



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

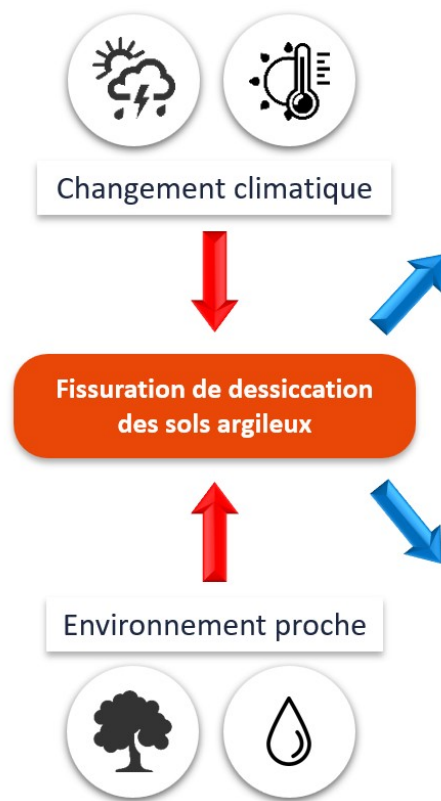
Lamine IGHIL AMEUR (Cerema / GéoCoD)

25 mars 2025

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

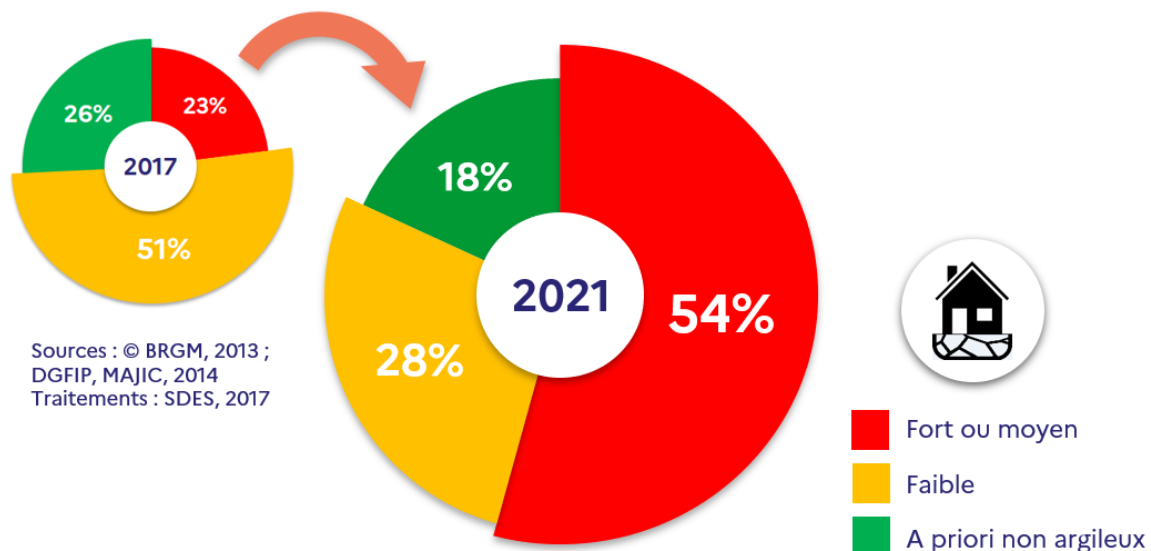


Les voies ferrées



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

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



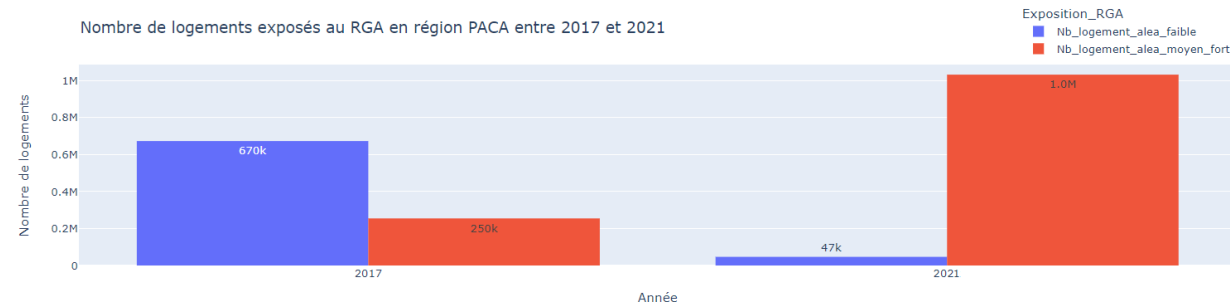
Sources : © BRGM, 2013 ;
DGFIP, MAJIC, 2014
Traitements : SDES, 2017

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

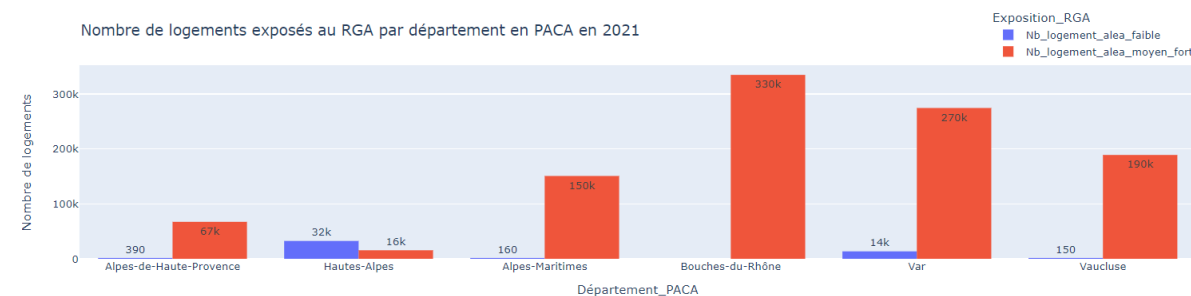
Par ailleurs, dans l'avis enregistré par le Sénat le 12 octobre 2021, sur la proposition de loi visant à réformer le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles (<http://www.senat.fr/rap/a21-045/a21-0450.html>), de nouveaux chiffres de la CCR ont été cités sur l'exposition RGA en France, à savoir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

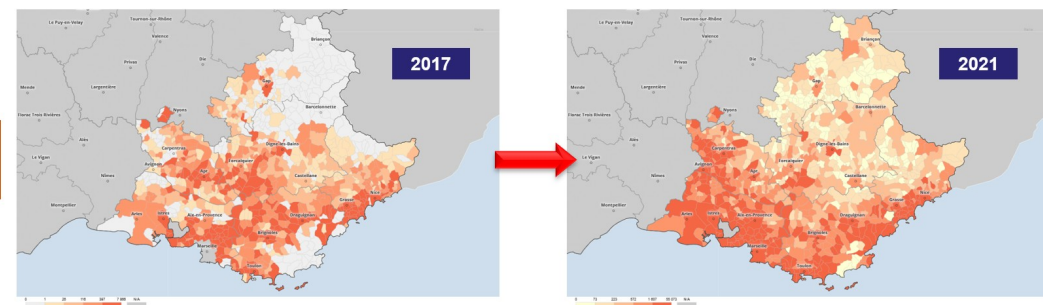
Nombre de logements exposés au RGA en région PACA entre 2017 et 2021



Nombre de logements exposés au RGA par département en PACA en 2021



Exposition moyenne ou forte au RGA

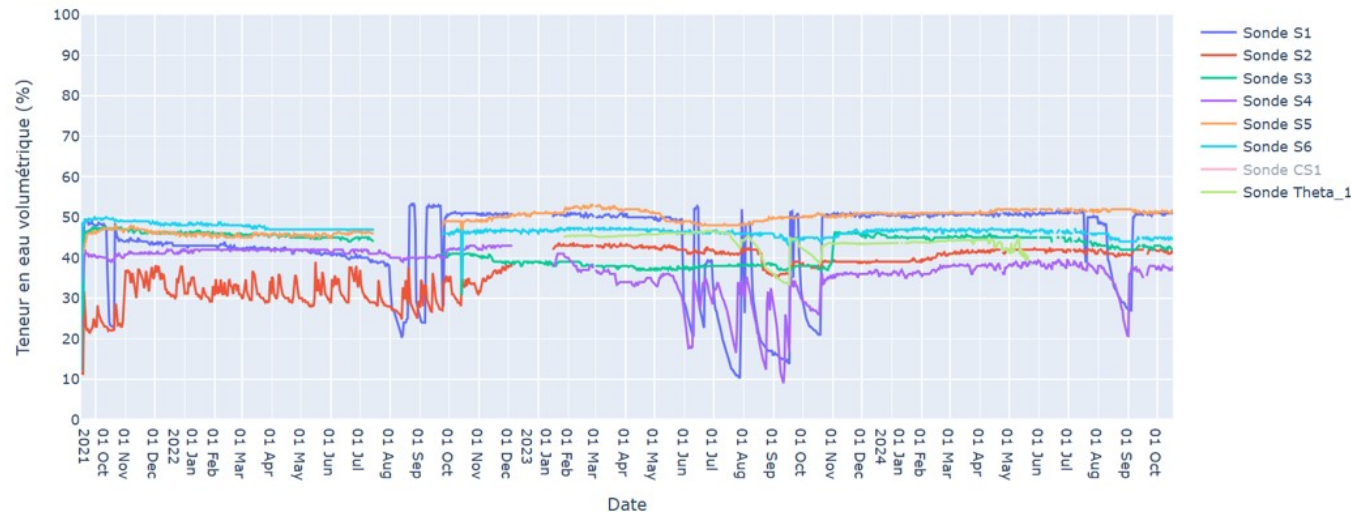


1. ÉVOLUTION DU RGA SOUS L'EFFET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

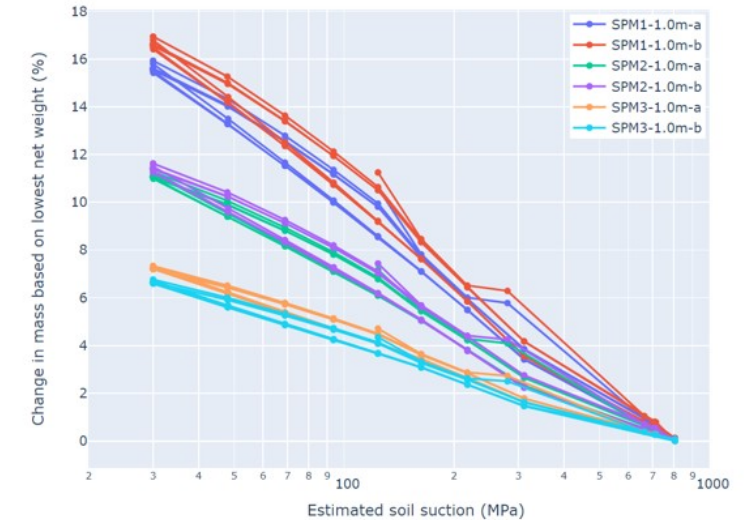
Données du site MACH+ depuis 2022



Données du site RD3 (D18) depuis 2021



Change in mass as a function of soil suction during the DVS test (Ighil Ameur, 2023) [ACTI 2]



Fredlund and Rahardjo (1993):

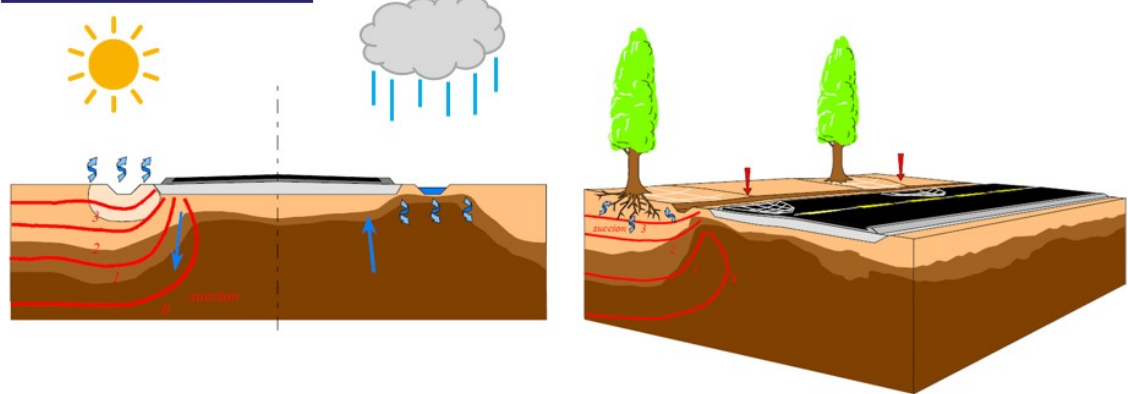
$$s = -\frac{\rho_w RT}{M_w} \ln \left(\frac{HR\%}{100} \right)$$

Principal objectif :

- Analyser l'effet du changement climatique sur l'évolution du phénomène de RGA à travers le comportement hydromécanique du sol argileux à l'échelle labo et in situ.

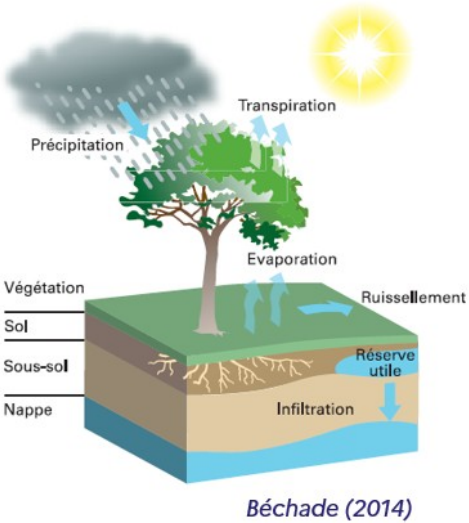
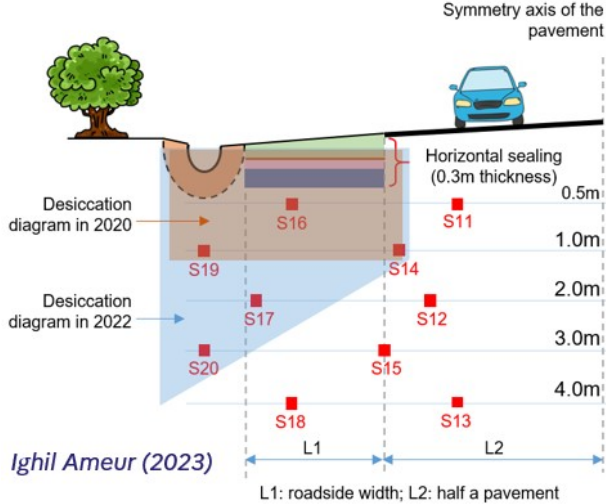
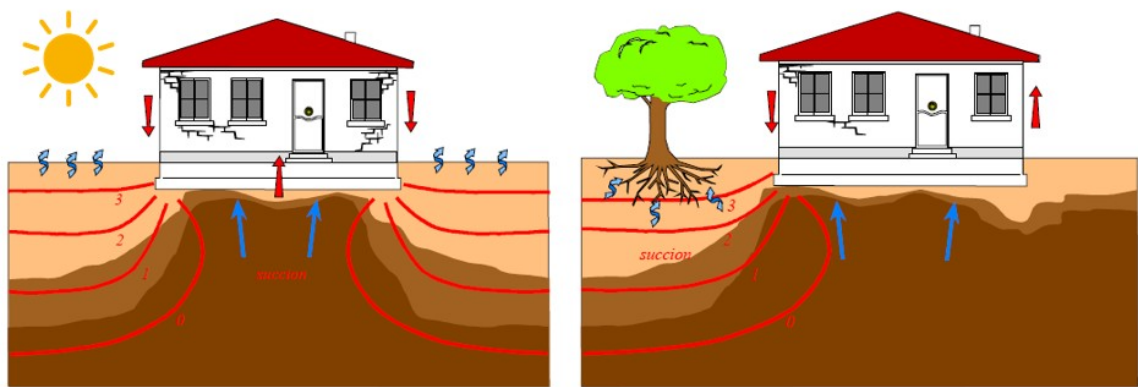
2. IMPACTS DE LA SÉCHERESSE SUR LES MAISONS ET LES ROUTES

Impacts sur les routes

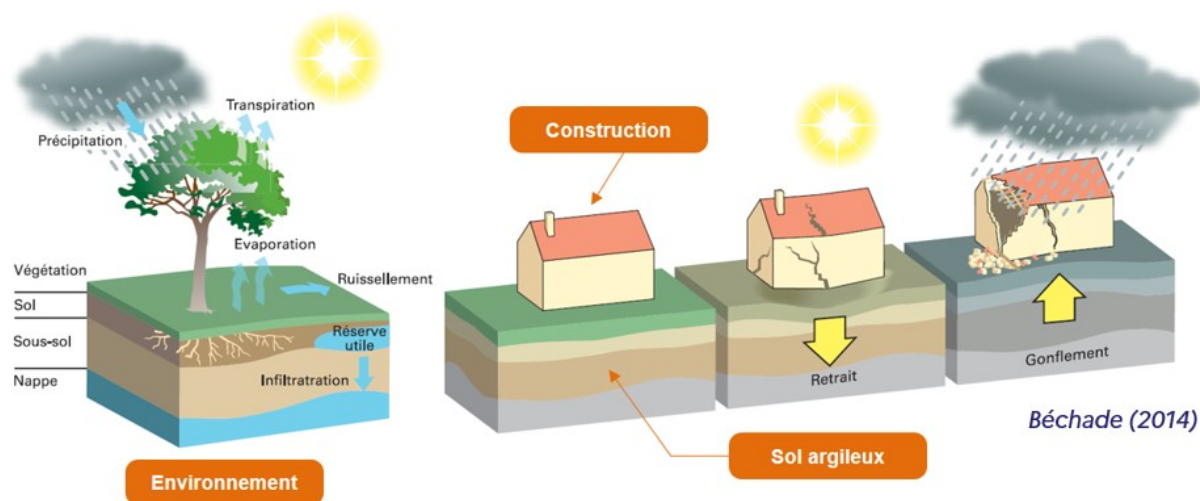


Impacts sur les maisons

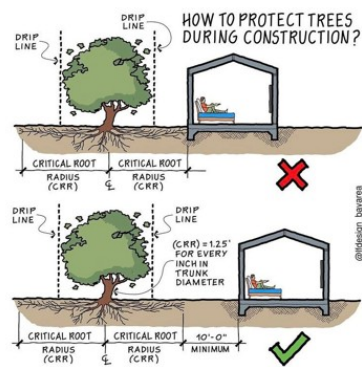
Reiffsteck (1999)



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



Béchade (2014)



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

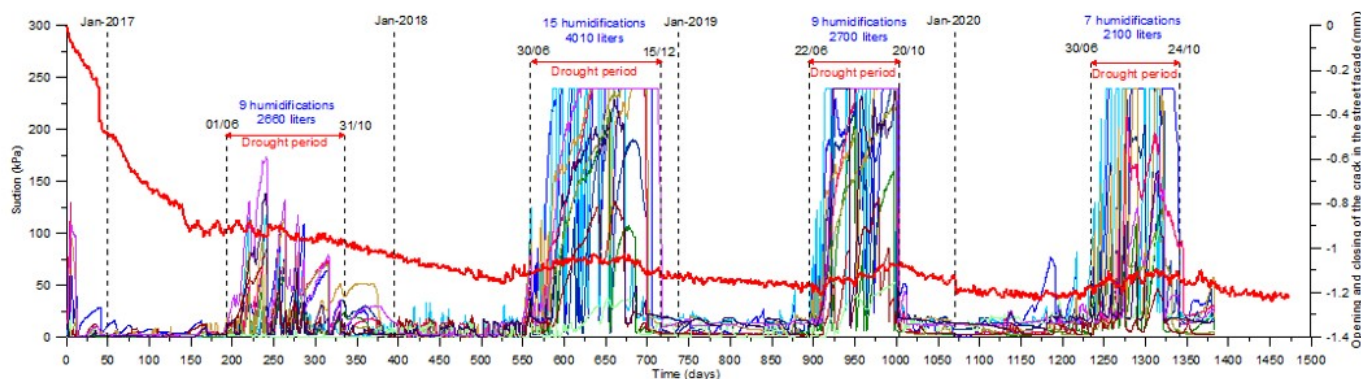
Influence de la gestion des eaux

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

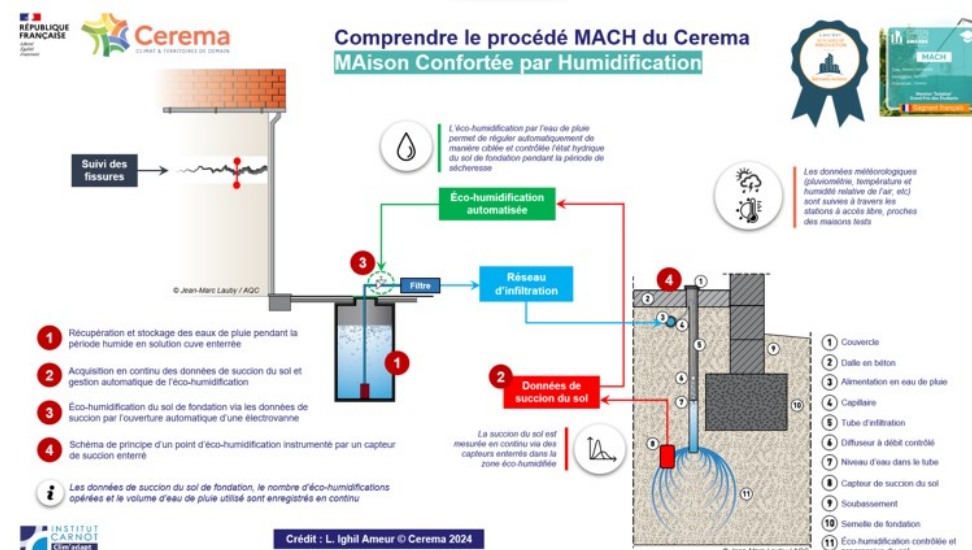


3. SOLUTIONS D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Résultats obtenus entre 2016 et 2020



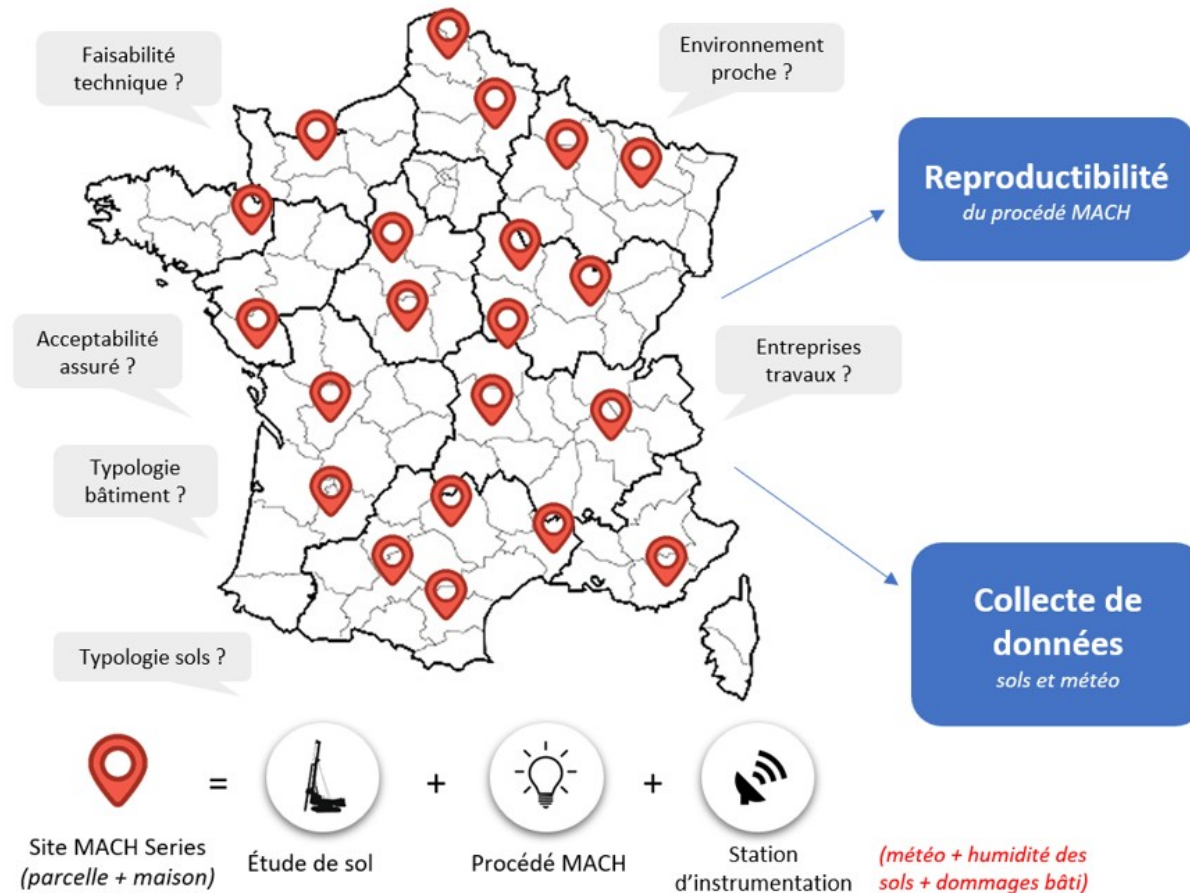
Résultats obtenus entre 2021 et 2024



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)

RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

**CO
vea**

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

Objectifs :

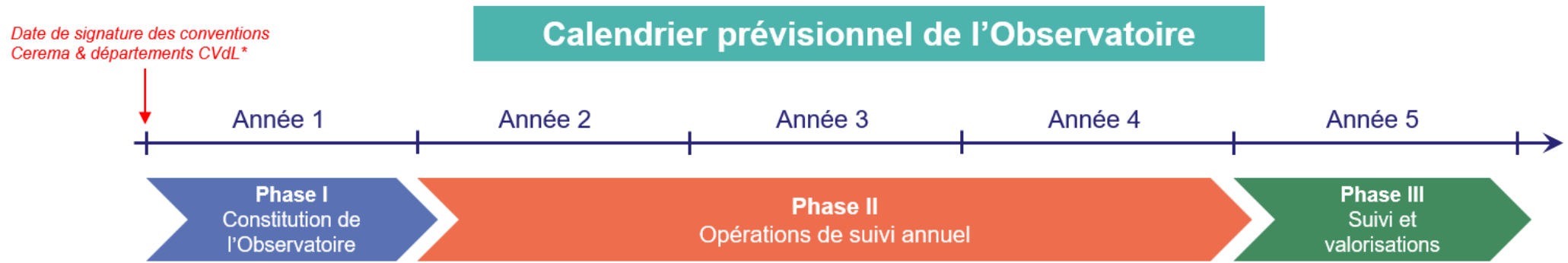
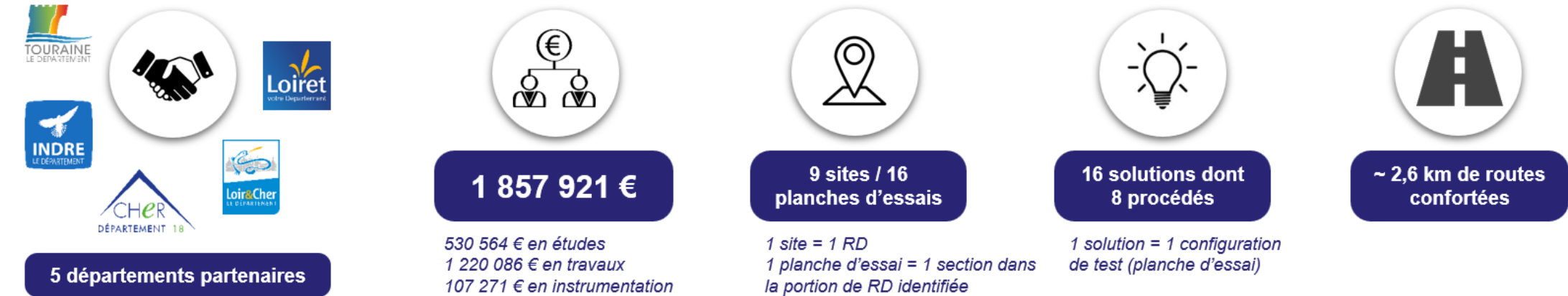
- Vérifier la reproductibilité du procédé MACH quelque soit la configuration du site (bâtiment, environnement proche, nature du sol, etc)
- Collecter les données sols et météo et interaction avec le bâti pour alimenter la base de donnée permettant de développer la solution MACH+



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 :



* 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

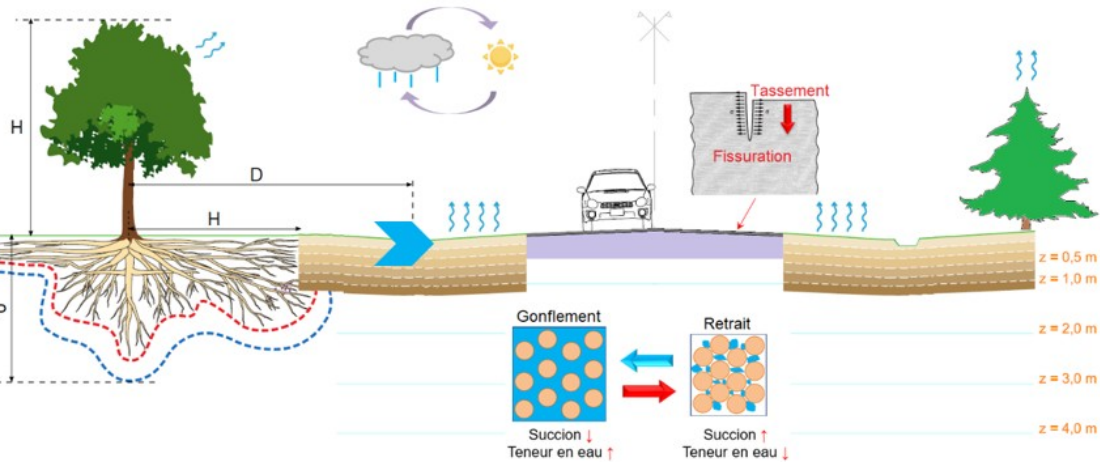
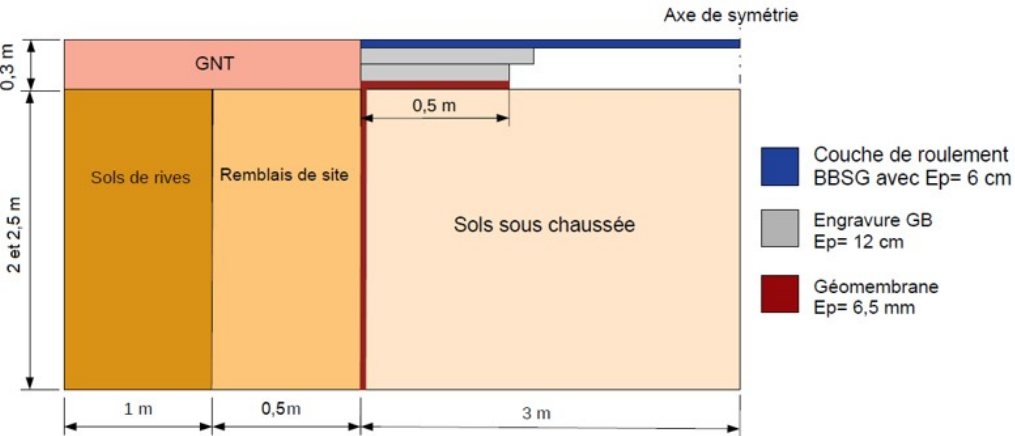


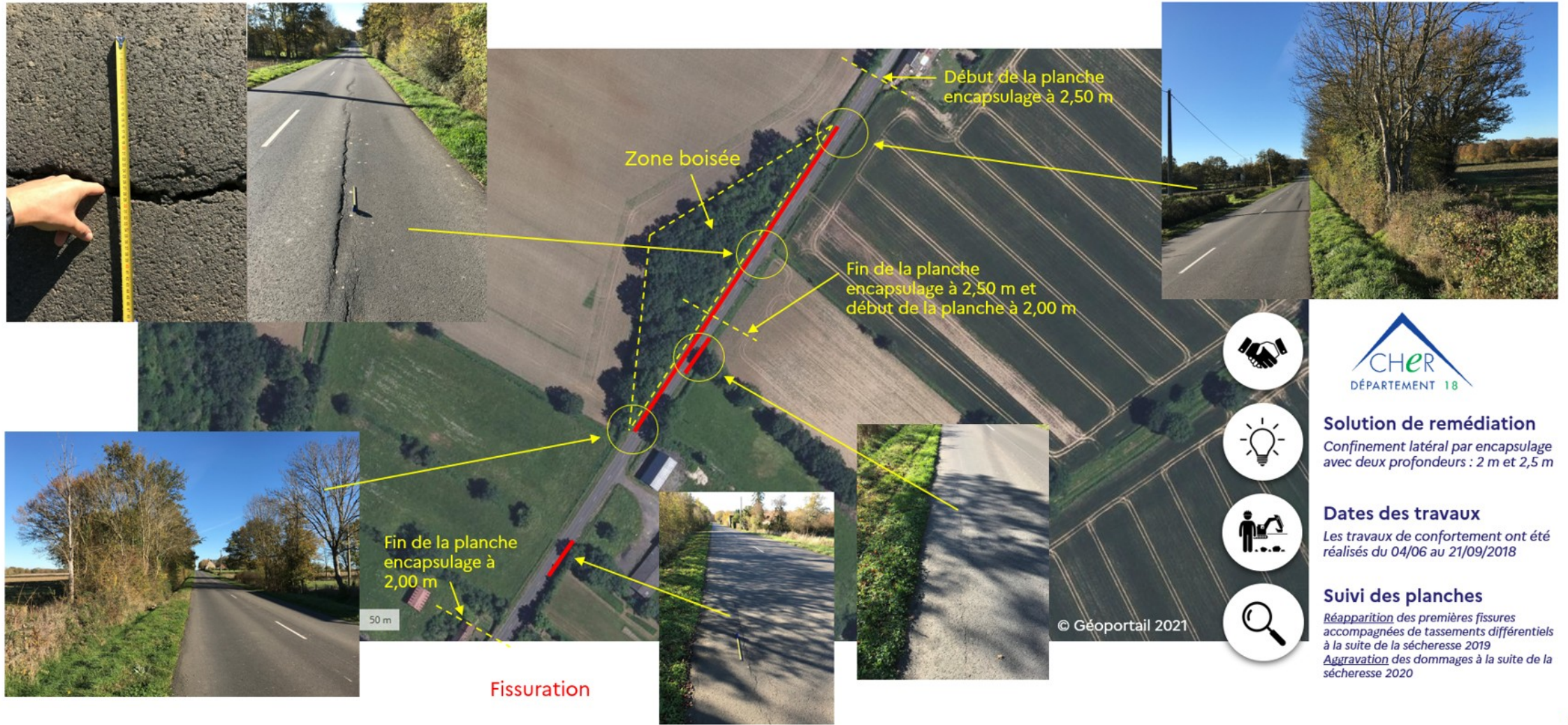
Planche 3 : confortement par encapsulage



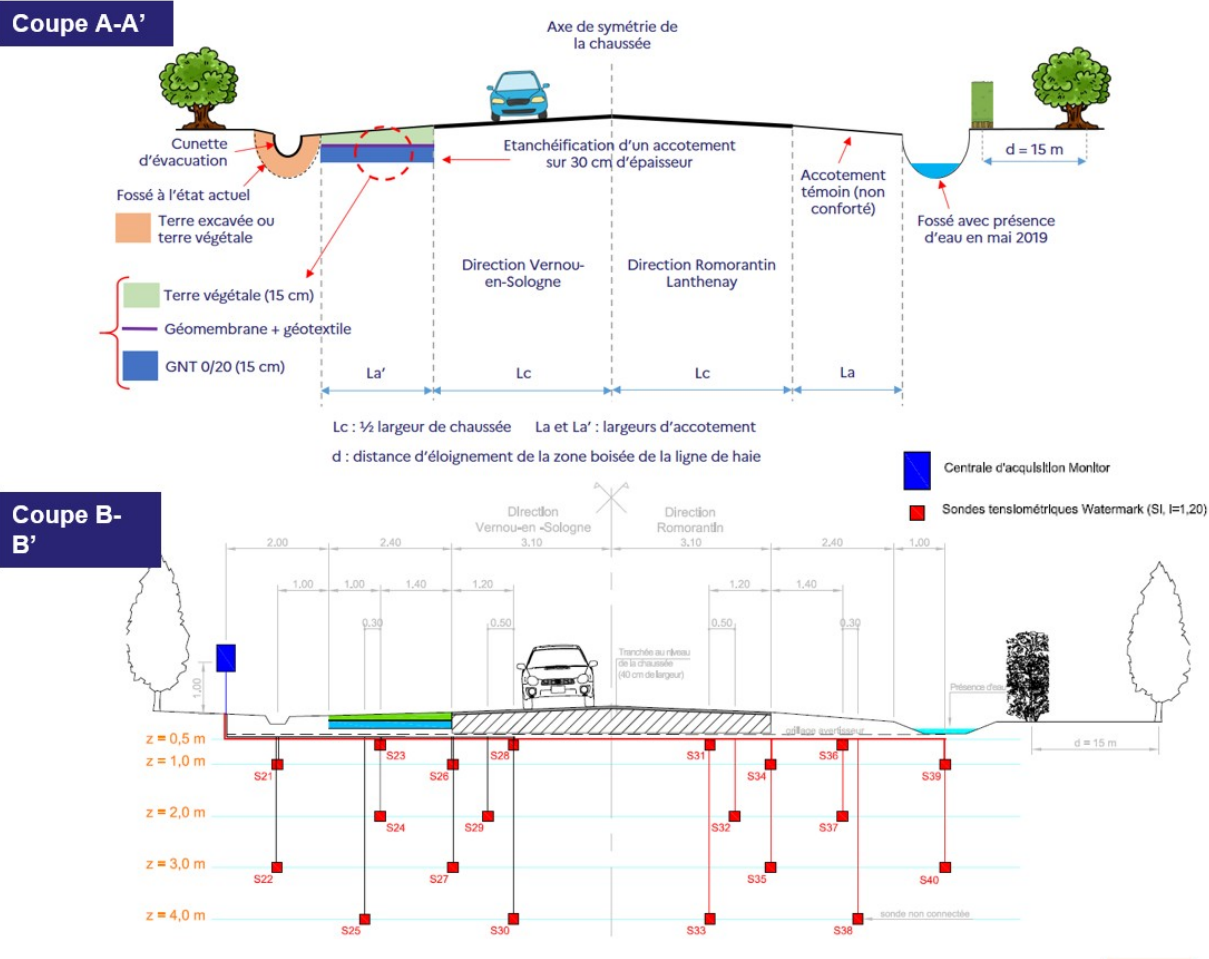
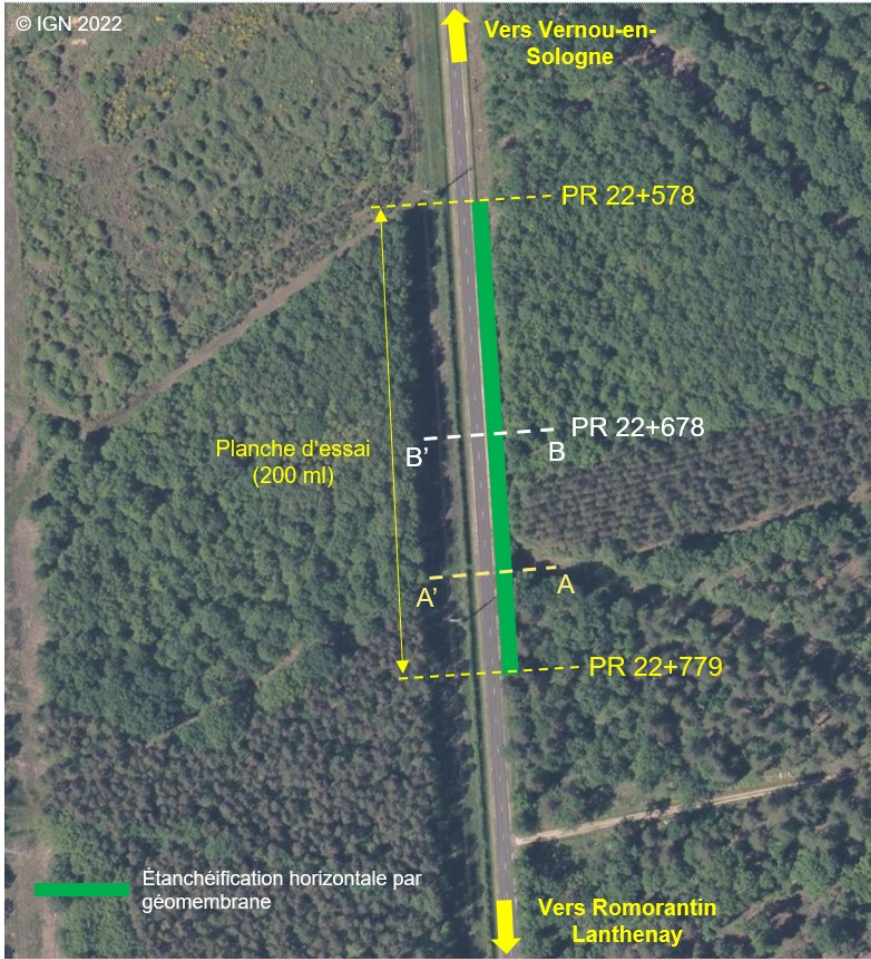
Travaux de mise en œuvre (entre juin et septembre 2018)



3. SOLUTIONS D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE



3. SOLUTIONS D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE



3. SOLUTIONS D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Bilan 2022

Suivi RD13 (sens vers Vernou-en-Sologne)



Suivi RD13 (sens vers Romorantin)

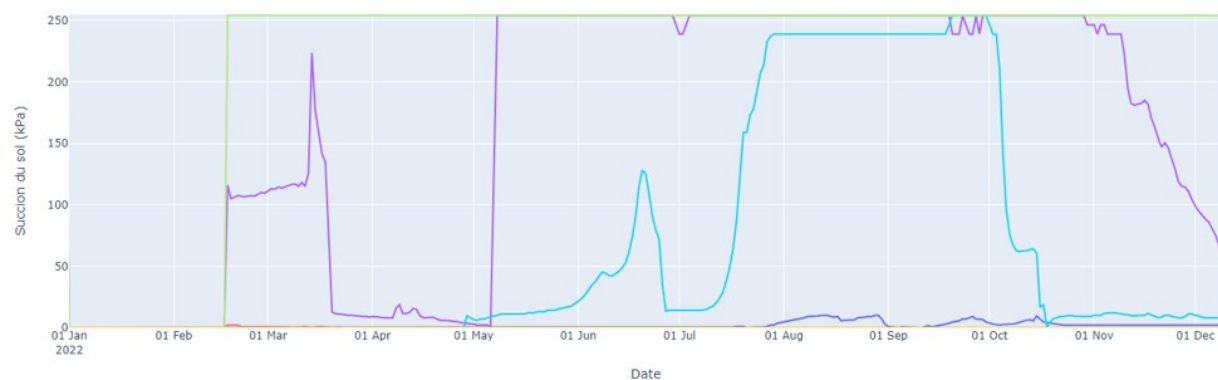
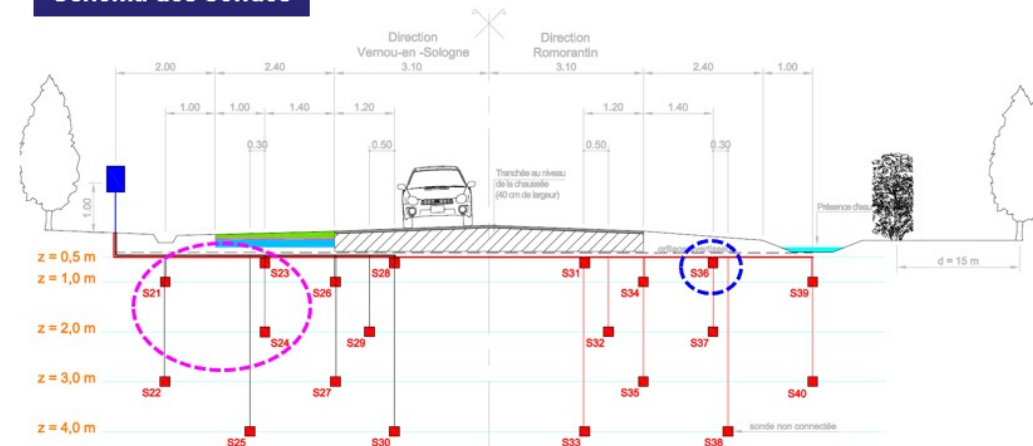


Schéma des sondes



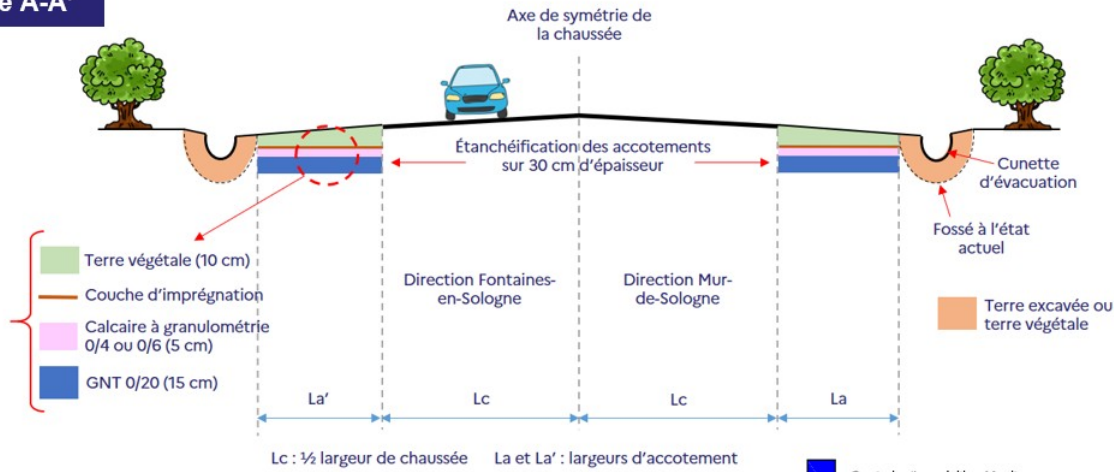
Suivi RD13 : Comparaison côté conforté (S23) vs côté non conforté (S36)



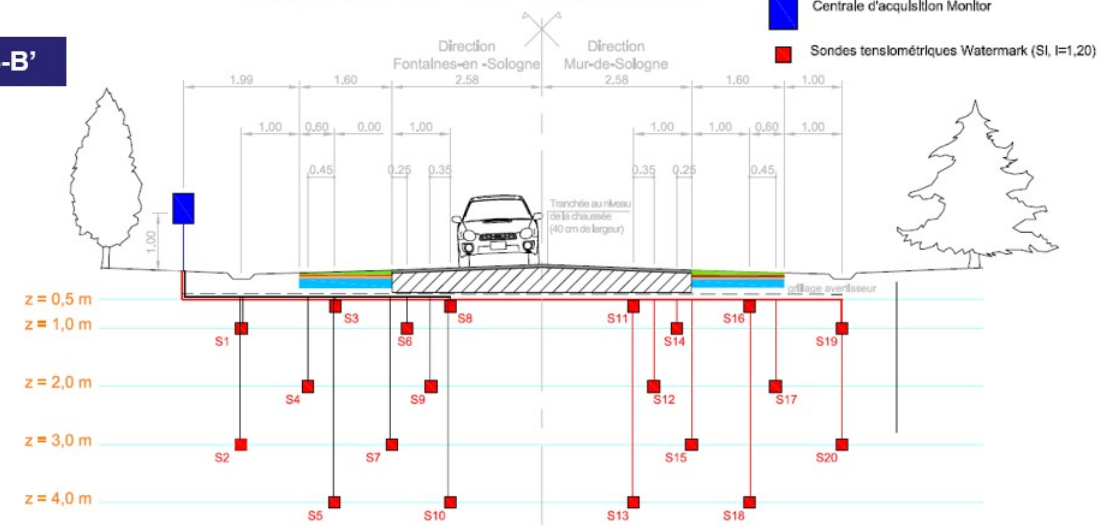
3. SOLUTIONS D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE



Coupe A-A'



Coupe B-B'



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

3. SOLUTIONS D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Bilan 2022

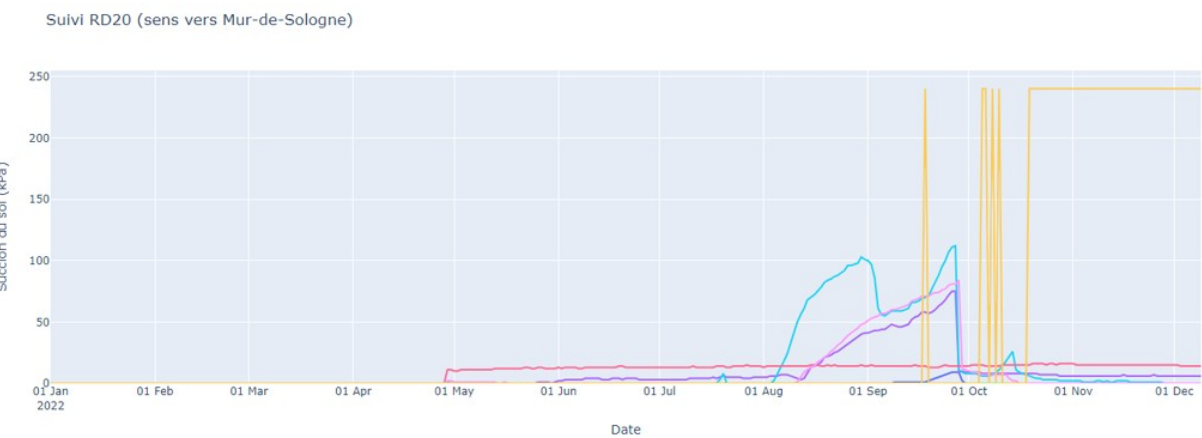
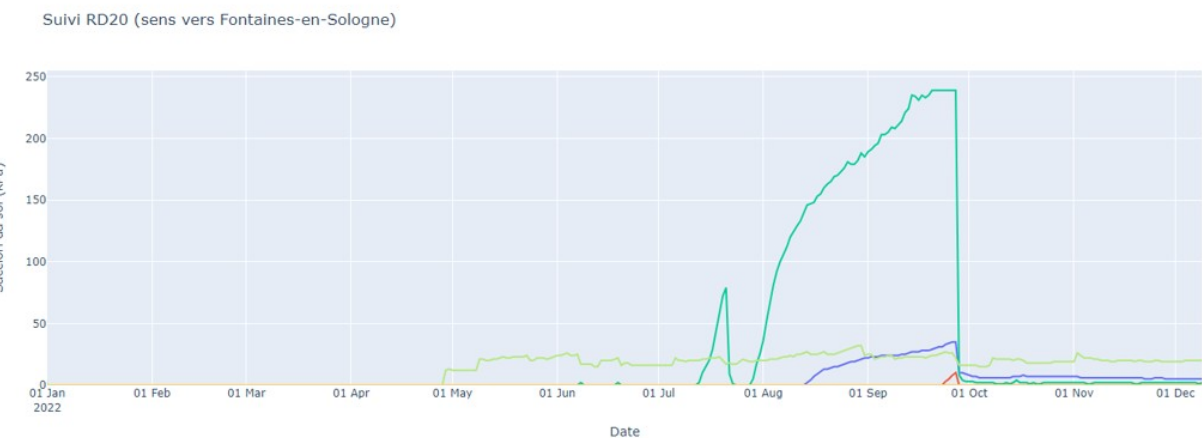
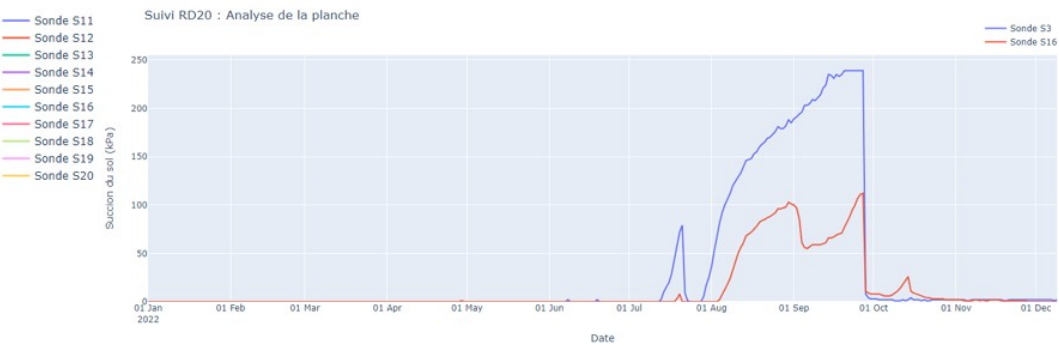
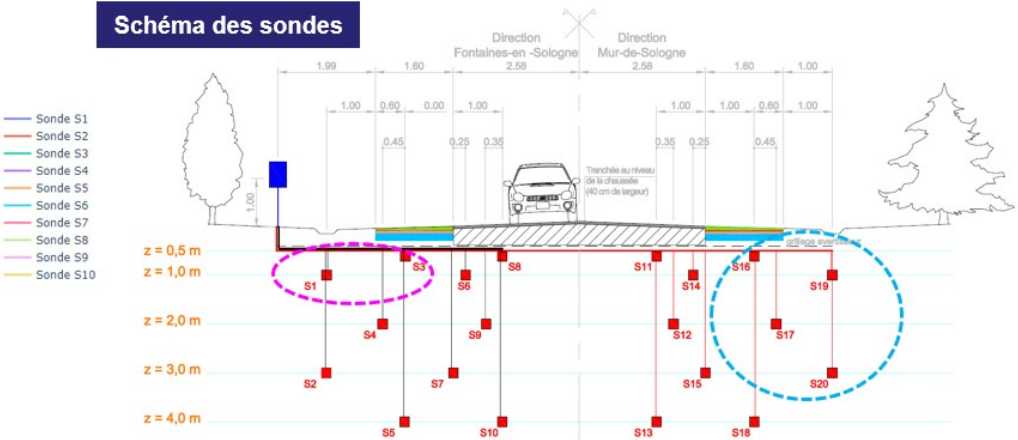


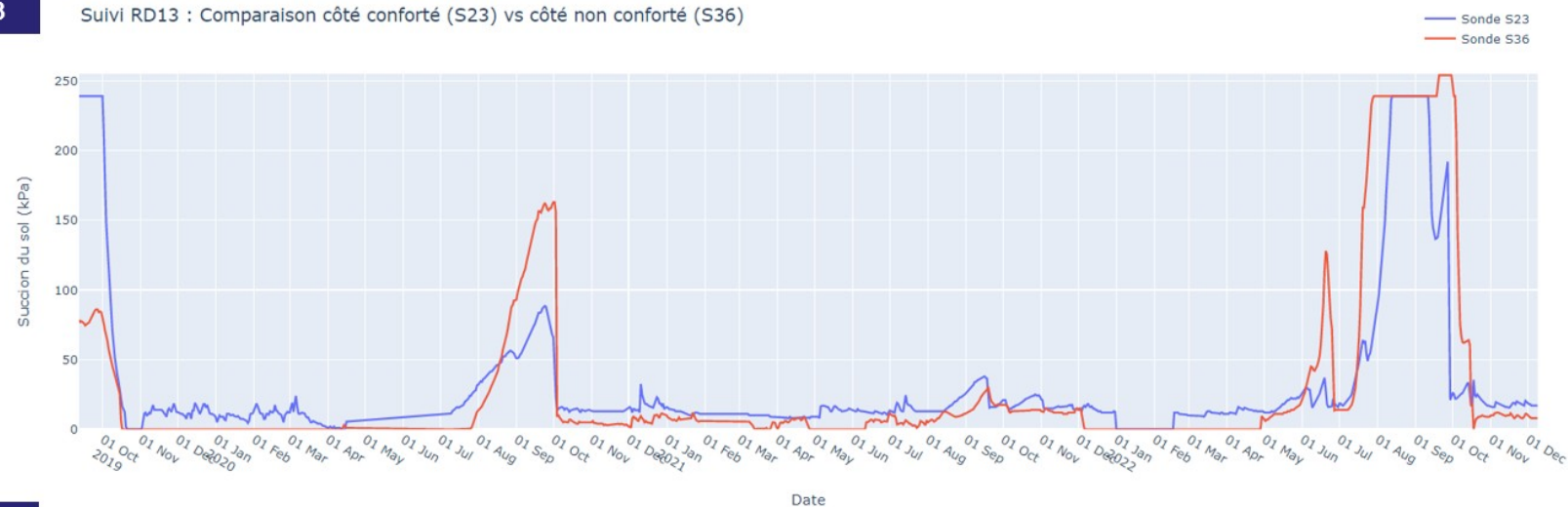
Schéma des sondes



3. SOLUTIONS D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

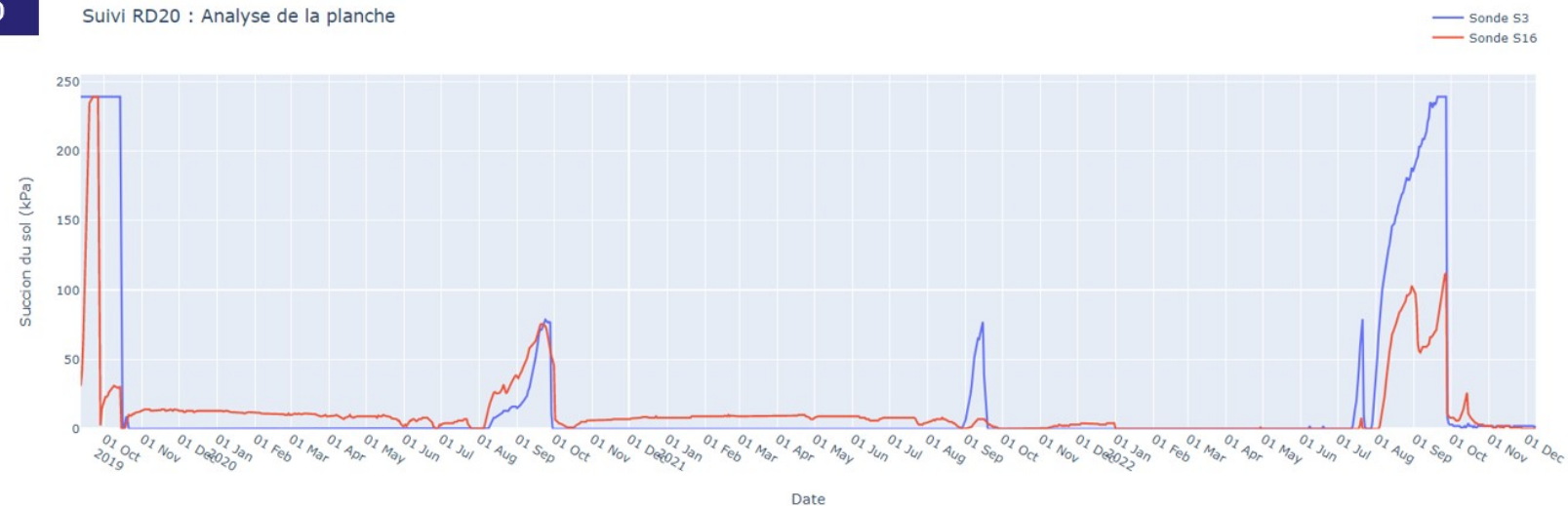
RD13

Suivi RD13 : Comparaison côté conforté (S23) vs côté non conforté (S36)



RD20

Suivi RD20 : Analyse de la planche



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

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Financé par



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

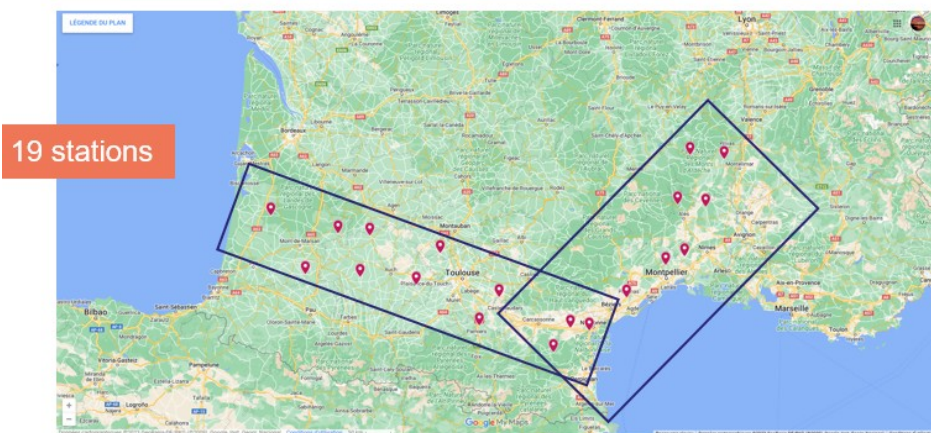
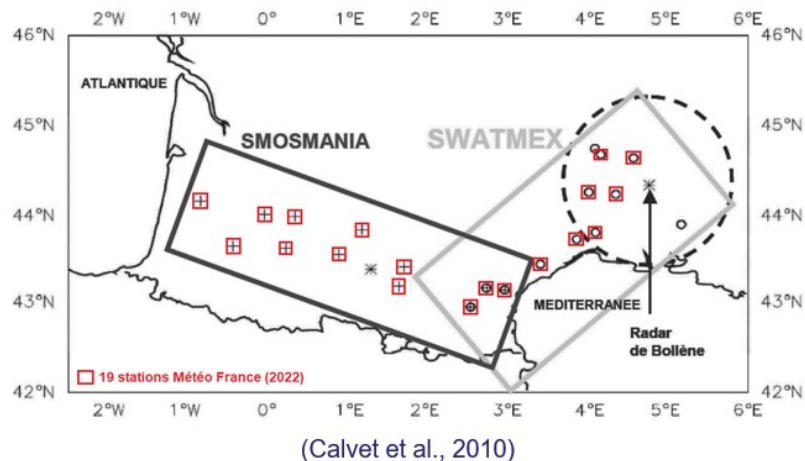
Liberté
Égalité
Fraternité



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

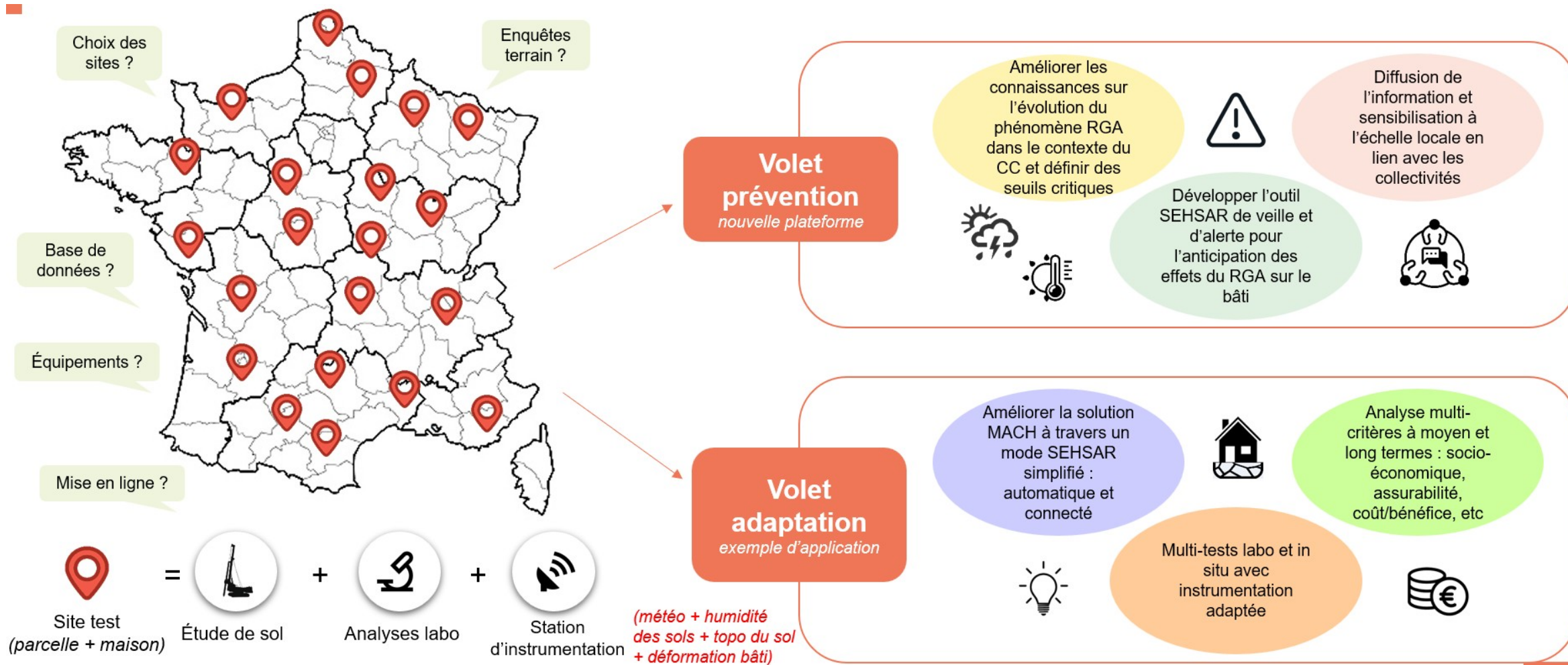


Météorologie

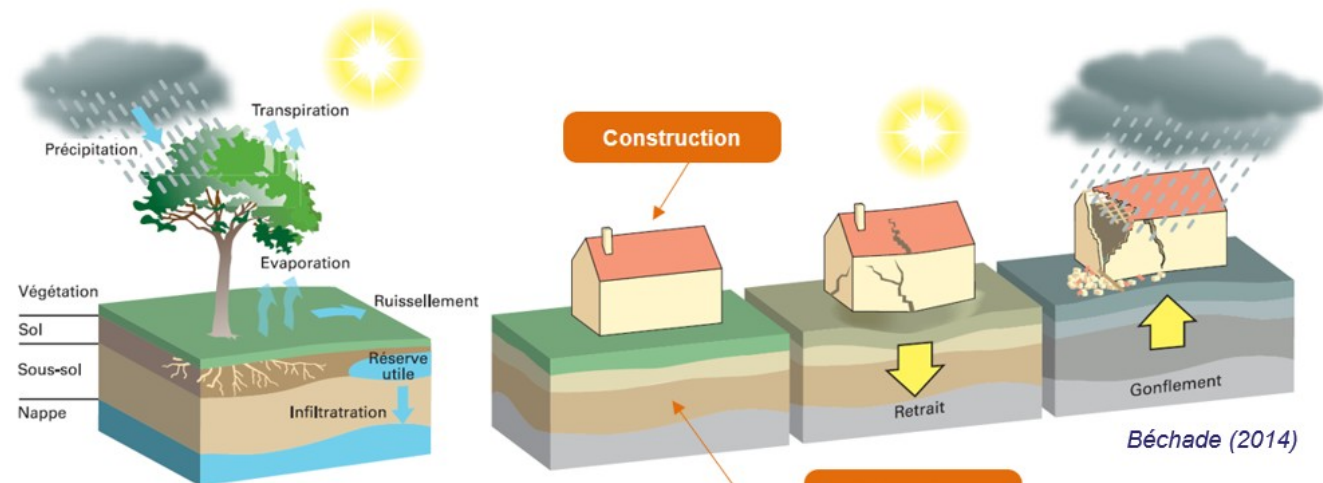
Applications

- 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

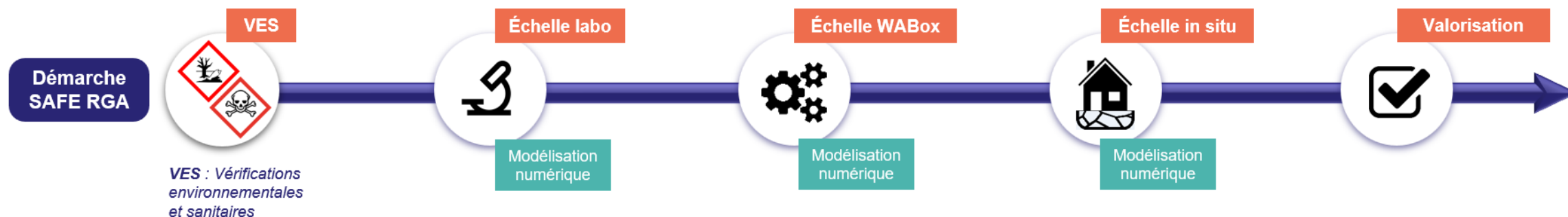
Stabilisation physico-chimique du sol argileux par ajout de sable et de sel

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)

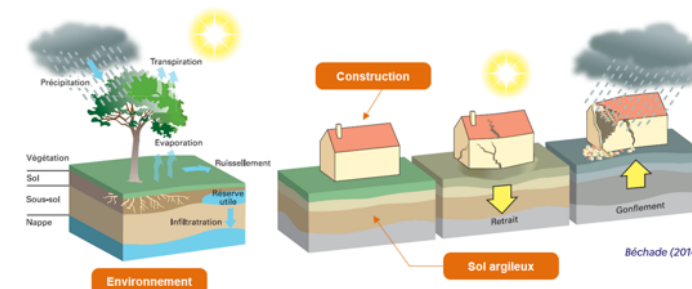


Verrous scientifiques :

- 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.





Merci de votre attention

Contact : lamine.ighil-ameur@cerema.fr