

Réunion publique entente Sud Cher

Invitation des communes d'Azay sur Cher, Larçay et Véretz

Phénomène du retrait-gonflement des argiles et confortement des habitations vis-à-vis de la sécheresse

Lamine IGHIL AMEUR
Cerema Normandie-Centre



- 1 Présentation du Cerema
- 2 Phénomène du RGA : définitions
- 3 Recherche de nouvelles solutions de confortement
- 4 Solution MACH : principe et expérimentation
- 5 Bilan des opérations de suivi MACH
- 6 Conclusions et perspectives

1. Présentation du Cerema

1- Présentation du Cerema

- Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

CHIFFRES CLÉS

2600

AGENTS À VOTRE SERVICE

240 M€

DE BUDGET DONT 40 M€ DE RESSOURCES PROPRES

23

SITES RÉPARTIS SUR LE TERRITOIRE NATIONAL ET ULTRAMARIN

9

ÉQUIPES DE RECHERCHE

40

PROJETS EUROPÉENS EN COURS

2600

PUBLICATIONS ET DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE DANS LA BOUTIQUE EN LIGNE



www.cerema.fr
[@CeremaCom](https://twitter.com/CeremaCom)
[@Cerema](https://www.facebook.com/Cerema)



Expertise et ingénierie territoriale



Bâtiment



Mobilités



Infrastructures de transport



Environnement et risques



Mer et littoral

UN ANCRAGE TERRITORIAL FORT



NOS ZONES D'ACTION ULTRAMARINES



NOTRE

ADN



Une vision de l'innovation pour les politiques publiques qui prend en compte les usages et les besoins des territoires



Un haut niveau d'expertise, d'ingénierie et de compétences au service de tous les territoires



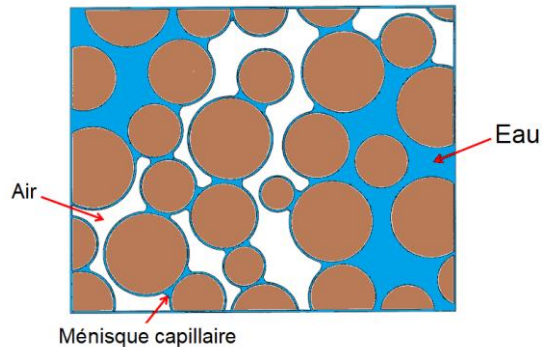
Des savoir-faire et une technicité de pointe au service de la mise au point de méthodologies innovantes

CONSTRUISONS ENSEMBLE L'AVENIR DE NOS TERRITOIRES

2. Phénomène du RGA : définitions

- Quelques notions de la mécanique des sols

➤ Modèle élémentaire d'un sol



Volumes

V _a	Air	W _a =0
V _w	Eau	W _w
V _s	Grains solides	W _s

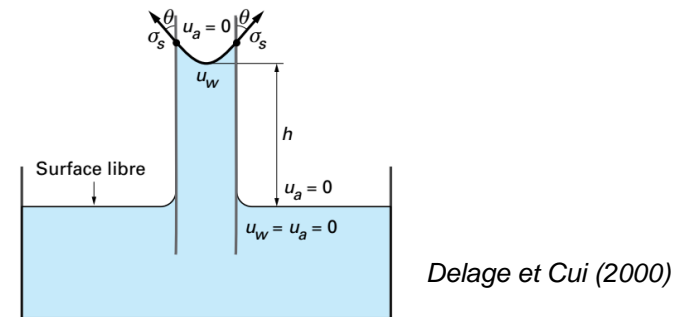
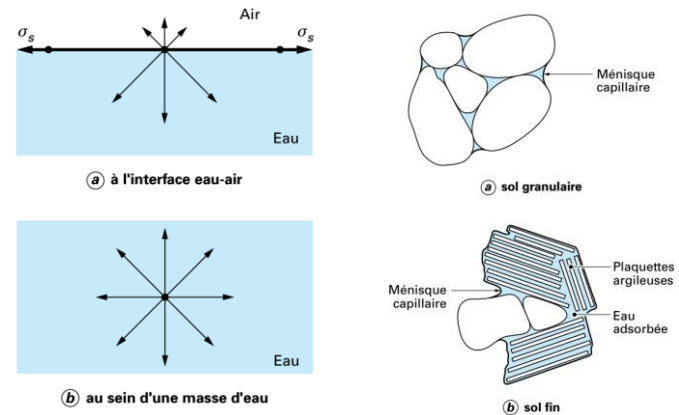
Poids

} Vides

➤ Calcul d'une teneur en eau

$$\omega = \frac{M\omega}{M_s}$$

➤ Capillarité et calcul de la succion



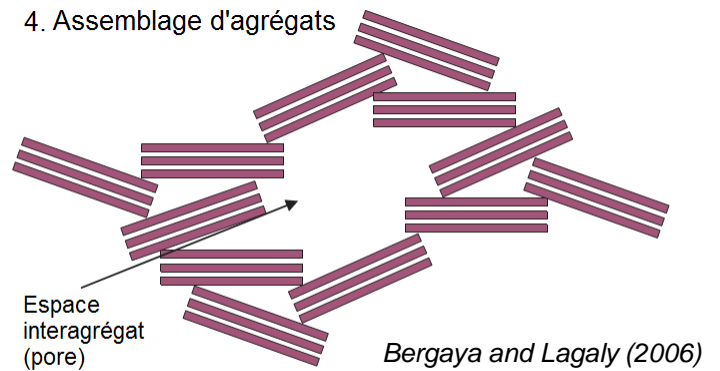
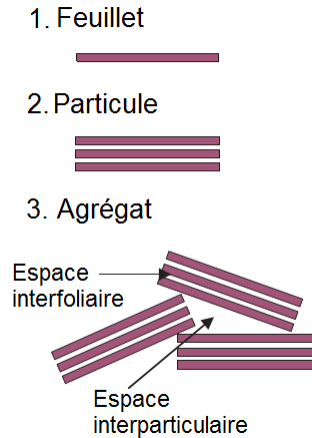
$$u_a - u_w = \frac{2\sigma_s \cos \theta}{r}$$

u_a et u_w respectivement les pressions d'air et d'eau,
 σ_s la tension de surface eau-air,
 θ l'angle de raccordement entre le ménisque et le solide.

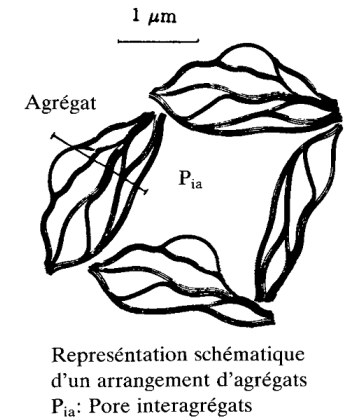
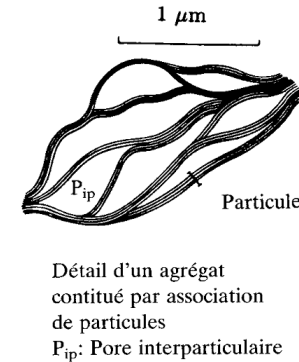
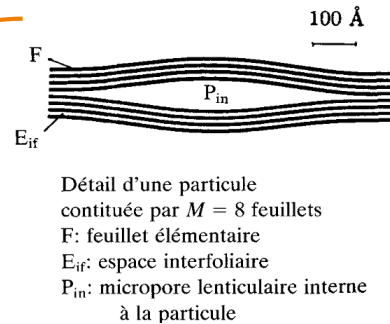
2- Phénomène du RGA : définitions

- Organisation structurale des argiles

- Argile très peu gonflante : Kaolinite



- Argile très gonflante : Smectite



Touret et al. (1990)

2- Phénomène du RGA : définitions

- Comment gonflent les argiles ?

Phénomène physico-chimique entre
particules d'argile et l'eau

➤ Kaolinite

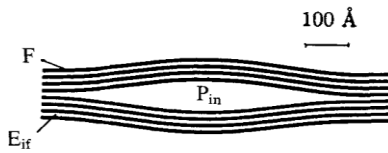
1. Feuillelet



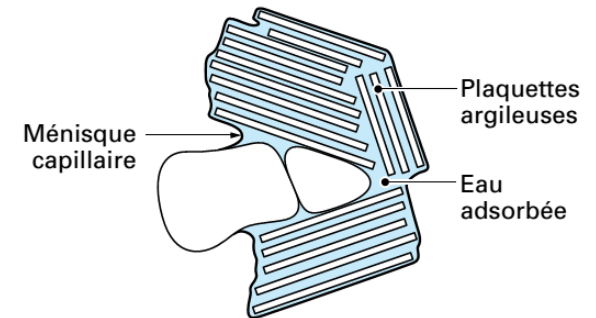
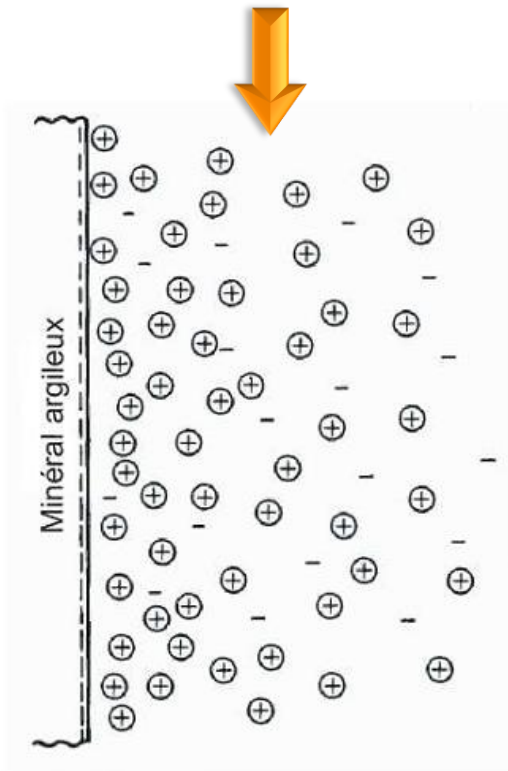
2. Particule



➤ Smectite

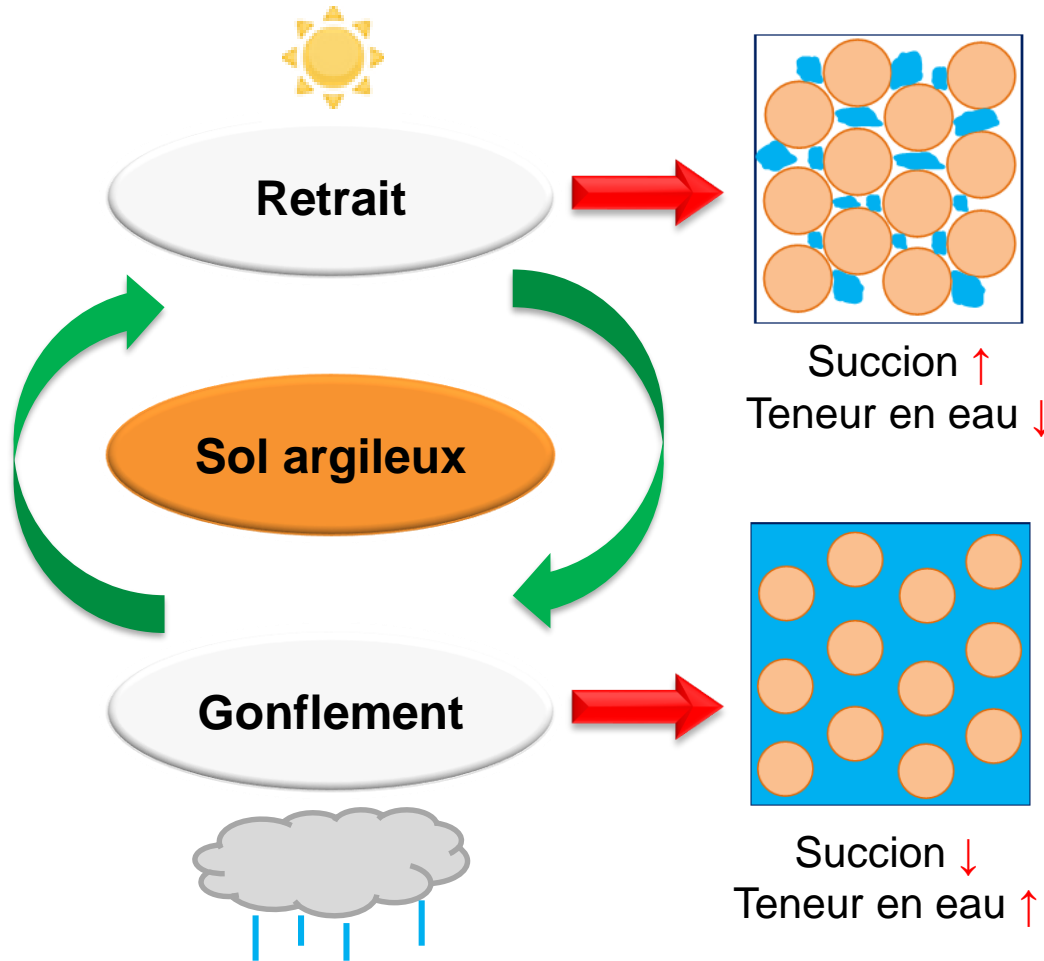


Détail d'une particule
constituée par $M = 8$ feuillets
F: feuillet élémentaire
 E_{if} : espace interfoliaire
 P_{in} : micropore lenticulaire interne
à la particule



2- Phénomène du RGA : définitions

- Principe du phénomène du retrait-gonflement des argiles (RGA)



Comment limiter l'effet du retrait-gonflement des sols argileux sur l'endommagement et la fissuration des ouvrages ?



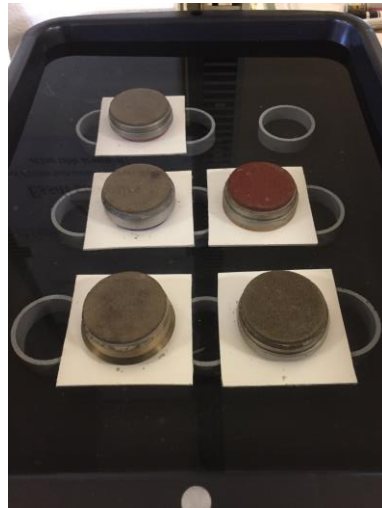
2- Phénomène du RGA : définitions

- Vérification de la pathologie du RGA via des essais en laboratoire

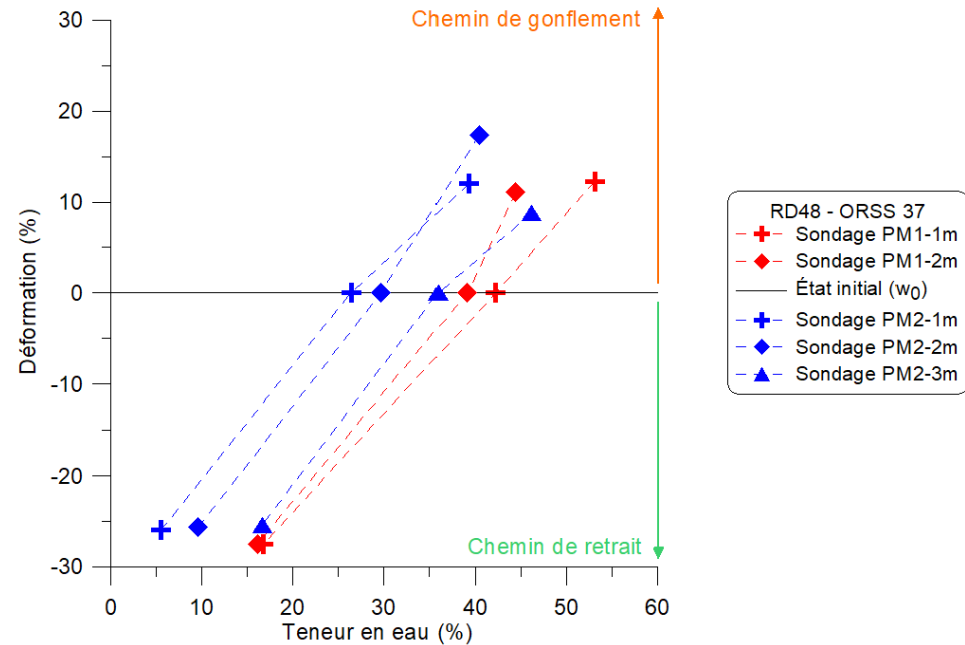
➤ Exemple de résultats des essais retrait-gonflement simplifiés sur les sols ORSS



Essai de retrait simplifié



Essai de gonflement simplifié

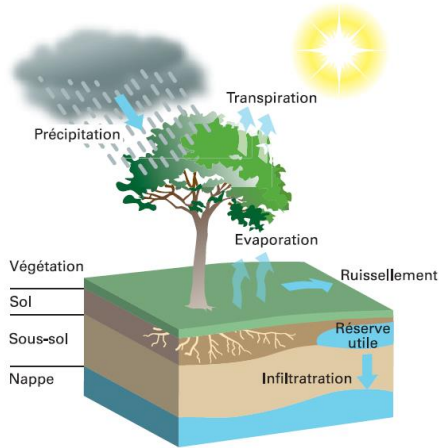


Les résultats montrent une amplitude moyenne de déformation de gonflement à 12% et une amplitude moyenne de déformation de retrait à 26%.

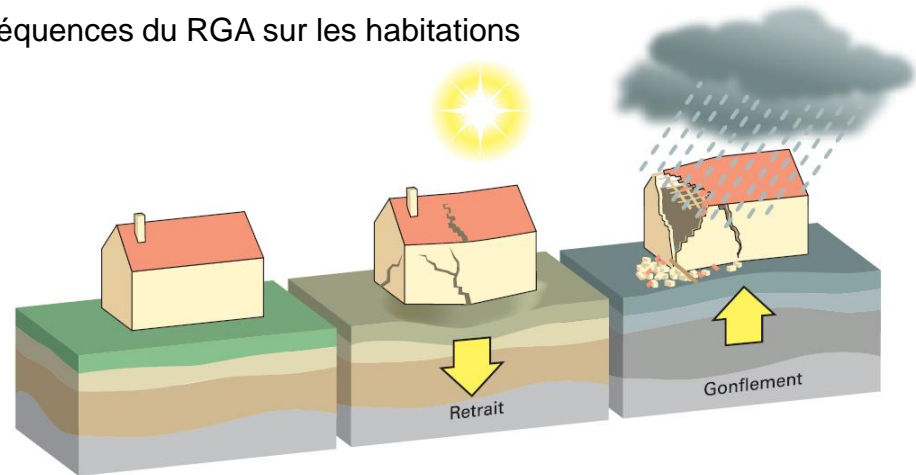
2- Phénomène du RGA : définitions

- Causes et conséquences du phénomène de RGA

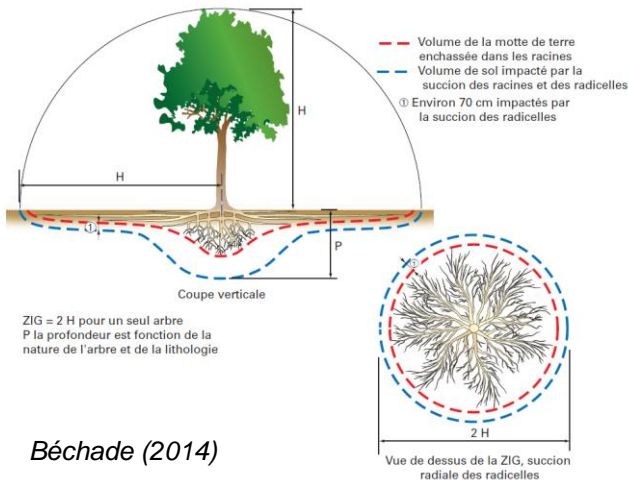
➤ Cycle de l'eau



➤ Conséquences du RGA sur les habitations

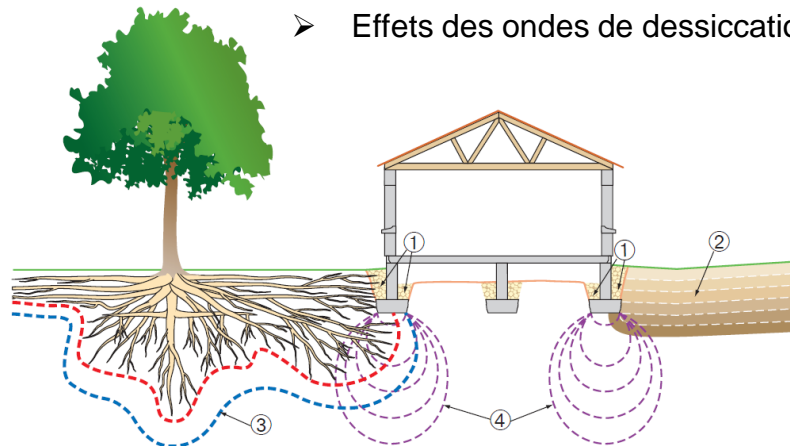


➤ Influence de la végétation



Béchade (2014)

➤ Effets des ondes de dessiccation sur les habitations



- Remblais perméables
- Limites successives de dessiccation (front de "sécheresse" courant)
- ZIG : Zone d'influence géotechnique de la suction des racines et des radicelles
- Bulbes de répartition des charges dans le sol

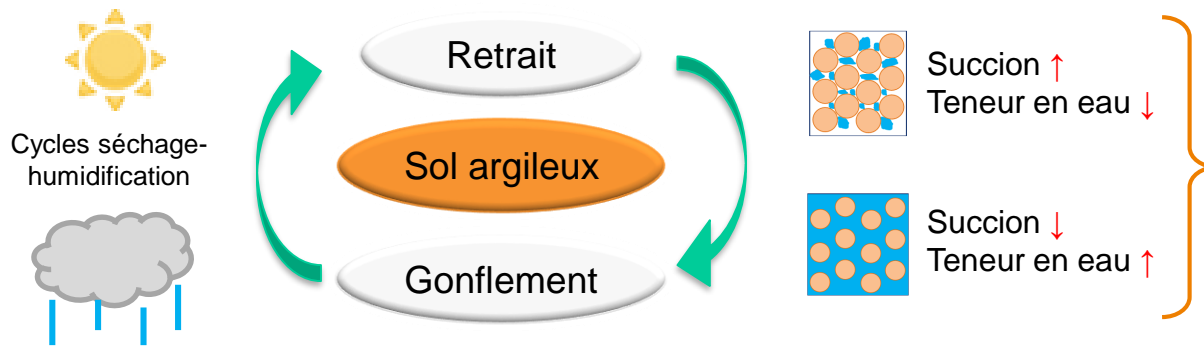


3. Recherche de nouvelles solutions de confortement

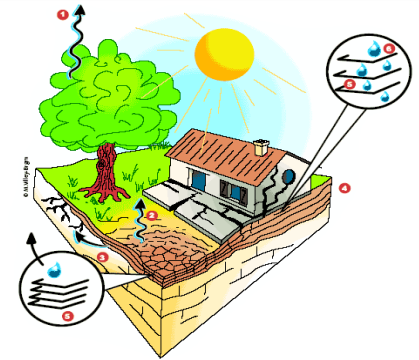
3. Recherche de nouvelles solutions de confortement

- Nouvelles solutions de confortement vis-à-vis du RGA

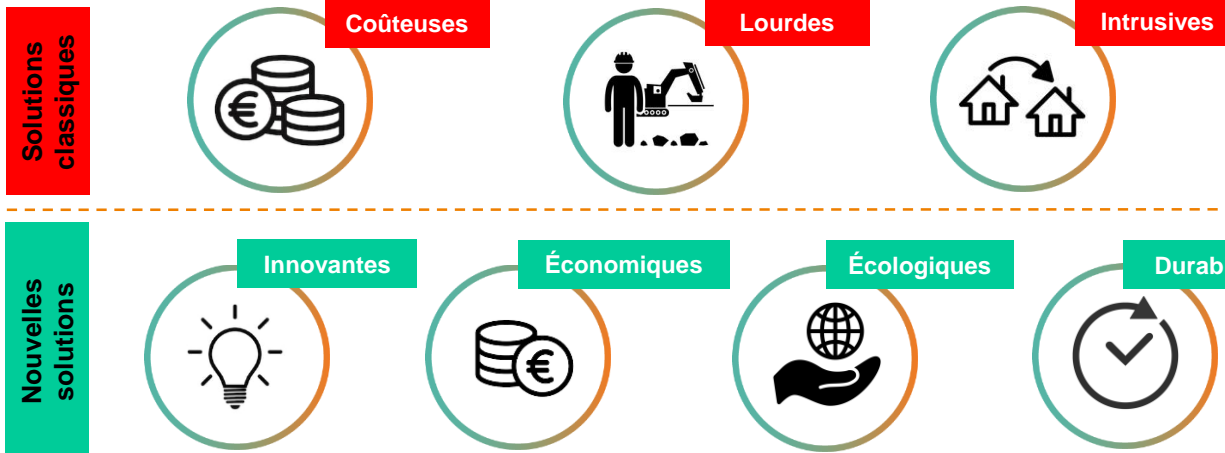
→ Principe du phénomène de retrait-gonflement des argiles (RGA)



→ Désordres structurels



→ Solutions techniques de confortement vis-à-vis du RGA



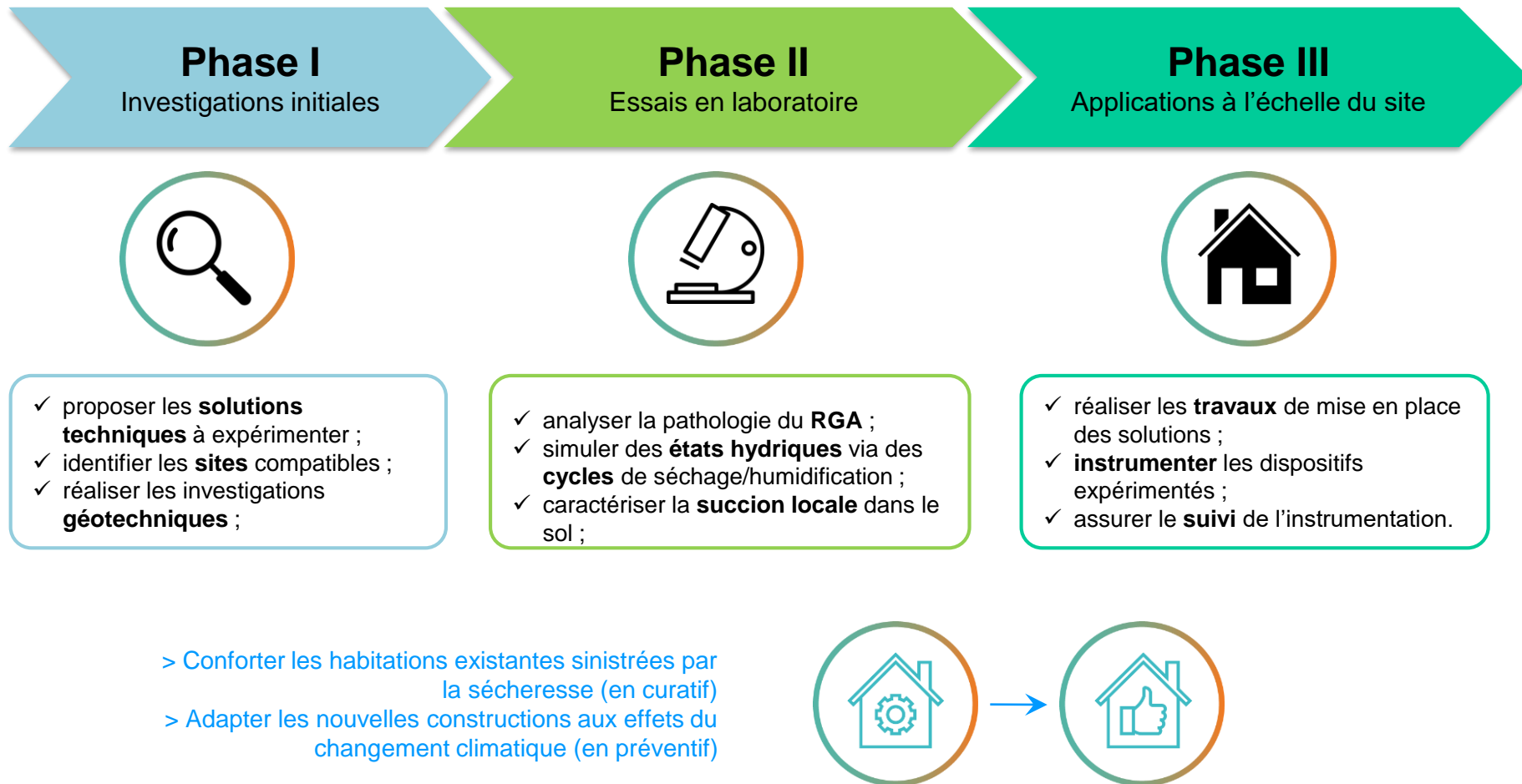
Source : Blois.fr



Source : lavoixdunord.fr

3. Recherche de nouvelles solutions de confortement

- Démarche de recherche des nouvelles solutions



4. Solution MACH : principe et expérimentation

Partenaires du suivi MACH :



ELEX

4. Solution MACH : principe et expérimentation

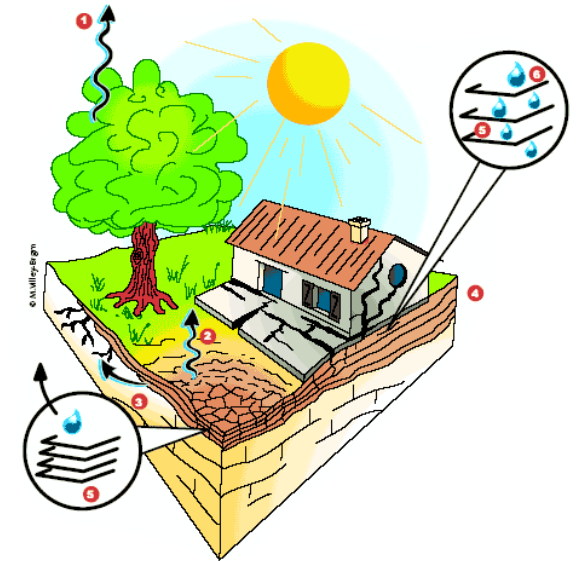
- Planification & programme expérimental



Sécheresse climatique



Fissuration et désordres



Projet MACH
MAison Confortée par Humidification

Signature de la convention

Fin 2016

2017

2018

2019

2020

Phase I

Instrumentation de la maison

Phase II

Système de récupération et d'injection d'eau de pluie
Suivi annuel : météo, succion et fissures

Phase III

Option : suivi et valorisation

4. Solution MACH : principe et expérimentation

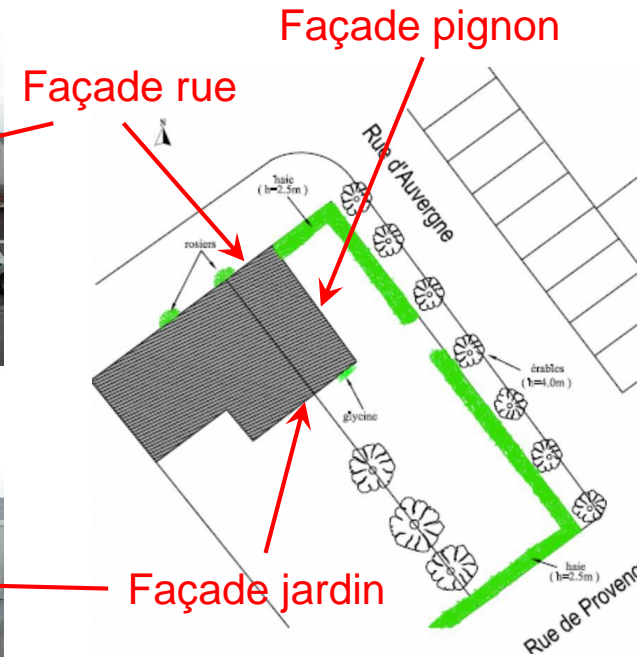
- Localisation et description de l'environnement du site



Mer, Loir-et-Cher (41)



Maison de type R+1 (1968)



Report de la végétation

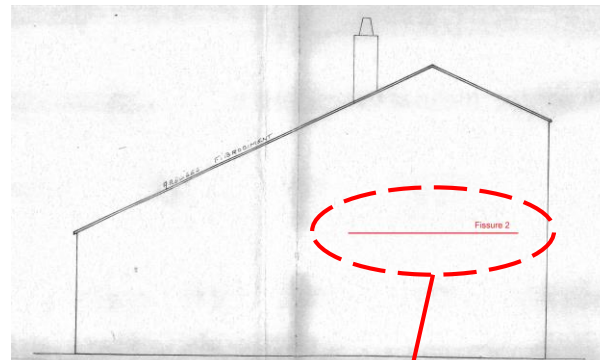
4. Solution MACH : principe et expérimentation

- Relevé des désordres à l'extérieur suite à la sécheresse de 2015

Façade côté rue

Façade du pignon

Façade côté jardin



Fissure 1



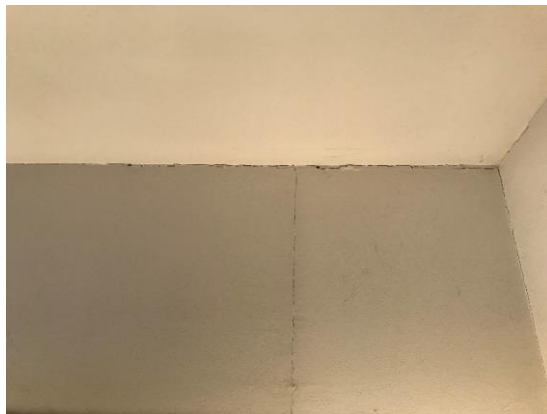
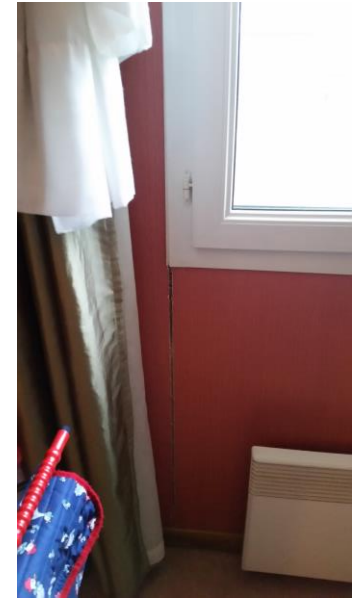
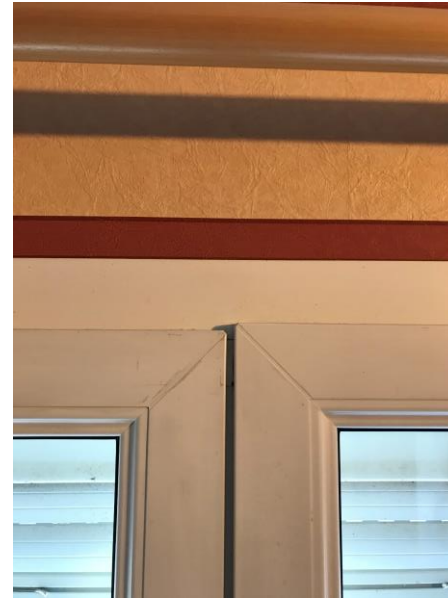
Fissure 2



Fissure 3

4. Solution MACH : principe et expérimentation

- Relevé des désordres à l'intérieur suite à la sécheresse de 2015



➤ Sondages pressiométriques :

Argile de décalcification brune

Calcaire de Beauce



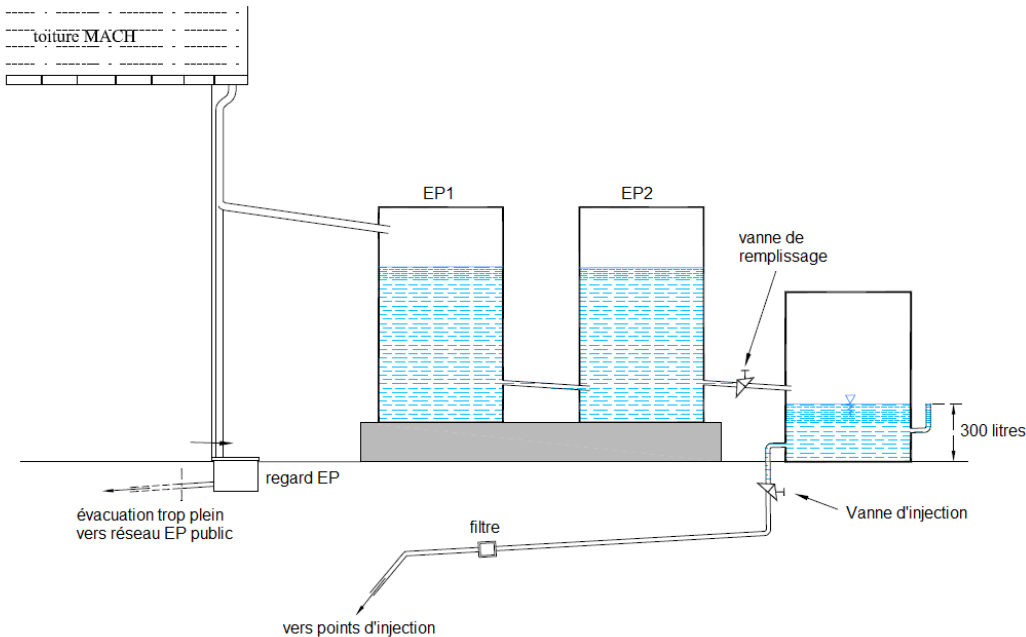
➤ Résultats des essais au laboratoire

Nature de sol	localisation	Granularité			Dmax (mm)	Argilosité	
		passant (%)				VBS (g/100 g de sol sec)	Indice de plasticité (%)
		2 µm	80 µm	2 mm			
Argile de décalcification	Sondage pelle	57	97	99	10	/	37
	SP1 (1,5 m)	/	98	99	5	5,5	39
	SP2 (1 m)	/	98	100	5	6,4	/
	SP2 (2 m)	/	89	98	10	6,0	/
Calcaire de Beauce	SP1 (5 m)	/	58	84	20	1,4	/

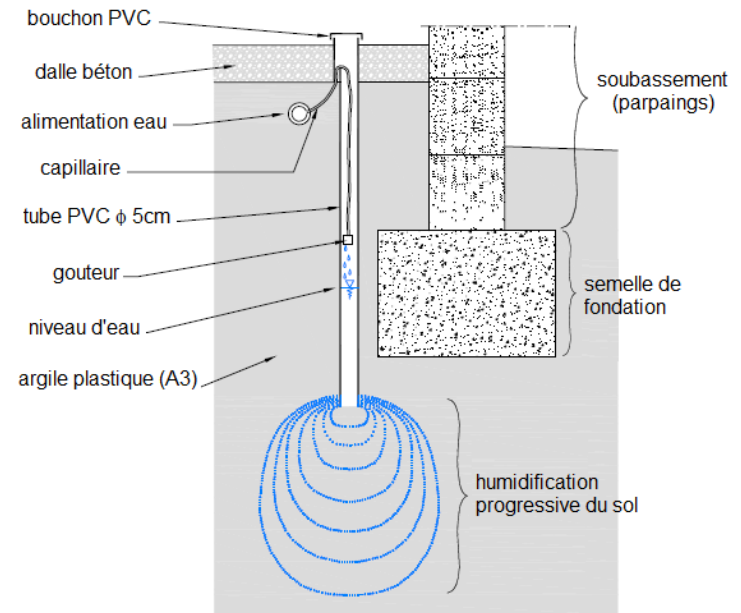
4. Solution MACH : principe et expérimentation

- Procédé de stockage et d'injection d'eau de pluie

➤ Récupération des eaux de pluie



➤ Injection d'eau récupérée dans le sol

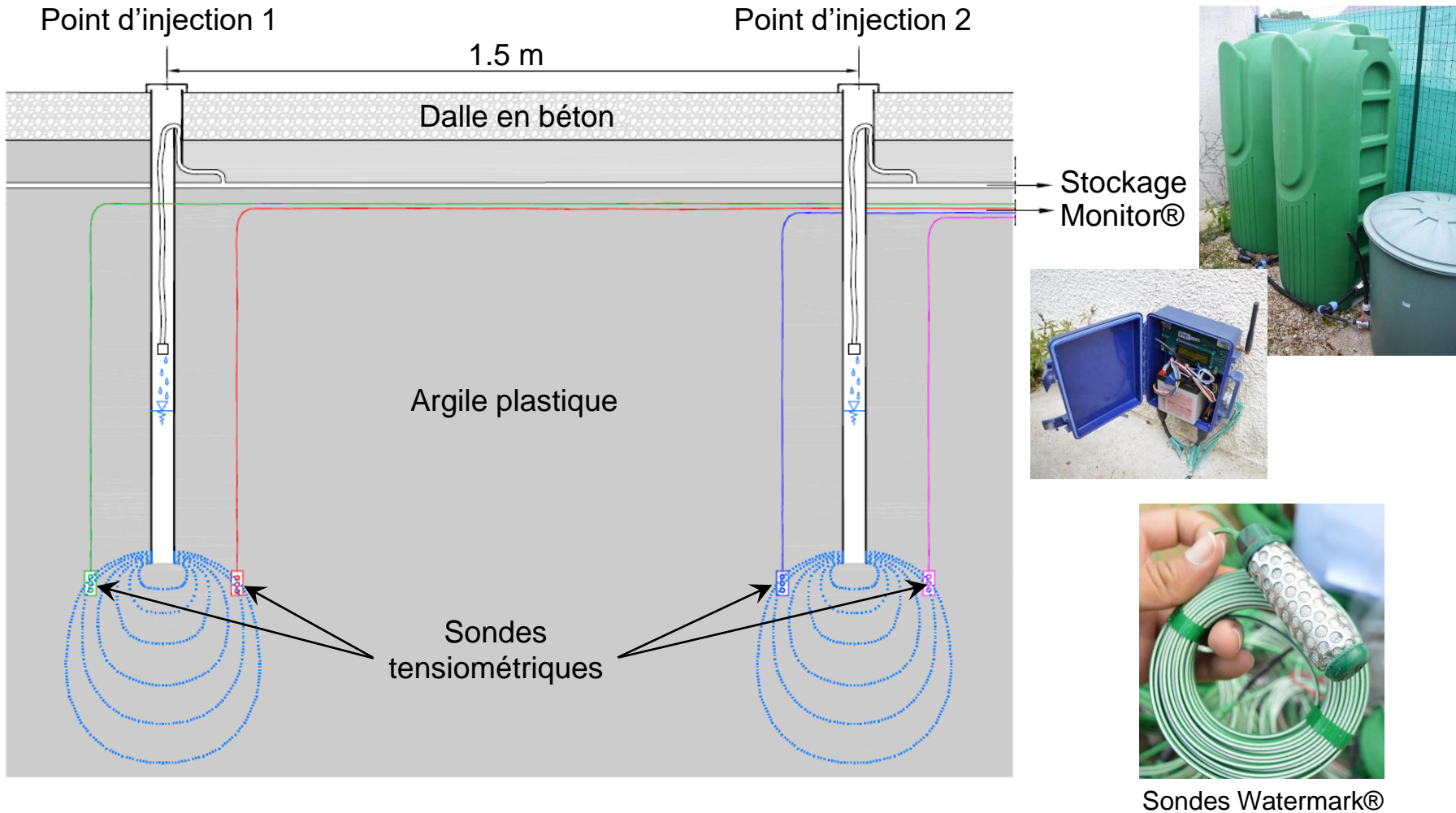


- Capacité totale de stockage \approx 2000 litres
- Volume d'eau injecté = 300 litres
- *Injection manuelle (vanne d'injection)*

- Ecoulement d'eau injectée par la gravité

4. Solution MACH : principe et expérimentation

- Schéma d'injection d'eau et de mesure tensiométrique



4. Solution MACH : principe et expérimentation

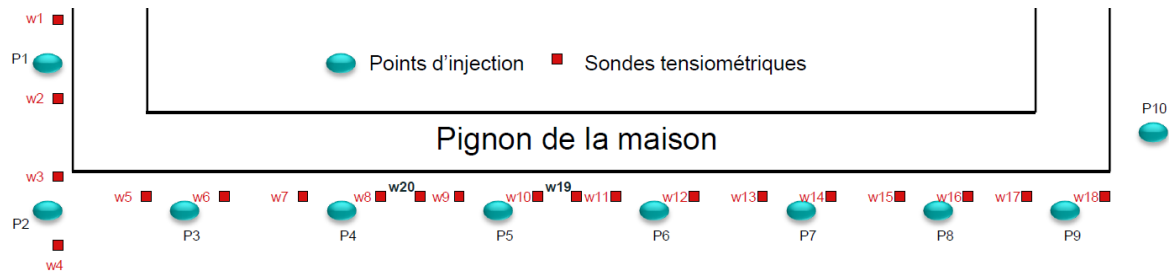
- Suivi tensiométrique

- Mesure de la succion



Centrale d'acquisition

- Disposition des points d'injection et schéma des sondes tensiométriques

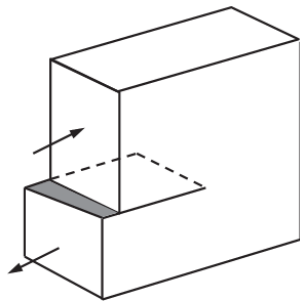
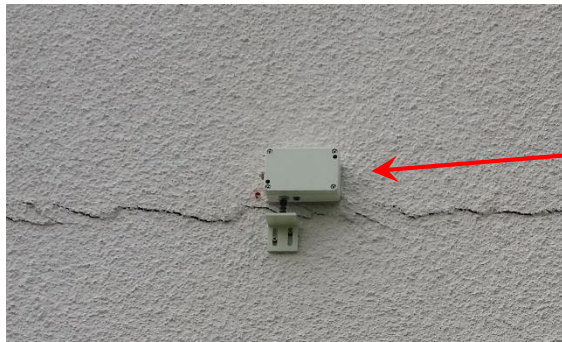


4. Solution MACH : principe et expérimentation

- Suivi des fissures et des désordres

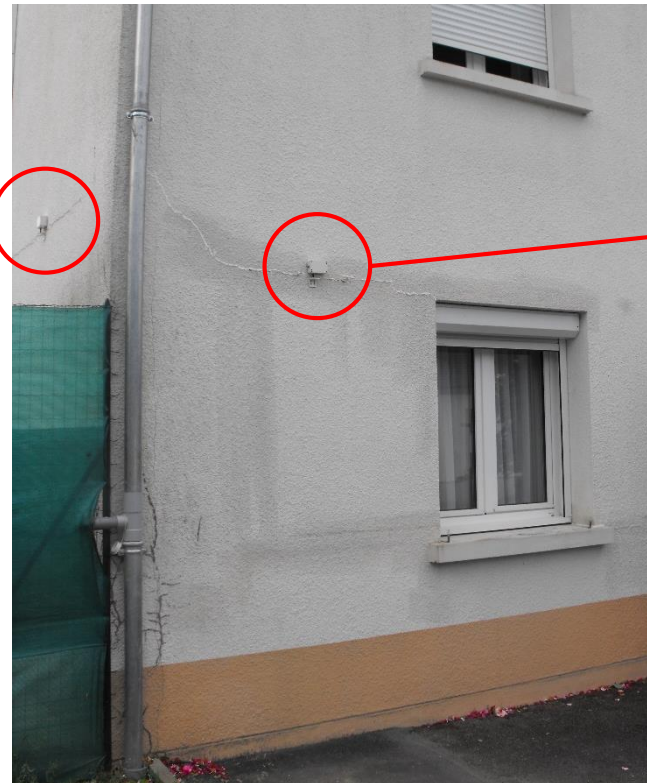
- Localisation des désordres et mise en place de deux fissuromètres

Fissuromètre 2

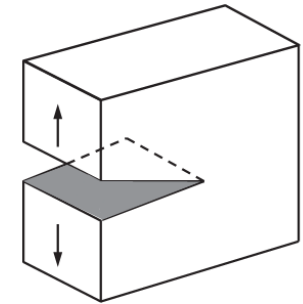
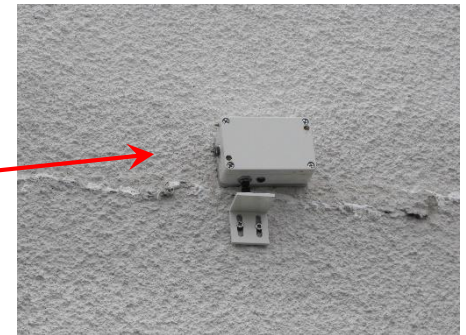


Mode II

Glissement



Fissuromètre 1



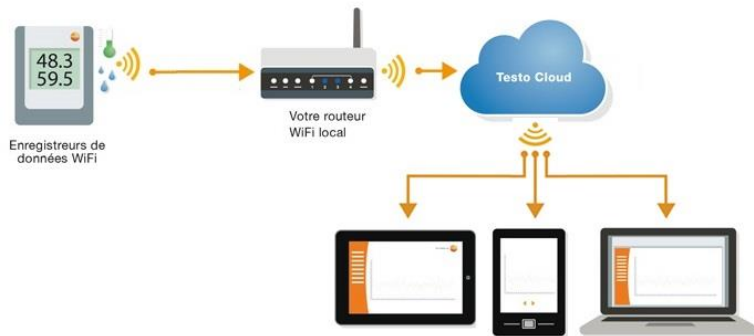
Mode I

Ouverture par
extension

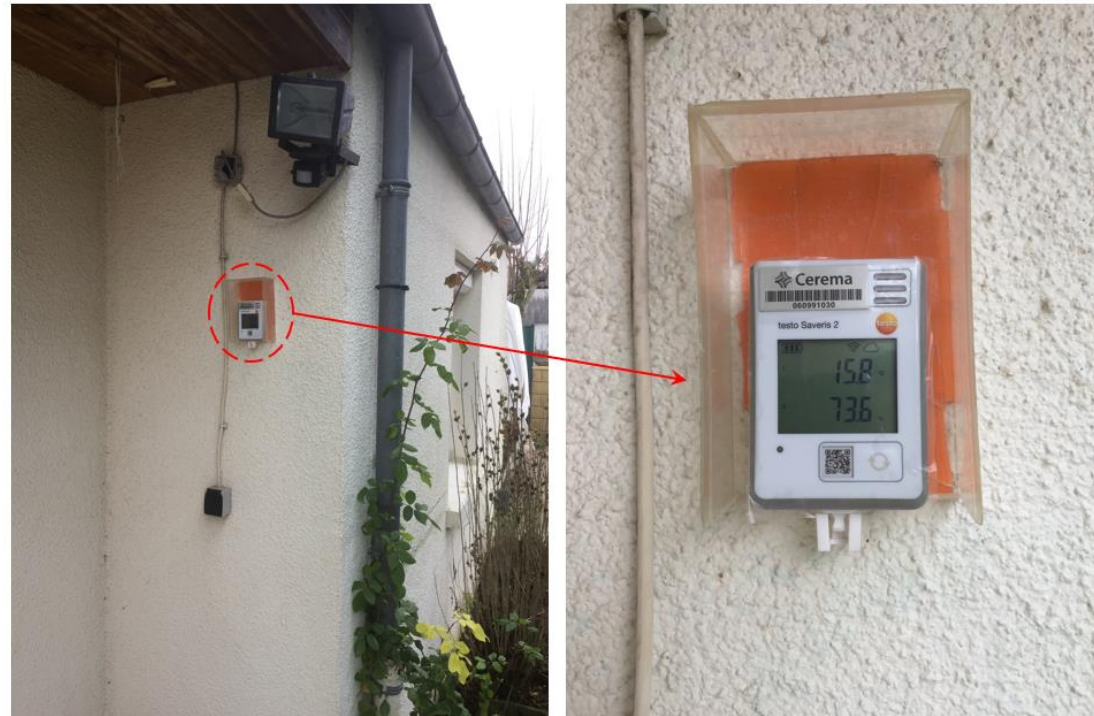
4. Solution MACH : principe et expérimentation

- Suivi météorologique

- Principe de mesures des paramètres hydriques



- Installation du thermo-hygromètre enregistreur sur la façade côté jardin



- Mesure de la température T (°C)
- Mesure de l'humidité relative HR (%)
- Estimation de la succion globale imposée via la loi de Kelvin s (MPa) :

$$s_{glob} = -\frac{\rho_w RT}{M_w} \ln\left(\frac{RH\%}{100}\right)$$

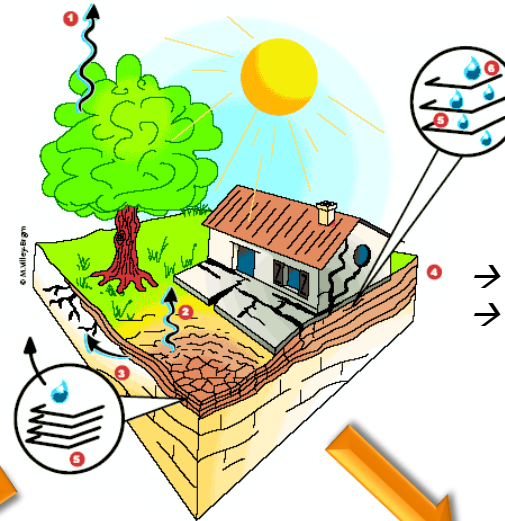
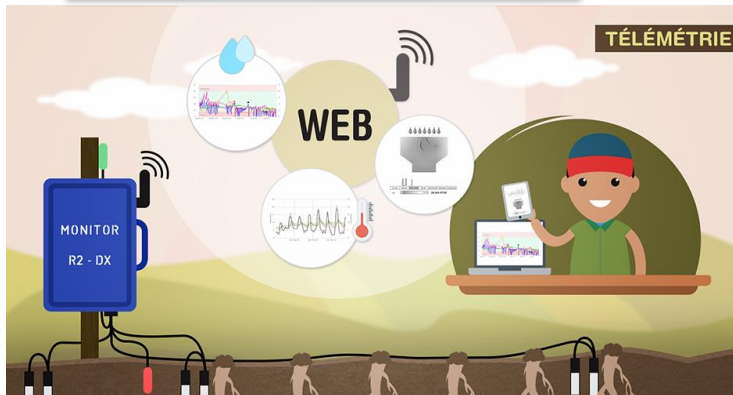
4. Solution MACH : principe et expérimentation

- Schéma des opérations de suivi MACH

Suivi des fissures

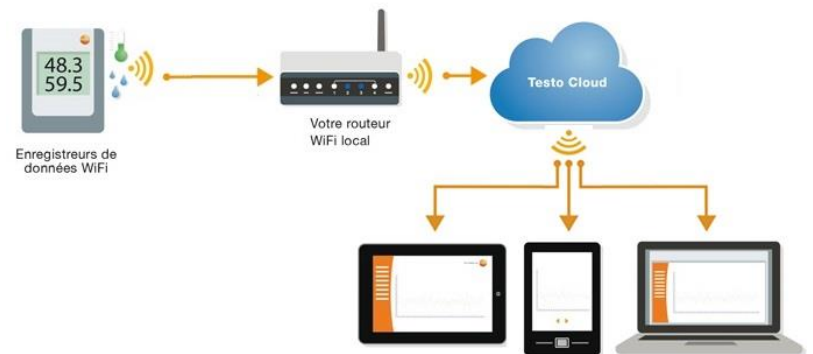


Suivi tensiométrique



→ Suivi en temps réel et en continu
→ Accès aux données à distance

Suivi atmosphérique



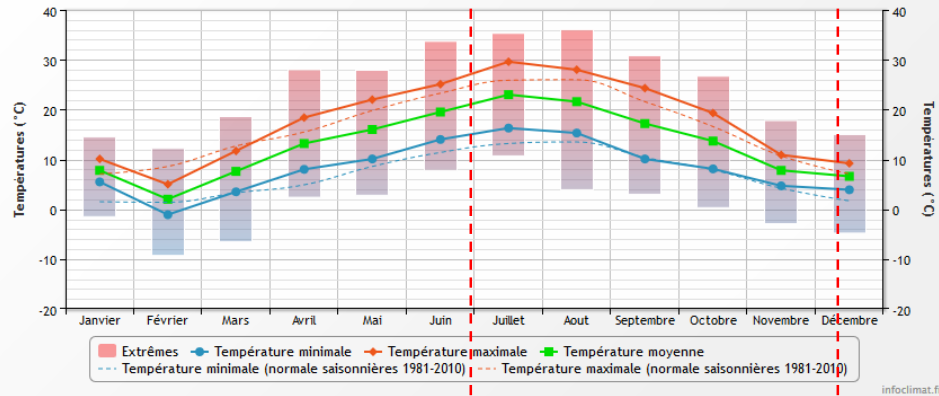
5. Bilan des opérations de suivi MACH

➤ Année 2018

Température :

Températures en 2018 à Blois

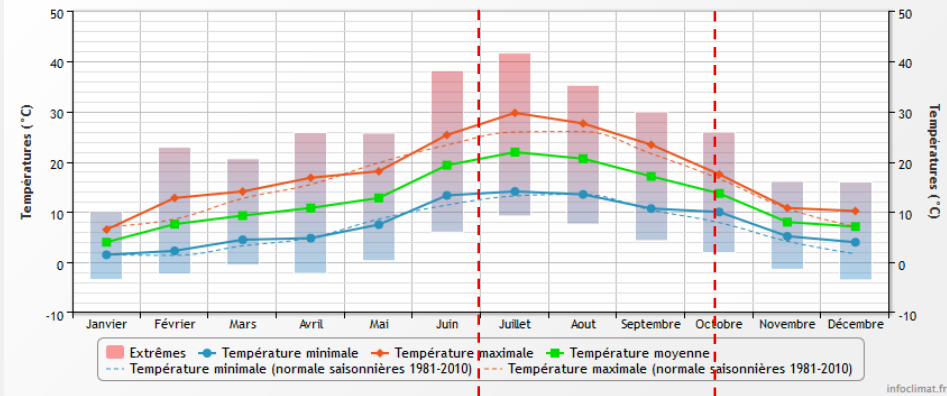
Ecart aux normales 1981-2010 sur l'année : T_{min}: +1,3°C T_{max}: +1,5°C T_{mo}: +1,4°C



➤ Année 2019

Températures en 2019 à Blois

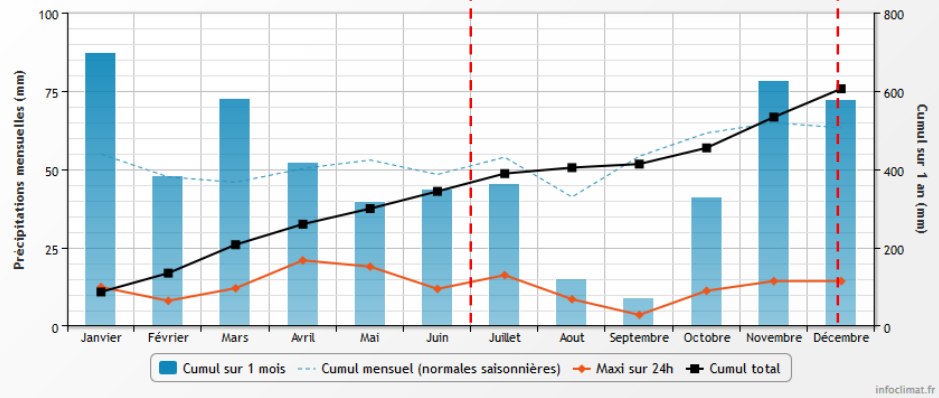
Ecart aux normales 1981-2010 sur l'année : T_{min}: +0,7°C T_{max}: +1,4°C T_{mo}: +1,1°C



Pluviométrie :

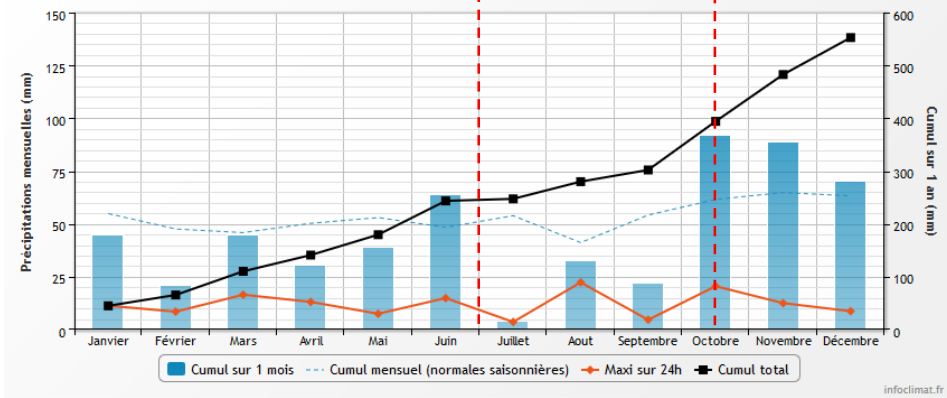
Précipitations en 2018 à Blois

Ecart aux normales 1981-2010 sur l'année : -5% (-33.6mm)



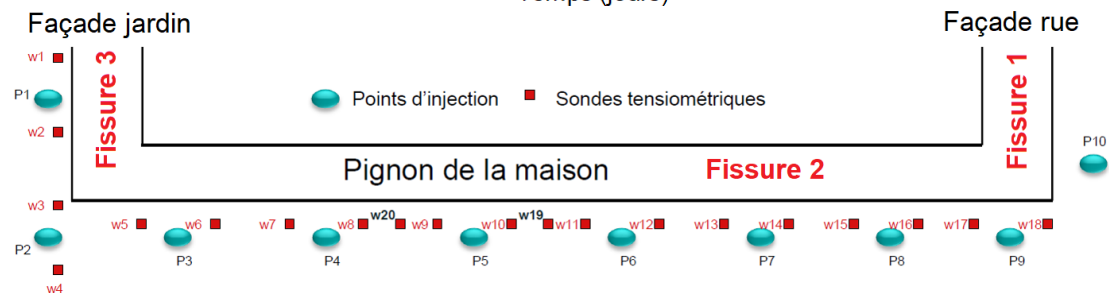
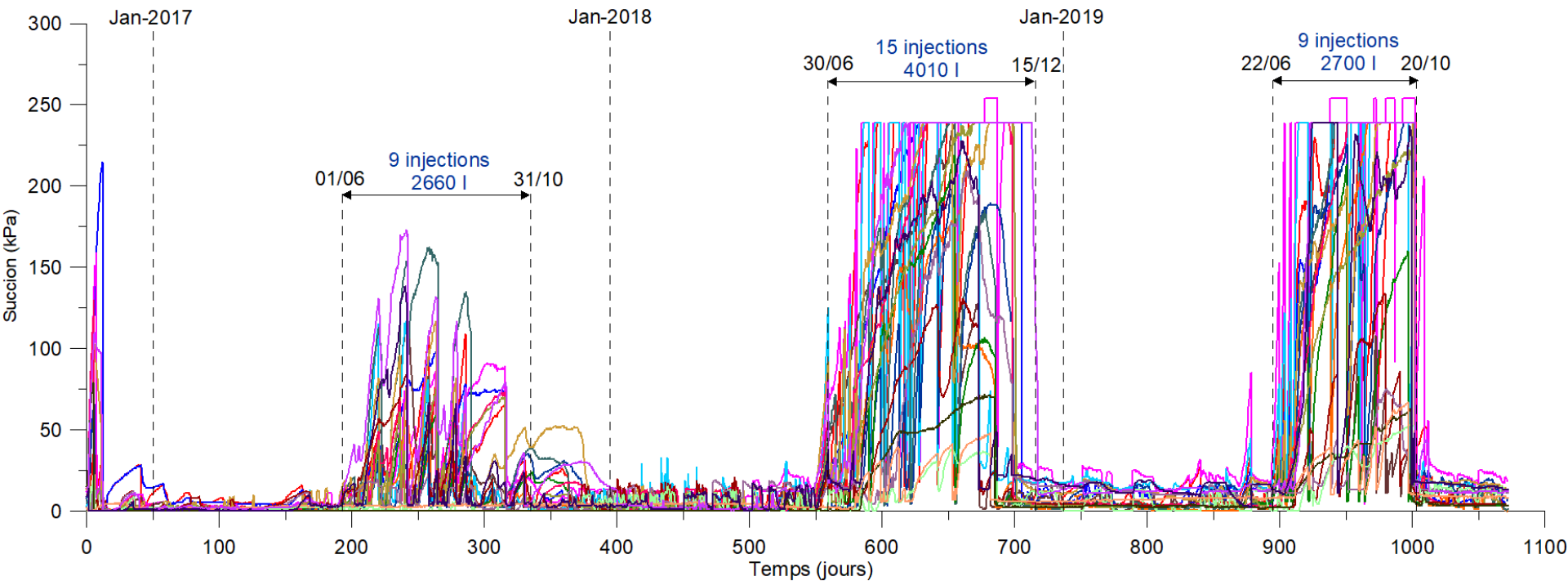
Précipitations en 2019 à Blois

Ecart aux normales 1981-2010 sur l'année : -14% (-86.4mm)

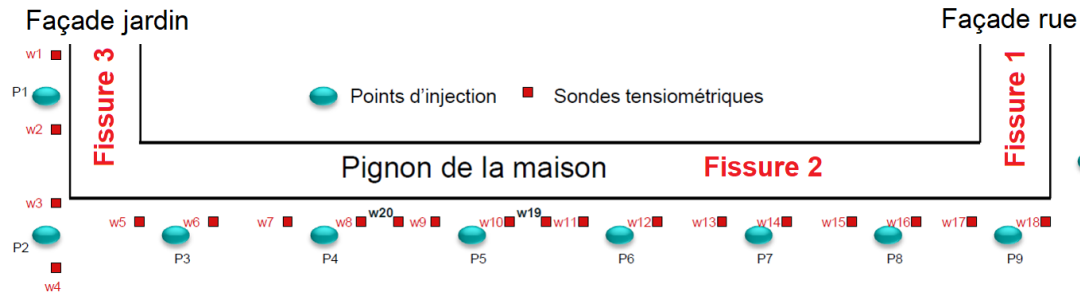
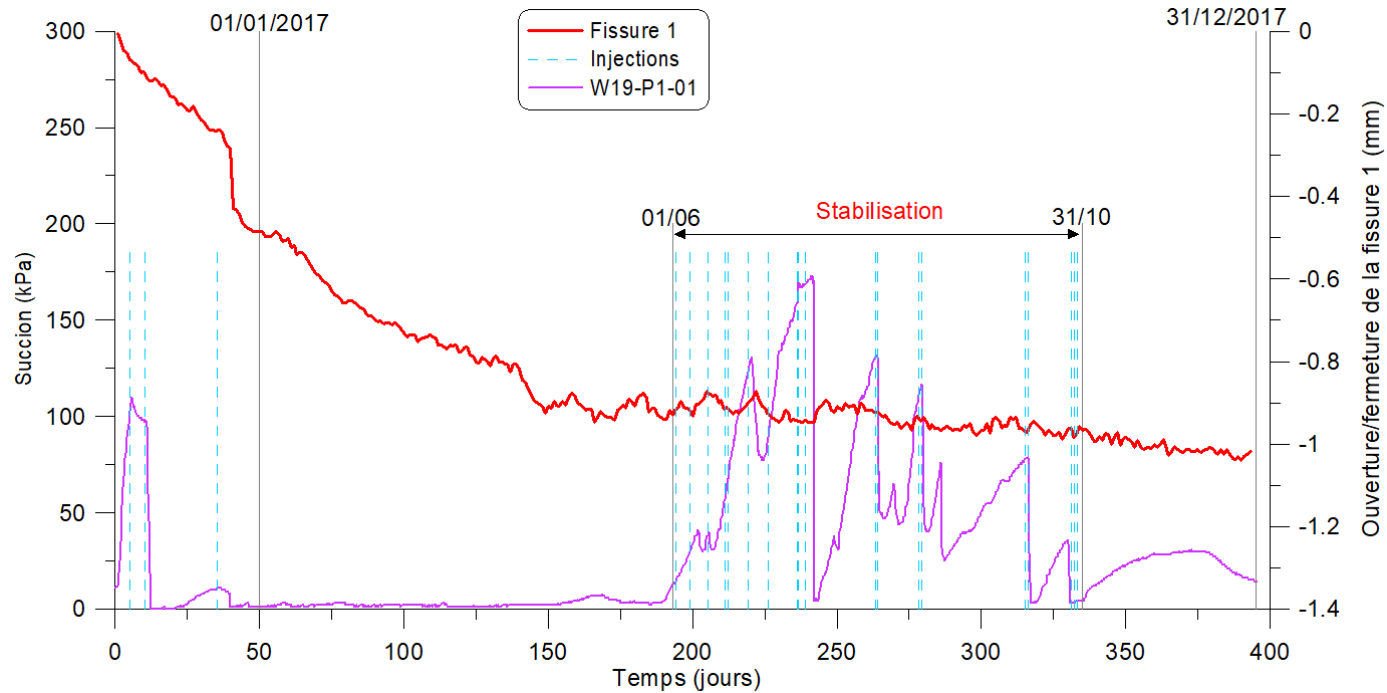


Source : infoclimat.fr

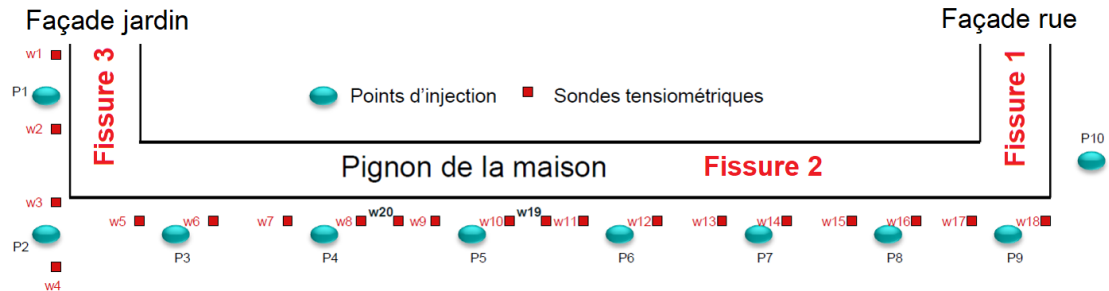
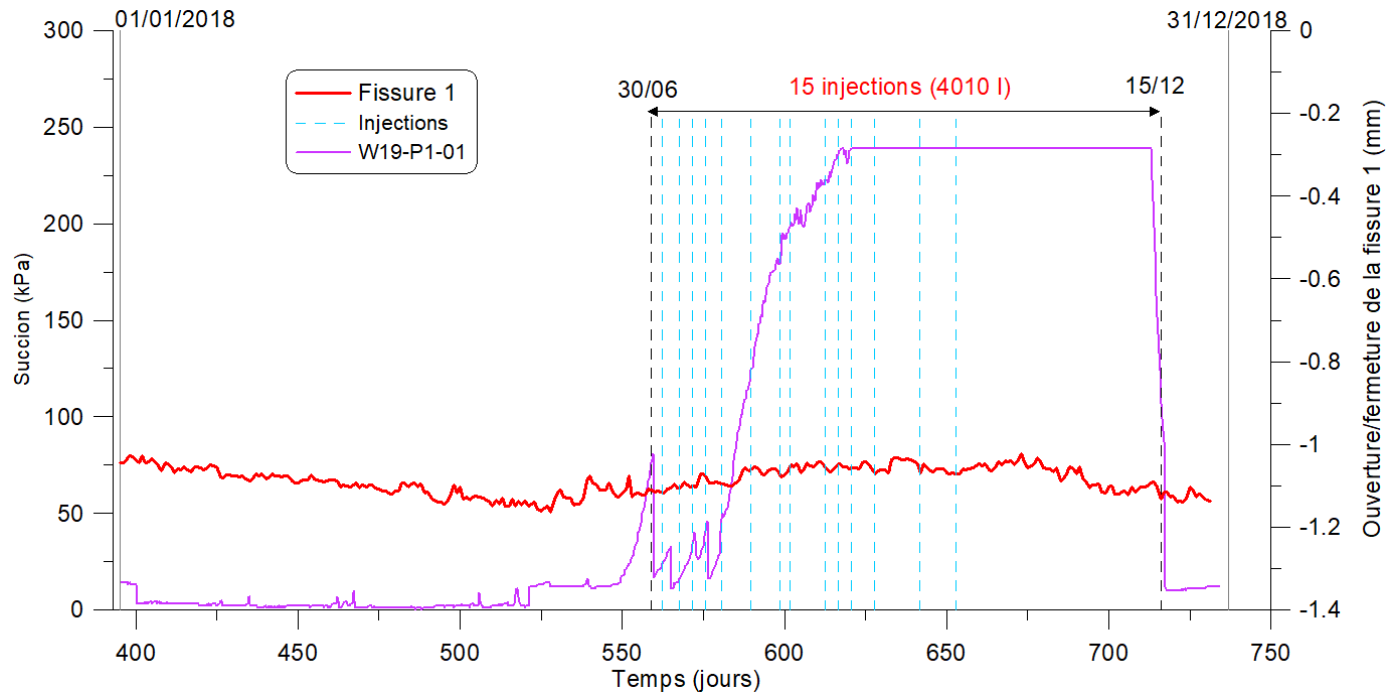
➤ Mesures des 20 sondes tensiométriques enregistrées



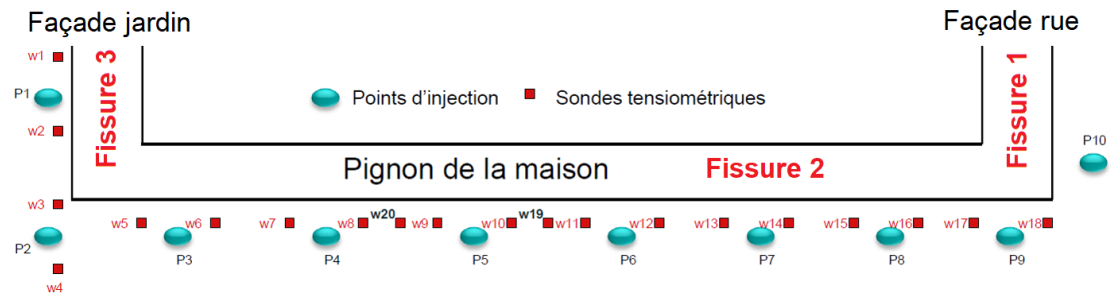
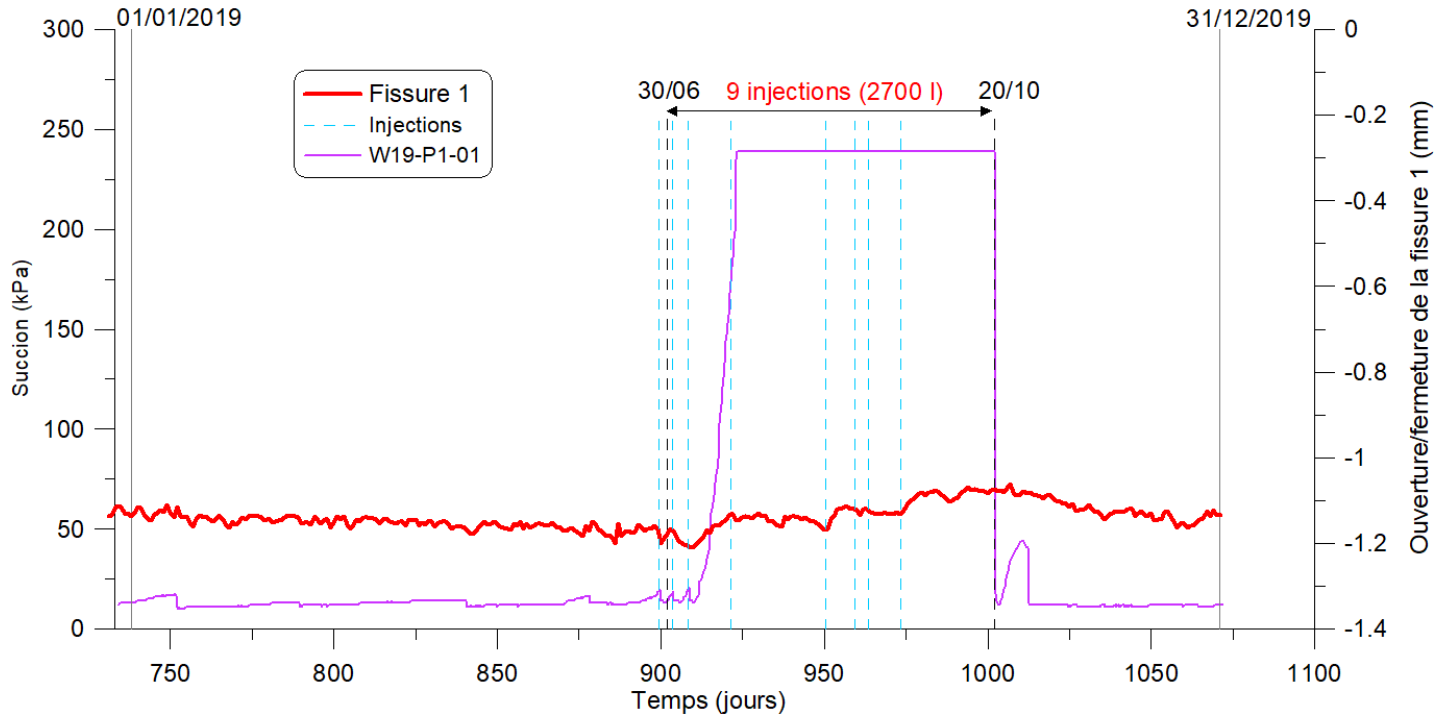
➤ Suivi de la fissure 1 en 2017



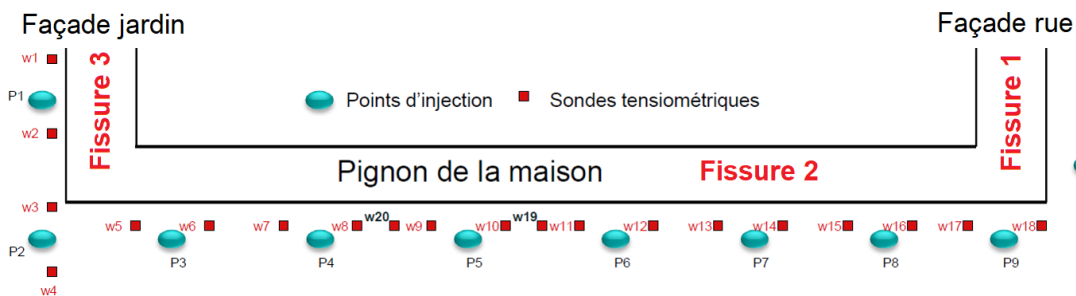
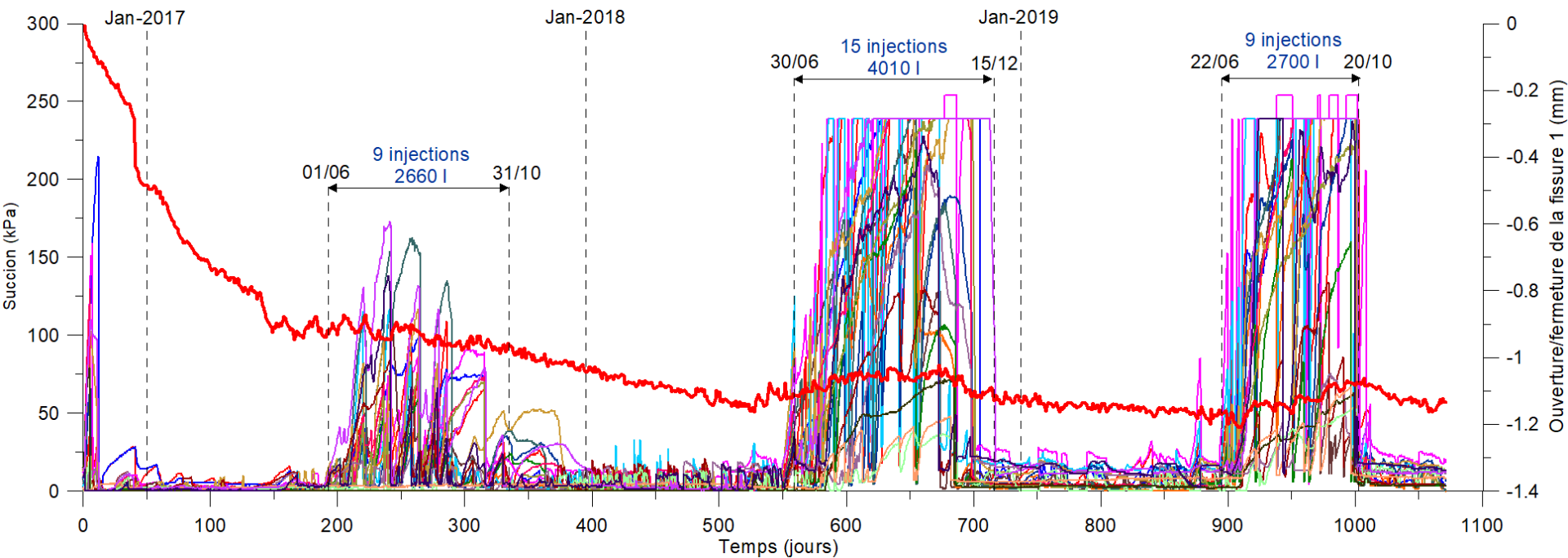
➤ Suivi de la fissure 1 en 2018



➤ Suivi de la fissure 1 en 2019



➤ Suivi de la fissure 1 en 2017, 2018 et 2019



6. Conclusions et perspectives

- Le phénomène du RGA provoque par des sollicitations hydriques d'importantes variations volumiques des sols argileux.
- Les habitations construites sur des sols sensibles au RGA subissent des fissurations de dessiccation accentuées par la végétation.
- Les sécheresses climatiques successives connues ces dernières années ont considérablement contribué à la dégradation des ouvrages en surface.
- Le Cerema accompagne les acteurs socio-économiques pour contribuer à l'adaptation des territoires au changement climatique.
- MACH : les injections d'eau de pluie effectuées ont une incidence directe sur la chute de la tension du sol et la stabilisation des fissures pendant la sécheresse.
- Poursuivre les opérations de suivi MACH en 2020 : météo, tensiométrie, injections et désordres.
- Instrumenter une seconde maison dans le cadre d'un nouveau projet MACH 2.

Contact

Lamine IGHIL AMEUR

Chef de projet MACH

Docteur-Ingénieur TPE en Mécanique des Sols

+33 (0)2 54 55 48 93, +33 (0)6 63 33 38 51

lamine.ighil-ameur@cerema.fr