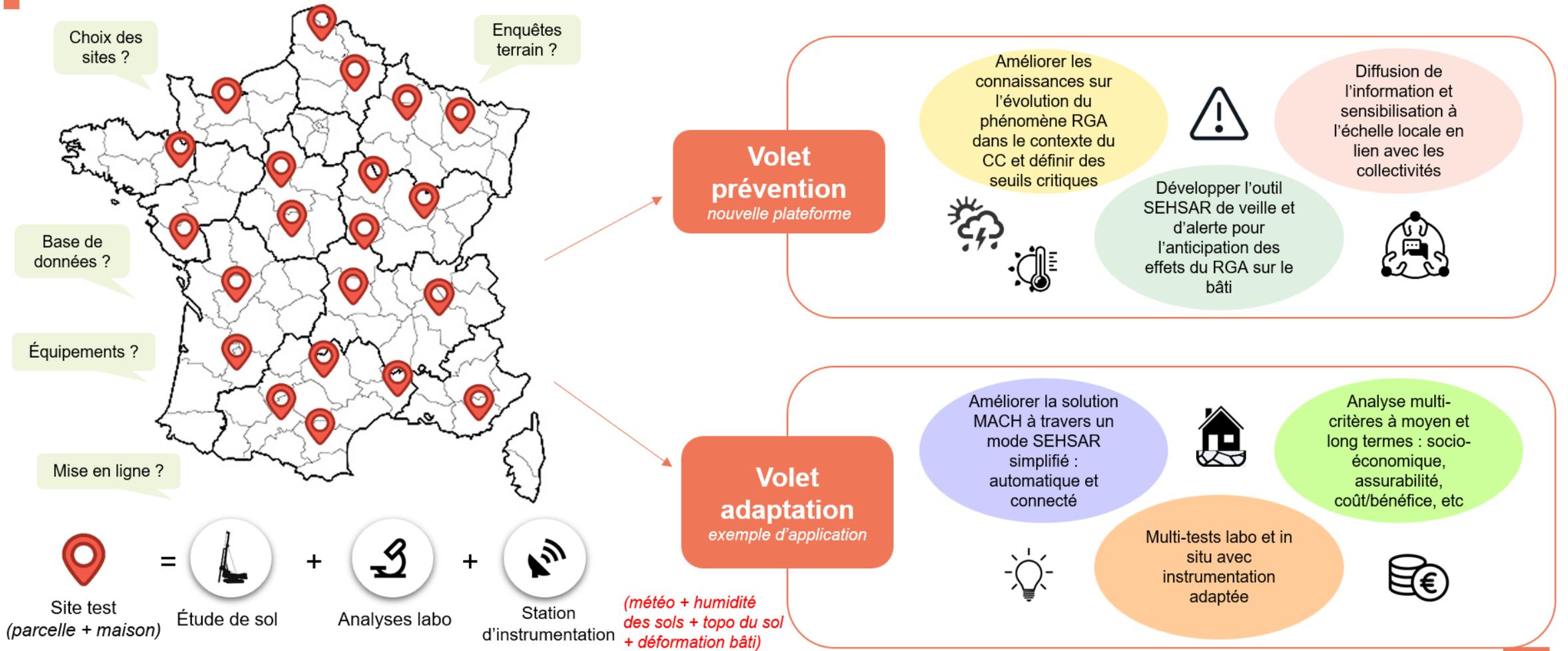


Météorologie

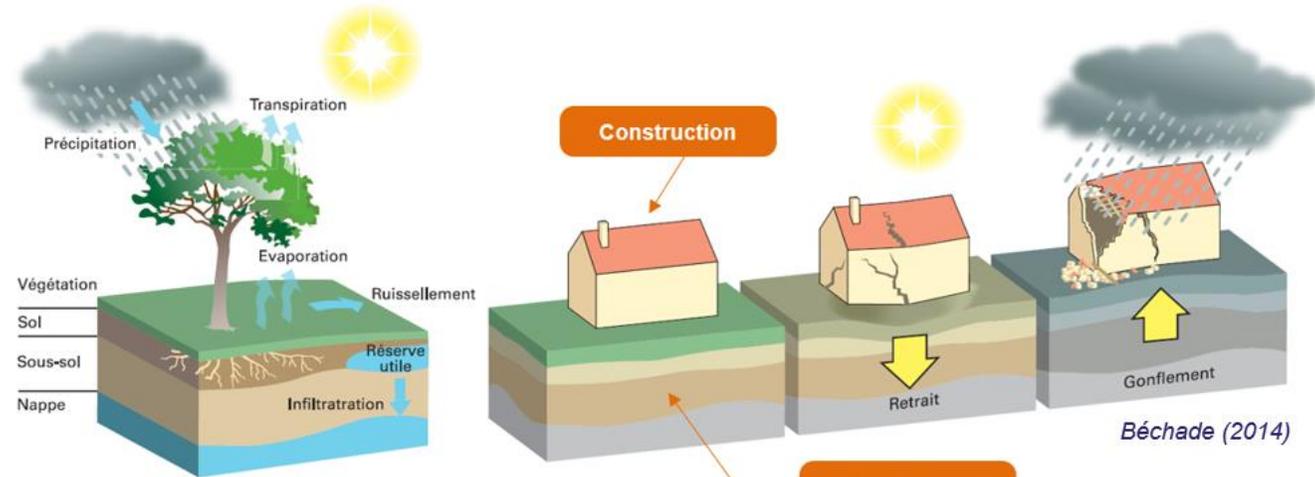
### Applications

- Météo France : mieux documenter l'indice d'humidité des sols utilisé comme critère pour la reconnaissance Cat-Nat
- Agriculteurs : mieux anticiper et gérer les besoins en eau des sols
- Services de secours : mieux anticiper les feux de forêt

## 4. PROJETS DE RECHERCHE SEHSAR ET SAFE RGA (2024 – 2029)



## 4. PROJETS DE RECHERCHE SEHSAR ET SAFE RGA (2024 – 2029)



Environnement

Expérimenter sur une vingtaine de maisons en zone argileuse des solutions constructives (imperméabilisation périphérique, drains et descentes EP déportés, éloignement des arbres) et suivi de leur efficacité par des mesures (humidité des sols...)

Lot 4

Sol argileux

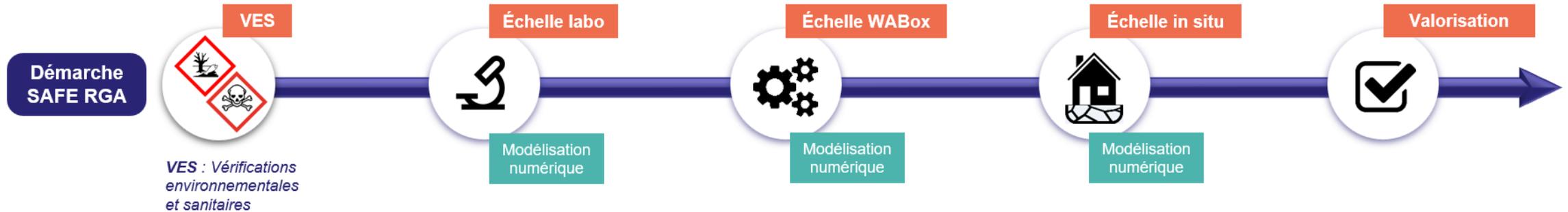
Stabilisation physico-chimique du sol argileux par ajout de sable et de sel

Lot 2

Stabilisation chimique du sol argileux par ajout de lait de chaux

Lot 3

## 4. PROJETS DE RECHERCHE SEHSAR ET SAFE RGA (2024 – 2029)

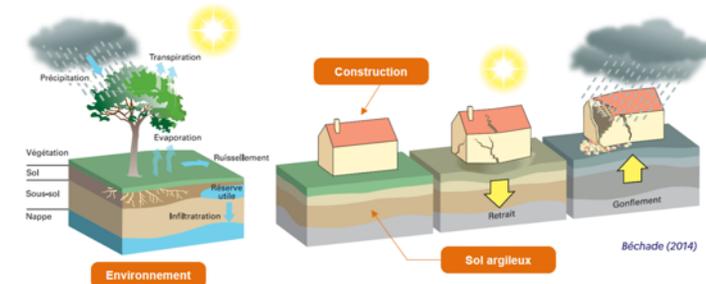


### Verrous scientifiques :

- Représentativité des échantillons de sol naturel, prélevés in-situ, dans la réalisation des investigations en laboratoire ;
- Prise en compte de l'anisotropie minéralogique, de variation de volume, des déformations et de comportement hydromécanique des sols argileux non saturés et l'hétérogénéité de leur réponse aux sollicitations hydriques aléatoires ;
- Conception et le développement des solutions innovantes à l'échelle 1 pour l'adaptation des maisons exposées au RGA à partir des avancées escomptées en termes de compréhension des mouvements de l'eau dans les sols argileux en périodes de sécheresse intenses et fréquentes ;
- Applicabilité et la reproductibilité des solutions développées : méthodologie de mise en œuvre, impacts environnementaux et sanitaires, analyse coût-bénéfice, etc.

### Objectifs :

- Prévenir le risque sécheresse des sols argileux pour les nouvelles constructions ;
- Adapter le bâti existant exposé au RGA ;
- Développer de nouvelles solutions écologiques, économiques et accessibles à tous, durables et faciles à mettre en œuvre avec une faible empreinte carbone ;
- Tester et éprouver chaque solution selon un programme scientifique et technique multi-échelle avec modélisation numérique : reproductibilité et durabilité.



## 5. RESSOURCES D'INFORMATION ET DE SENSIBILISATION SUR LE RGA



<https://www.youtube.com/watch?v=s5lxzqrn4W4&t=4s>



<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=aXpTR9OZf7A>

Je vous recommande également ces quelques ressources en ligne à lire/voir :

- <https://theconversation.com/maisons-fissurees-rehydrater-le-sol-pour-faire-face-au-retrait-gonflement-des-argiles-219266>
- <https://www.cerema.fr/fr/actualites/mieux-prevenir-risque-retrait-gonflement-sols-argileux-rga#toc-contact-cerema>
- <https://www.brut.media/fr/nature/maisons-fissurees-a-cause-de-la-chaueur-lamine-a-une-solution-ae38d394-372e-4faf-8ef8-4befcc566a20>
- <https://images.wur.nl/digital/collection/coll13/search/page/1>
- <https://www.mrn.asso.fr/nouvelle-publication-mrn-diagnostic-pour-ladaptation-des-habitations-au-retrait-gonflement-des-argiles-avant-dommages-rapport-methodologique/>



<https://qualiteconstruction.com/ressource/points-sensibles-construction/fondations-superficielles-maison-individuelle/>



# Merci de votre attention

Contact : [lamine.ighil-ameur@cerema.fr](mailto:lamine.ighil-ameur@cerema.fr)