

Session 4

Résilience des Infrastructures face aux changements climatiques

Les solutions de remédiation pour limiter les vulnérabilités des routes affectées par la sécheresse dans le contexte du changement climatique

Lamine IGHIL AMEUR
Cerema

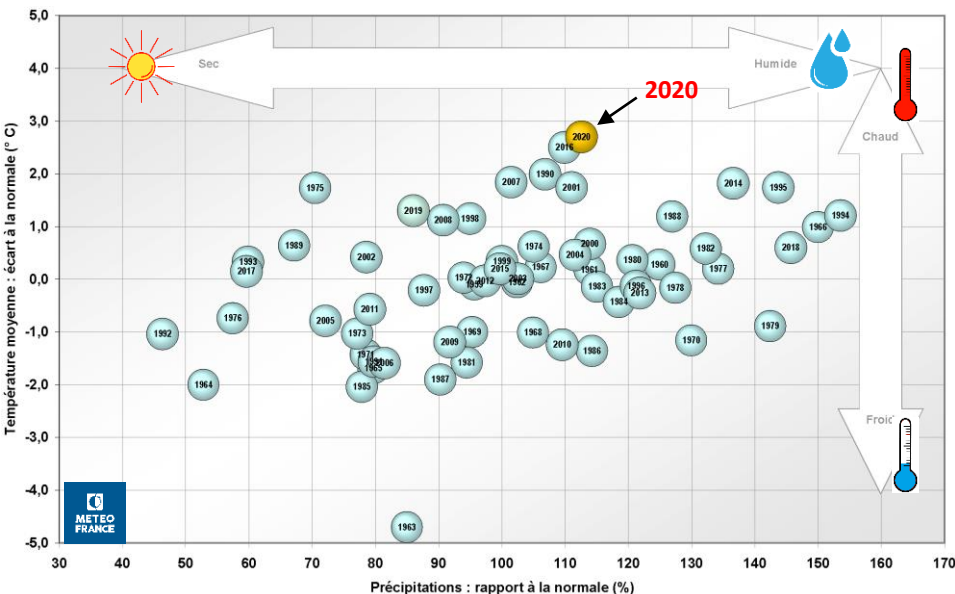
Plan de présentation

1. Introduction
2. Impacts des sécheresses sur les routes
3. Nouvelles solutions de remédiation – ORSS
4. Outils de suivi des expérimentations in situ
5. REx sur les solutions testées
6. Conclusions et perspectives

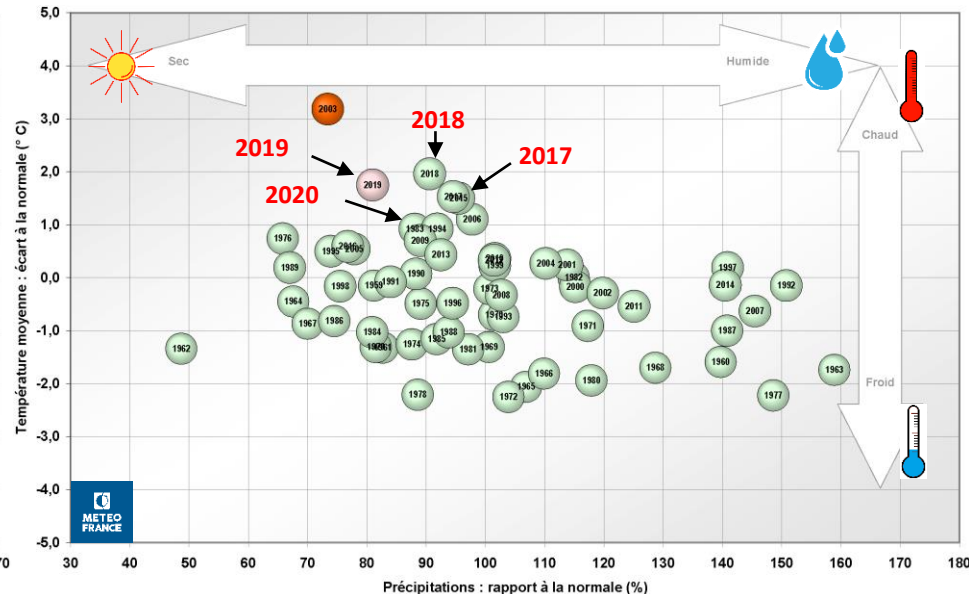


1. Introduction

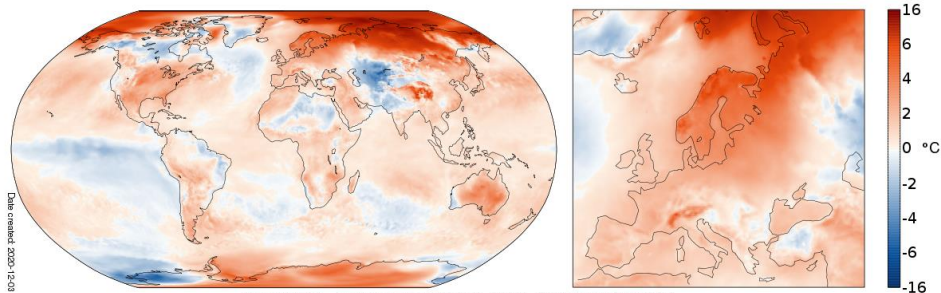
➤ Températures et précipitations en **hiver** de 1959 à 2020



➤ Températures et précipitations en **été** de 1959 à 2020



Surface air temperature anomaly for November 2020



(Data: ERA5. Reference period: 1981-2010. Credit: C3S/ECMWF)

Mois de novembre 2020 le plus chaud jamais enregistré (Copernicus)

Dans le monde : + 0,77 °C au-dessus de la température moyenne de la période 1981-2010

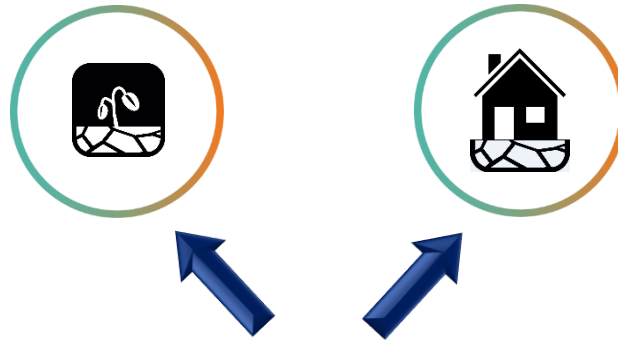
En Europe : une moyenne de 1,9 °C au-dessus de la période de référence

En France : en moyenne 1,8 °C de plus que la normale

1. Introduction

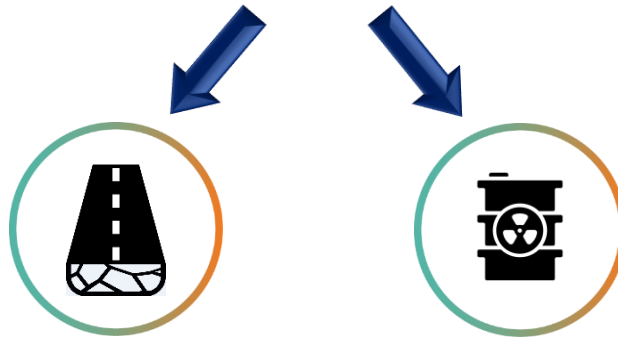


➤ Environnement

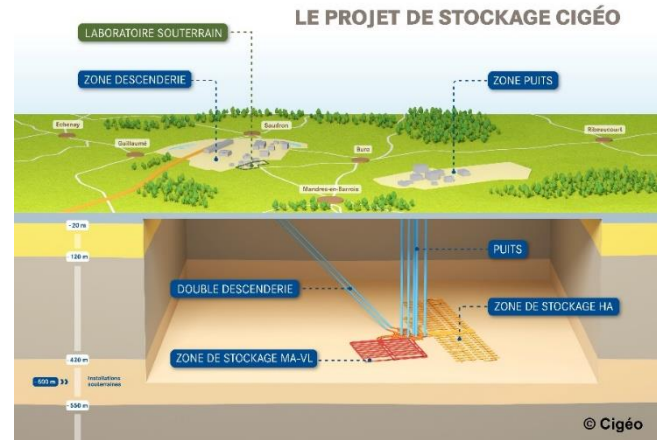


➤ Maisons individuelles

**Phénomène de fissuration
par dessiccation**

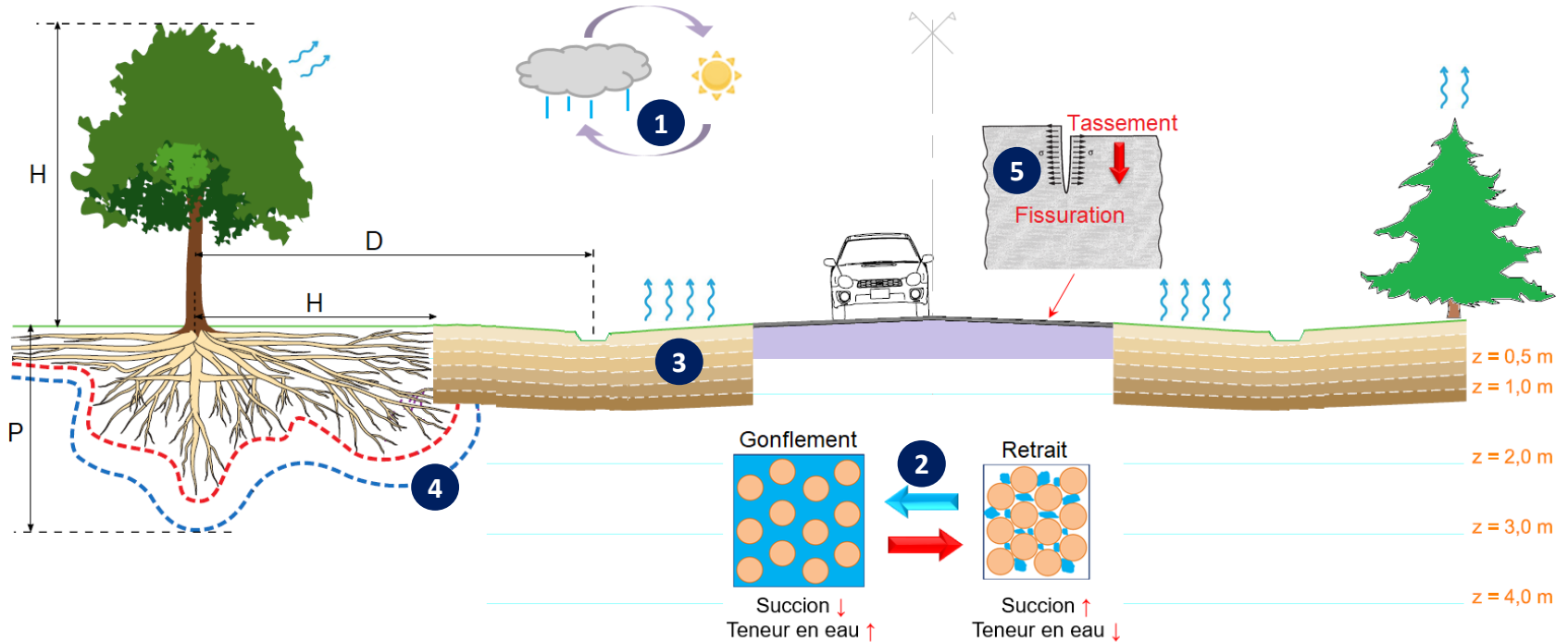


➤ Routes



➤ Stockage de déchets radioactifs

2. Impacts des sécheresses sur les routes



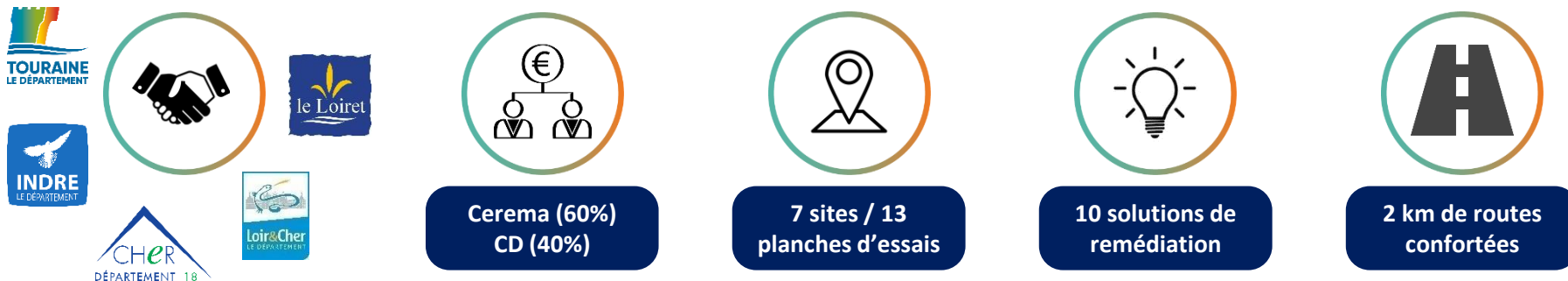
- 1 Cycles de séchage-humidification (sécheresses de plus en plus accentuées par les effets du changement climatique)
- 2 Phénomène du retrait-gonflement des sols argileux (argiles très plastiques A3/A4)
- 3 Limites de séchage successives durant un épisode de sécheresse au niveau du sol sous accotements (Béchade, 2014)
- 4 Augmentation de la succion générée dans la zone d'influence des racines de la végétation (Béchade, 2014)
- 5 Fissuration longitudinale et tassement différentiel proches des bords de chaussées



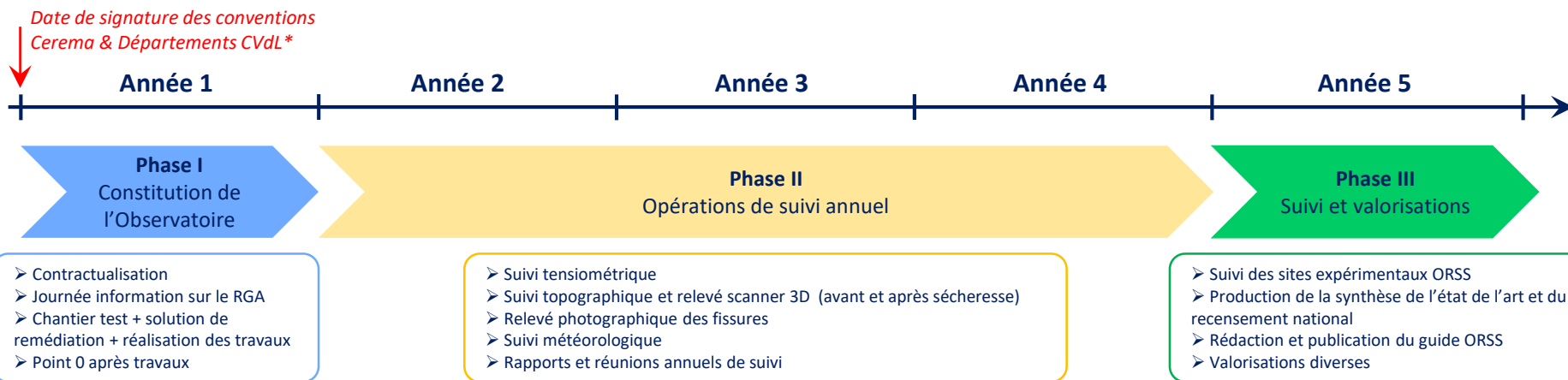
3. Nouvelles solutions de remédiation – ORSS

L'Observatoire des Routes Sinistrées par la Sécheresse, c'est à ce jour :

Pour en savoir plus : [cliquer ici](#)



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. Nouvelles solutions de remédiation – ORSS

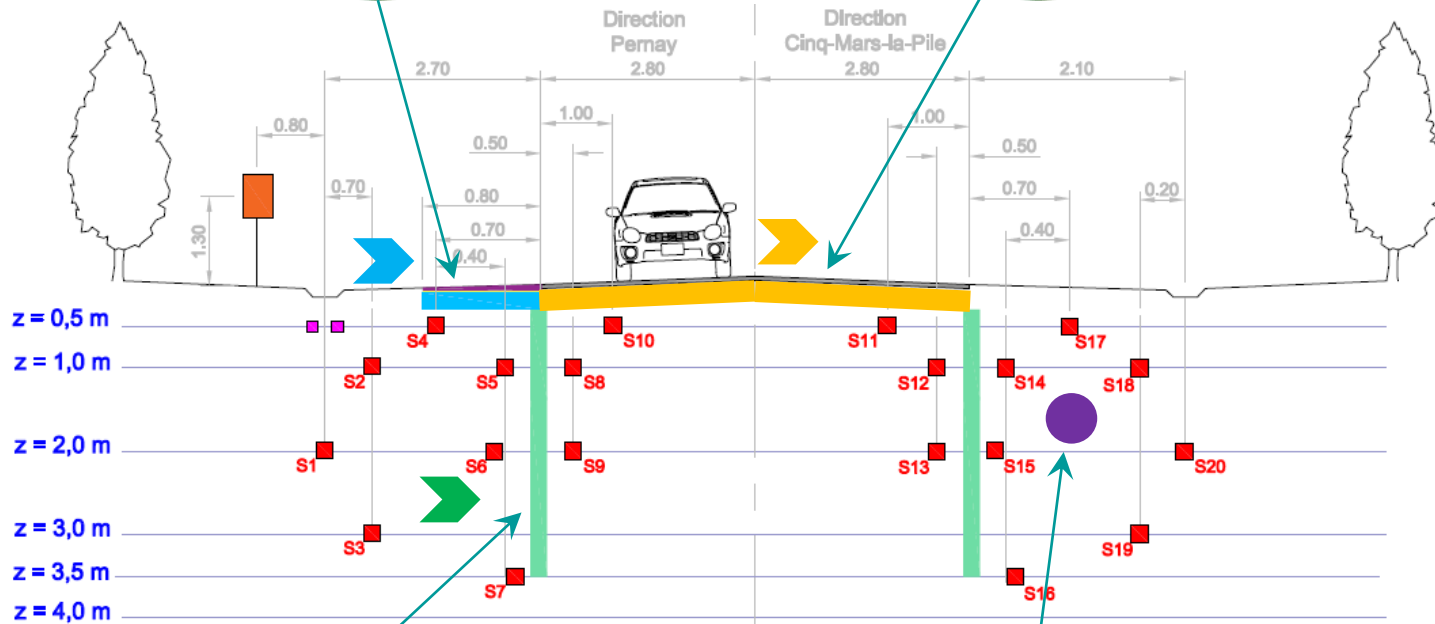
Agir sur l'environnement proche (cat. 2)

Cette catégorie de solutions permet de limiter les effets des facteurs aggravants tels que l'évapotranspiration au niveau des accotements et l'influence racinaire de la végétation à proximité de la chaussée



Agir sur la structure de chaussée (cat. 1)

Il s'agit essentiellement de renforcer la structure de corps de chaussée avec par exemple les techniques de géogrilles pour ralentir la propagation des fissures



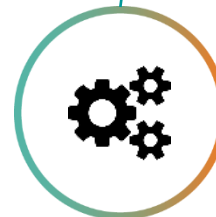
Agir sur le sol argileux (cat. 3)

Il s'agit de traiter le sol en place jusqu'à une profondeur de 4 m pour réduire sa sensibilité au phénomène de RGA et conserver un état hydrique équilibré sous chaussée



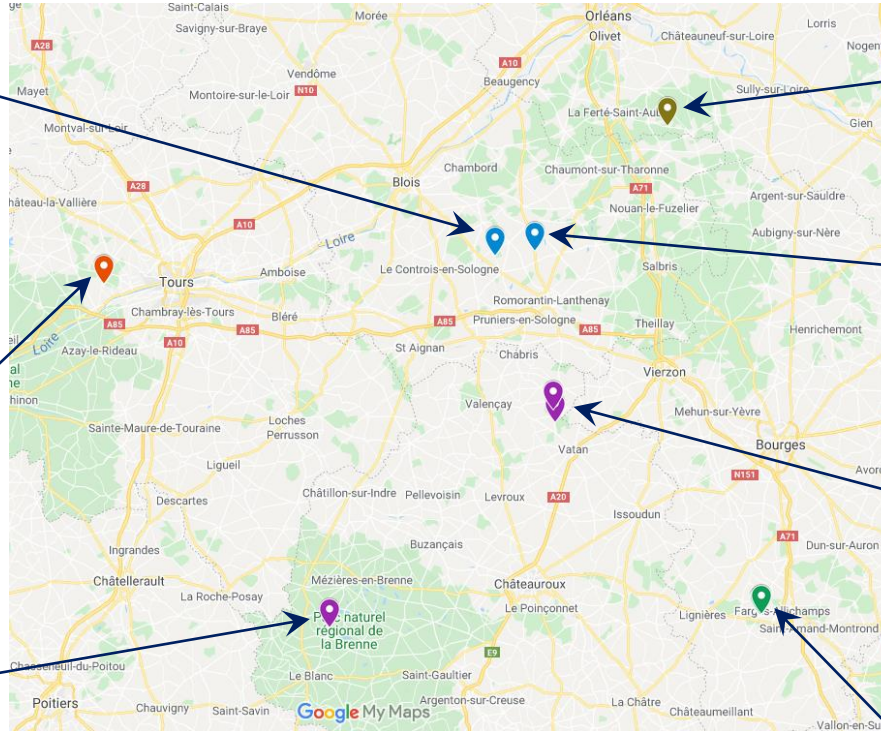
Instrumentation tensiométrique

Afin d'évaluer l'apport de chaque solution de remédiation, une instrumentation tensiométrique est mise en place via l'implantation de sondes de succion de 0,5 à 3,5 m de profondeur permettant un suivi en continu et à distance



3. Nouvelles solutions de remédiation – ORSS

Pour accéder à la cartographie en ligne du projet ORSS : [cliquer ici](#)



Chantier RD20

- 1 Planche (300 ml)
- Étanchéification horizontale des accotements par enduit de surface (59 €HT/m²)
- Travaux 09/2019



Chantier RD48

- 3 Planches (400 ml)
- Injection de résine + étanchéification horizontale des accotements par enduit de surface
- Étanchéification horizontale des accotements par enduit de surface
- Injection de résine (80 €HT/m²)
- Travaux 10/2020



Chantier RD43

- 1 section suivie dans ORSS (1000 ml) incluant :
- 1 planche (200 ml) réparée 10/2017
 - Mise en place d'un easycoll Compomac 0/6



Chantier RD17

- 1 Planche (300 ml)
- Géogrille triaxiale (106 €HT/m²)
- Travaux 11/2018



Chantier RD13

- 1 Planche (200 ml)
- Étanchéification horizontale des accotements par géomembrane (75 €HT/m²)
- Travaux 09/2019



Chantier RD25

- 1 zone déboisée suivie
- 1 Planche (420 ml) expérimentée 10/2011
- Confinement latéral par rideaux en béton



Chantier RD3

- 4 Planches (750 ml)
- Recyclovia + Profilovia (41 €HT/m²)
- Recyclovia + géogrille + Profilovia (50 €HT/m²)
- Confinement latéral par encapsulage (100 €HT/m²)
- Travaux 06/2018



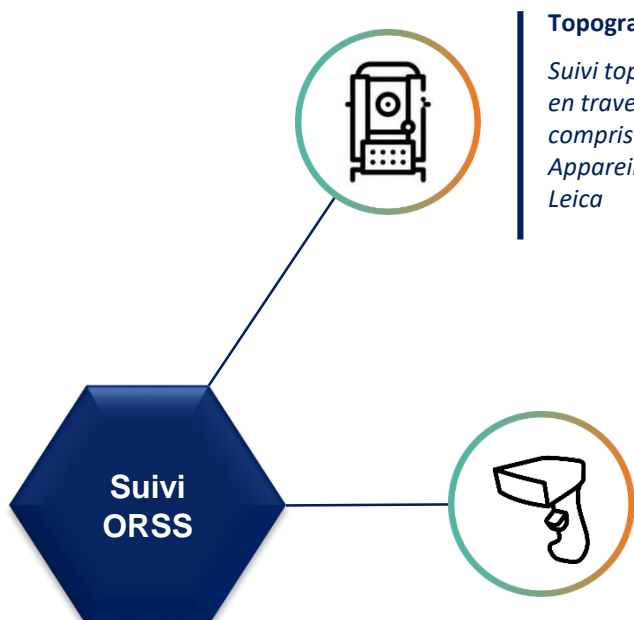
Catégorie 1 : solutions qui traitent les conséquences du RGA (géogrilles, réparations classiques de la structure de chaussée, etc).

Catégorie 2 : solutions qui traitent les facteurs aggravant le RGA (confinement latéral par encapsulage, étanchéification horizontale, déboisement, etc).

Catégorie 3 : solutions qui traitent les causes du RGA (injection de résine, injection de solution chimique, etc).

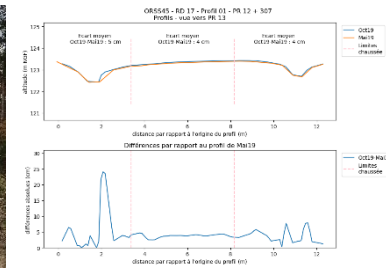
Instrumentation tensiométrique

4. Outils de suivi des expérimentations in situ



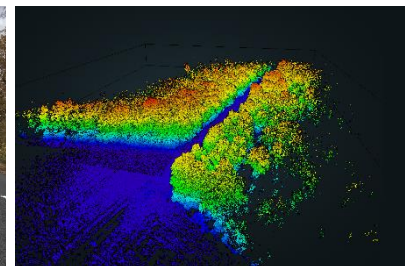
Topographie

Suivi topographique des profils en travers de la chaussée y compris les accotements
Appareils : Trimble S6 et GPS Leica



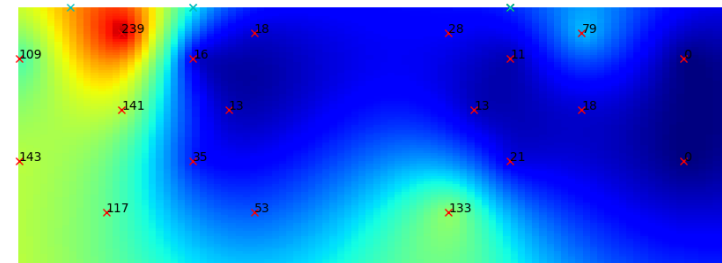
Scanner dynamique 3D

Suivi de l'environnement proche de la route en réalisant un relevé dynamique 3D en environnement complexe
Appareil : GEOSLAM Zeb-Horizon



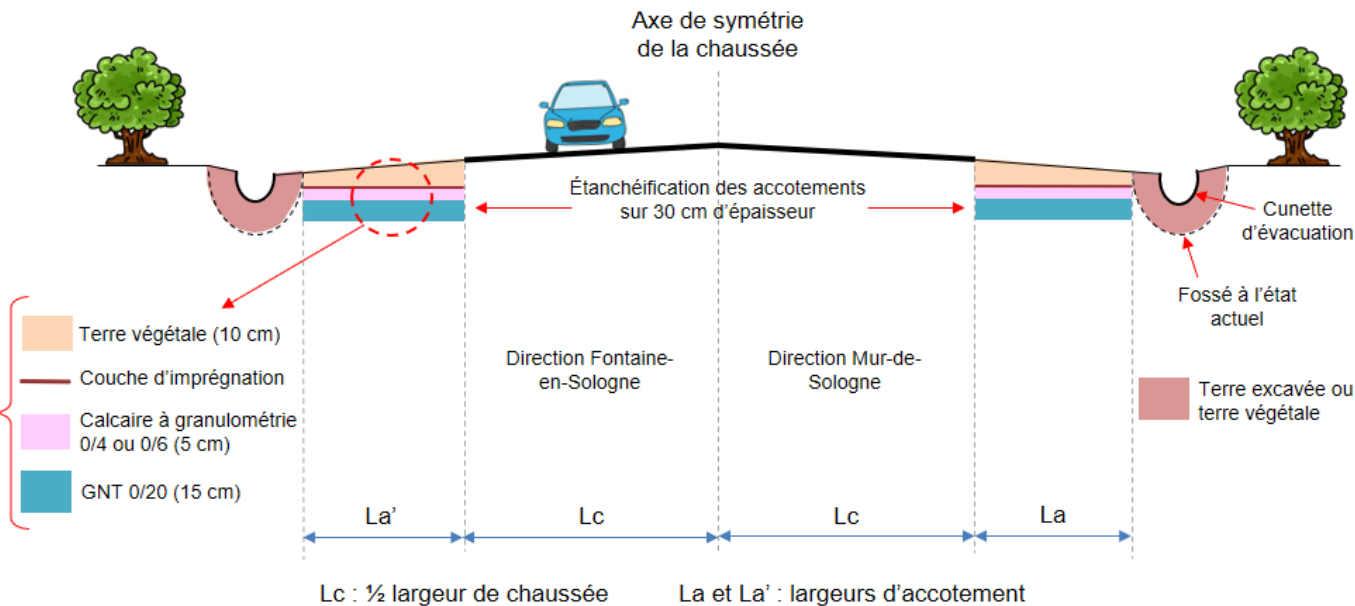
Tensiométrie du sol

Suivi de la cartographie de l'état hydrique du sol via la mesure continue de la succion
Appareils : sondes Watermark® et Monitor®



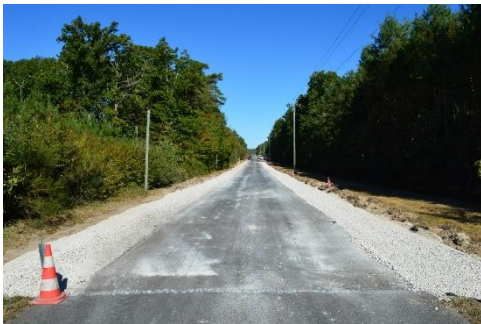
5. REx sur les solutions testées

➔ Solution de remédiation testée (cat. 2) : **étanchéification horizontale par enduit de surface (ORSS 41 - RD20)**



Adresse	47.444242 , 1.584123
Ville	Mur-de-Sologne
Département	Loir-et-Cher
Code postal	41230
Latitude	47.444242
Longitude	1.584123
Site / Section	ORSS 41 - RD 20
PR début à PR fin	6+348 à 6+648
Solution de remédiation	Étanchéification horizontale (par enduit de surface)
Catégorie	Cat. 2
Zones traitées	Deux accotements
Date de début des trava...	05/09/2019
Instrumentation tensio...	Oui, sol sous chaussée et accotements

Coût des travaux : 59 €HT/m²



Travaux 05/09/2019



Travaux 06/09/2019



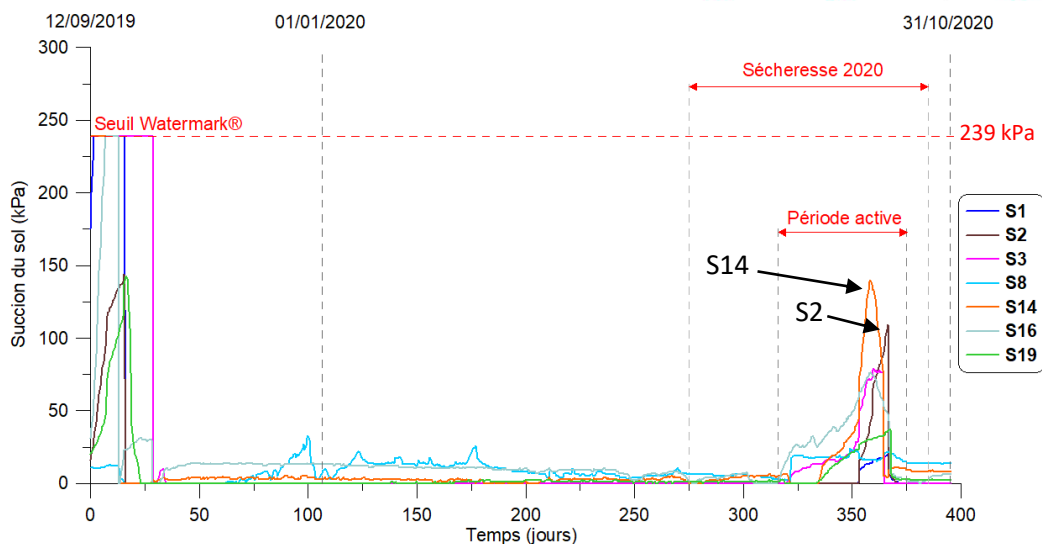
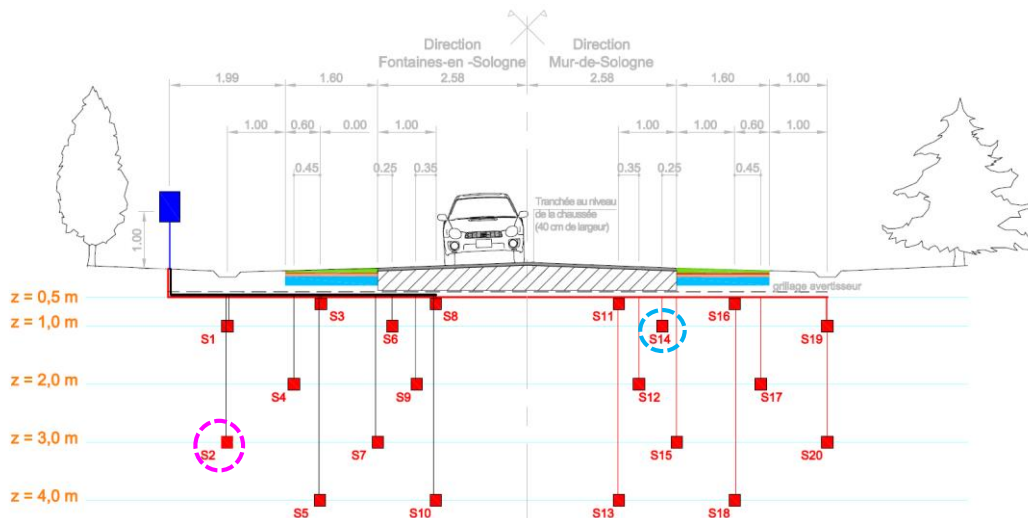
Post-travaux 25/09/2019



Suivi 18/11/2020

5. REx sur les solutions testées

➔ Solution de remédiation testée (cat. 2) : **étanchéification horizontale par enduit de surface** (ORSS 41 - RD20)



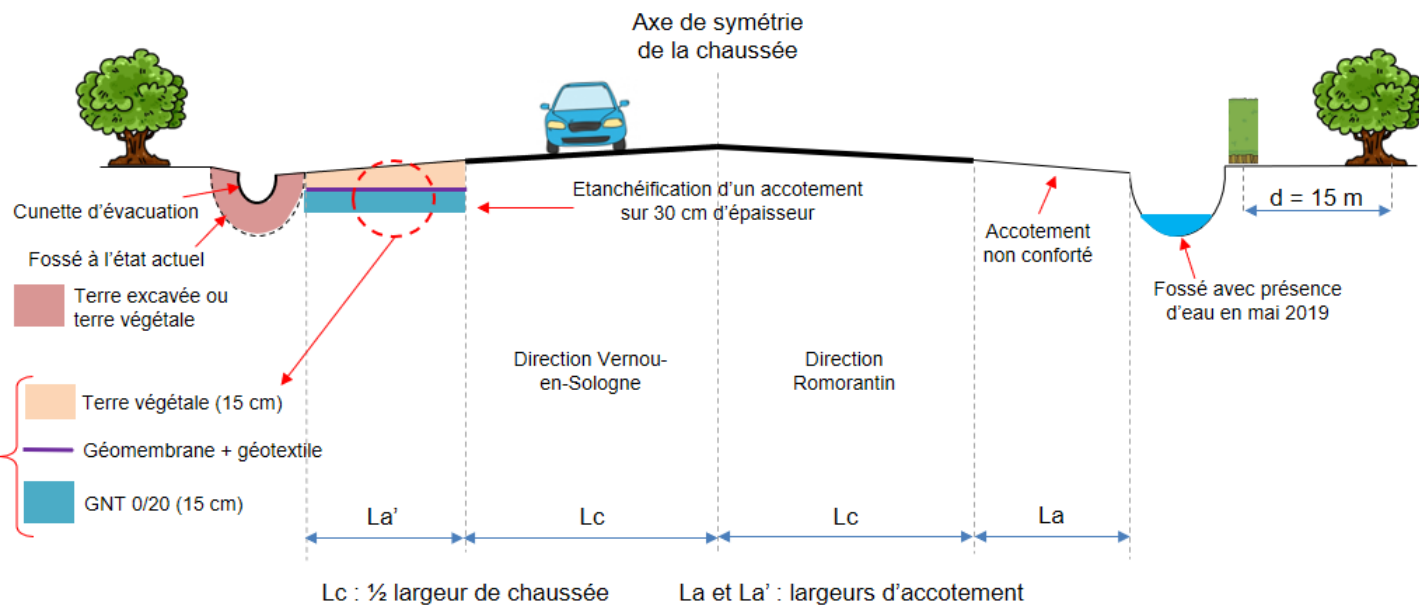
Sondes sollicitées	Côté de chaussée	Période active en 2020	Max succion (kPa)
S1	Étanchéifié / FS	11/09 au 05/10	20
S2	Étanchéifié / FS	16/09 au 05/10	109
S3	Étanchéifié / FS	09/08 au 29/09	79
S8	Étanchéifié / FS	11/08 au 09/10	24
S14	Étanchéifié / MS	24/08 au 01/10	140
S16	Étanchéifié / MS	05/08 au 10/10	76
S19	Étanchéifié / MS	23/08 au 05/10	37

FS : direction Fontaines-en-Sologne | MS : direction Mur-de-Sologne

Sécheresse 2020 : du 25/06 au 20/10/2020

5. REx sur les solutions testées

➔ Solution de remédiation testée (cat. 2) : **étanchéification horizontale par géomembrane (ORSS 41 – RD13)**



Adresse	47.454689 , 1.698289
Ville	Veilleins
Département	Loir-et-Cher
Code postal	41230
Latitude	47.454689
Longitude	1.698289
Site / Section	ORSS 41 - RD 13
PR début à PR fin	22+578 à 22+779
Solution de remédiation	Étanchéification horizontale (par géomembrane PROTECTERRE PF 1500)
Catégorie	Cat. 2
Zones traitées	Un accotement
Date de début des trava...	05/09/2019
Instrumentation tensio...	Oui, sol sous chaussée et accotements

Coût des travaux : 75 €HT/m²



Travaux 05/09/2019



Travaux 06/09/2019



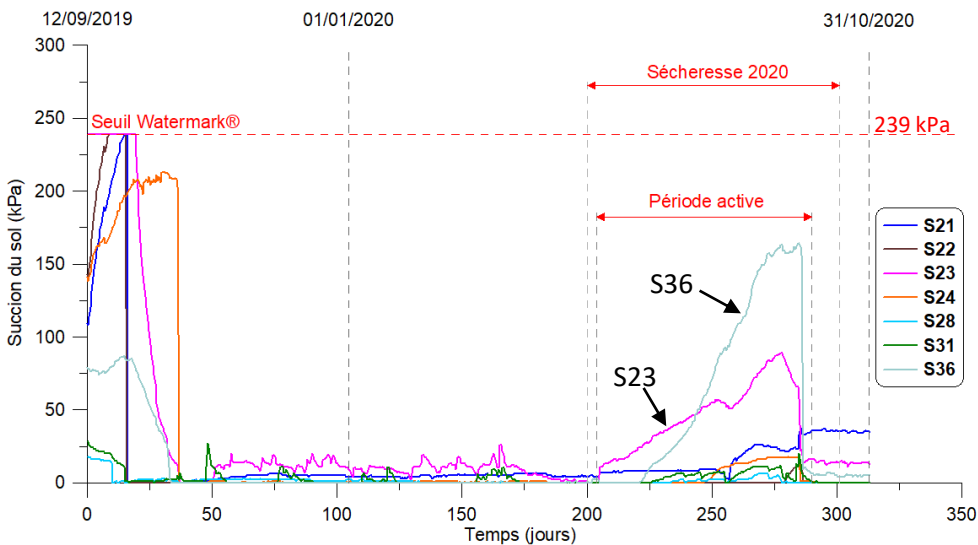
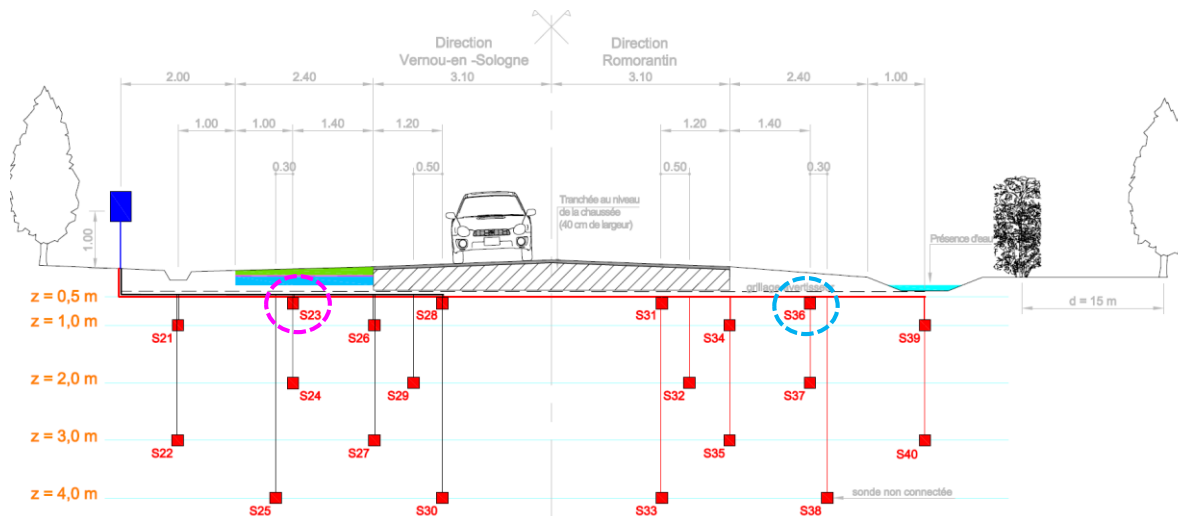
Post-travaux 25/09/2019



Suivi 17/11/2020

5. REx sur les solutions testées

➔ Solution de remédiation testée (cat. 2) : **étanchéification horizontale par géomembrane (ORSS 41 – RD13)**



Sondes sollicitées	Côté de chaussée	Période active en 2020	Max succion (kPa)
S21	Étanchéifié	02/09 au 31/10	38
S22	Étanchéifié	26/09 au 04/10	13
S23	Étanchéifié	10/07 au 02/10	89
S24	Étanchéifié	22/08 au 07/10	18
S28	Étanchéifié	08/08 au 24/09	6
S31	Non étanchéifié	31/07 au 10/10	20
S36	Non étanchéifié	26/07 au 08/10	164

Sécheresse 2020 : du 25/06 au 20/10/2020

6. Conclusions et perspectives

- Les sécheresses climatiques successives subies ces 5 dernières années ont considérablement contribué à la dégradation des ouvrages en surface (routes, maisons individuelles, etc).
- Ces ouvrages, construits sur des sols sensibles au RGA, sont affectés par des fissurations de dessiccation accentuées par les facteurs aggravants de l'environnement proche.
- Dans le contexte du changement climatique, les solutions de confortement classiques ne sont pas adaptées en termes de récurrence et d'intensité des événements climatiques extrêmes.
- La démarche ORSS vise à développer les nouvelles solutions de remédiation économiques et durables pour limiter les vulnérabilités des routes face aux effets du changement climatique et ainsi réduire les coûts des dommages pour les gestionnaires.
- En parallèle à ORSS, l'intérêt à l'échelle nationale est de recenser les sites sinistrés par la sécheresse et les solutions de remédiation expérimentées par les gestionnaires pour alimenter la base de données [RGA – Routes].
- A long terme, l'objectif de l'Observatoire est de produire un *Guide des nouvelles solutions de remédiation pour conforter les routes sinistrées par la sécheresse*.

Merci de votre attention

Lamine IGHIL AMEUR 
Cerema
lamine.ighil-ameur@cerema.fr