



Cerema

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

MACH

MAison Confortée par Humidification

Partenaires :



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

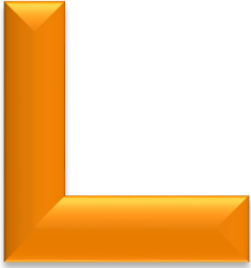


ELEX

Blois, le 6 juin 2019

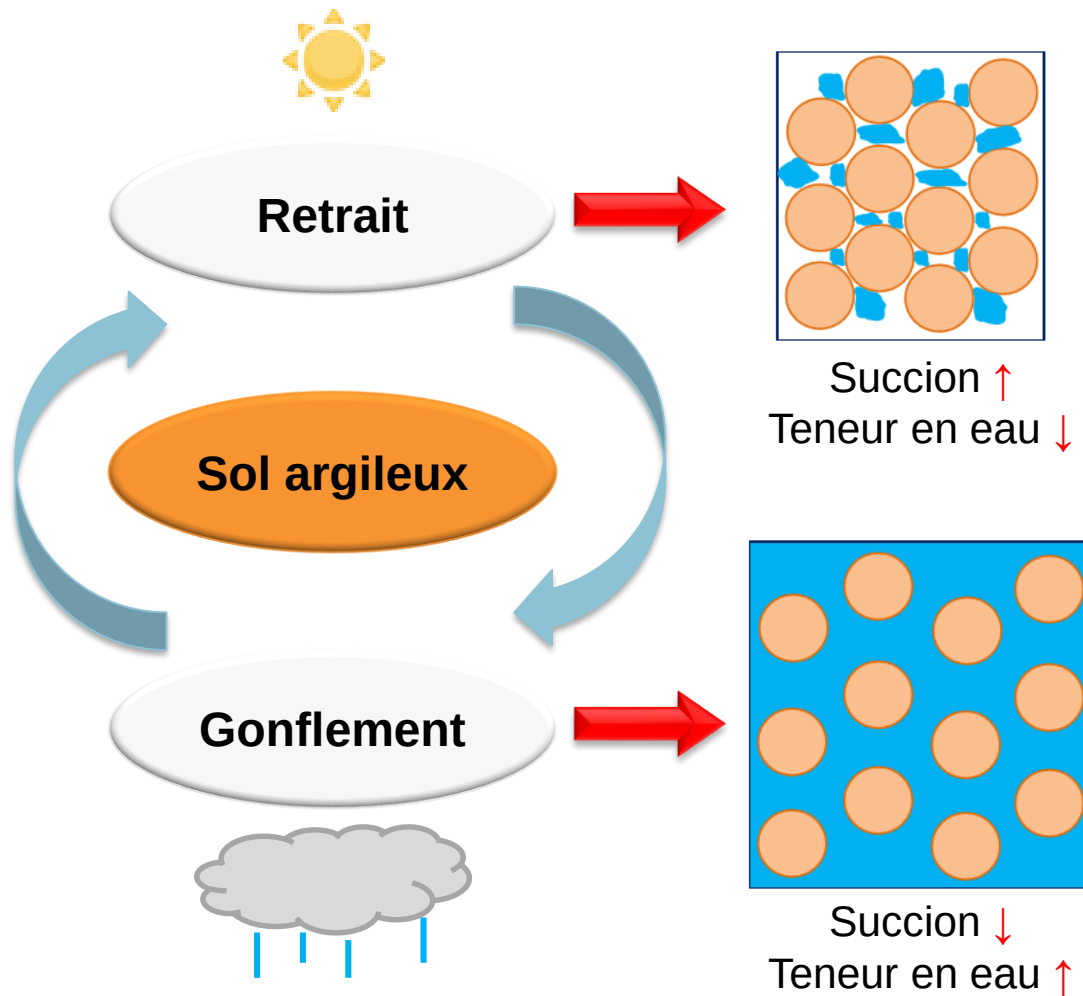
Plan de présentation

- 1 Introduction du projet MACH
- 2 Site expérimental - caractéristiques
- 3 Instrumentation et opérations de suivi
- 4 Bilan des opérations de suivi 2017 et 2018
- 5 Conclusions et perspectives
- 6 Technique de la solution anionique par Keller



1. Introduction du projet MACH

1- Introduction du projet MACH



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

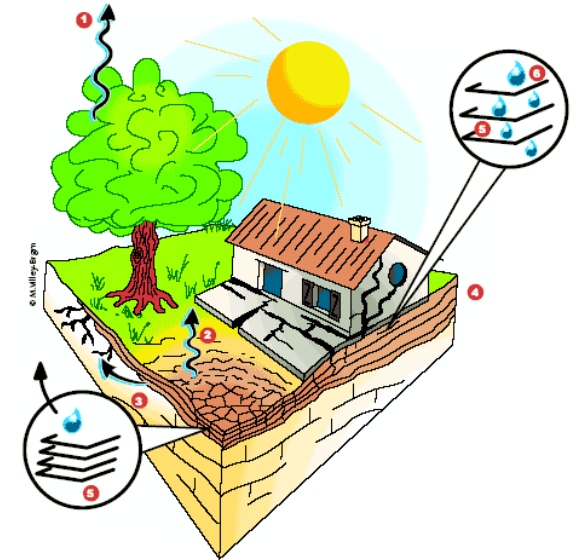


1- Introduction du projet MACH



Sécheresse

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

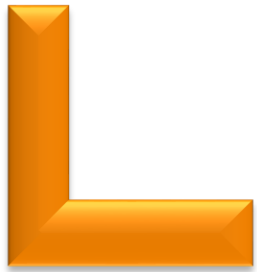
Système de récupération et d'injection d'eau de pluie
Suivi annuel : météo, succion et fissures

Phase III

Option : suivi et
valorisation



2. Site expérimental - caractéristiques



2- Site expérimental et instrumentation

→ Description de la maison et son environnement

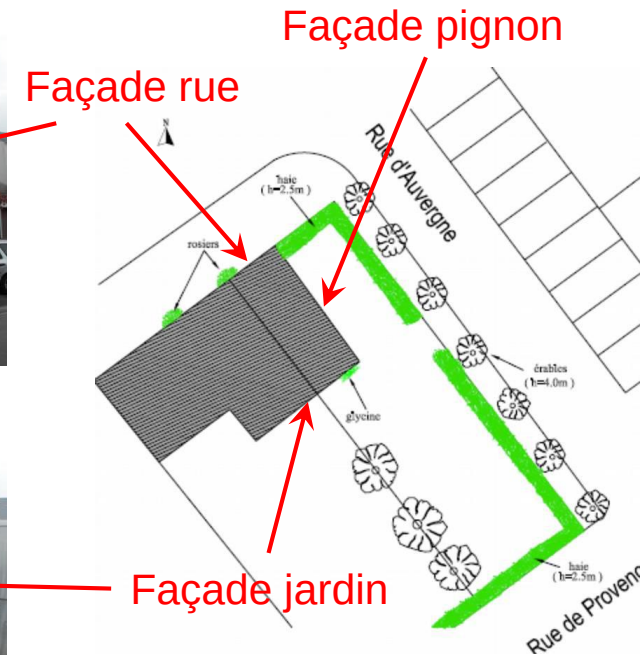
➤ Localisation et description



Mer, Loir-et-Cher (41)



Maison de type R+1 (1968)



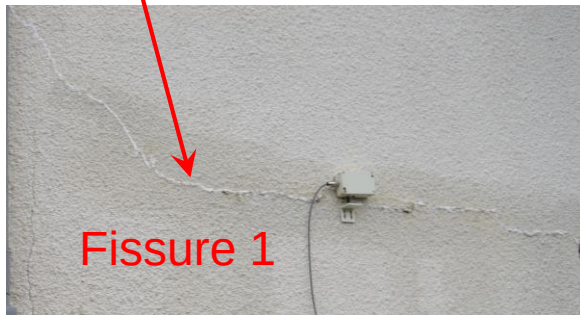
Report de la végétation

2- Site expérimental et instrumentation

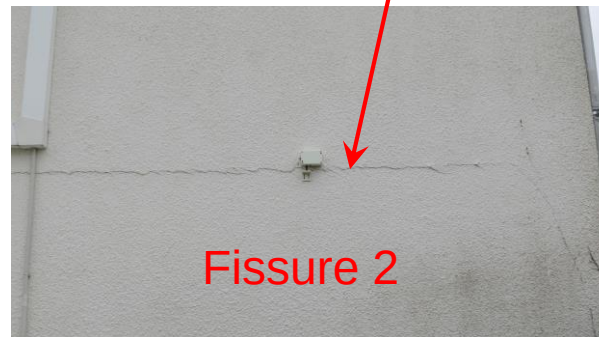
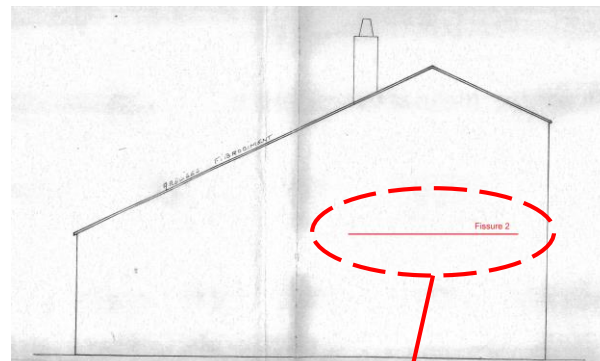
→ Description de la maison et son environnement

➤ Relevé des désordres à l'été 2015

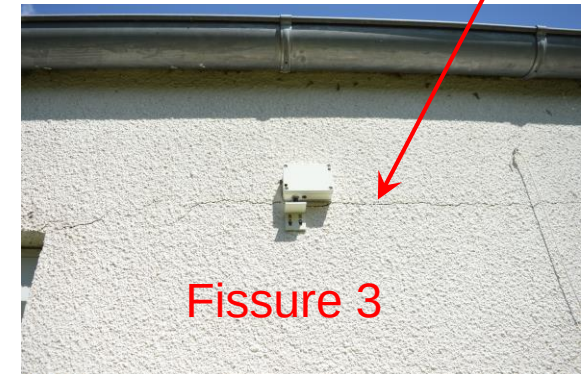
Façade côté rue



Façade du pignon



Façade côté jardin



2- Site expérimental et instrumentation

→ Géologie et géotechnique du site d'implantation

➤ Sondage pressiométrique :

Argile de décalcification brune

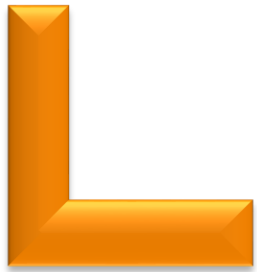
Calcaire de Beauce

➤ Résultats des essais au laboratoire

Nature de sol	localisation	Granularité				Argilosité	
		passant (%)			Dmax (mm)	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	/



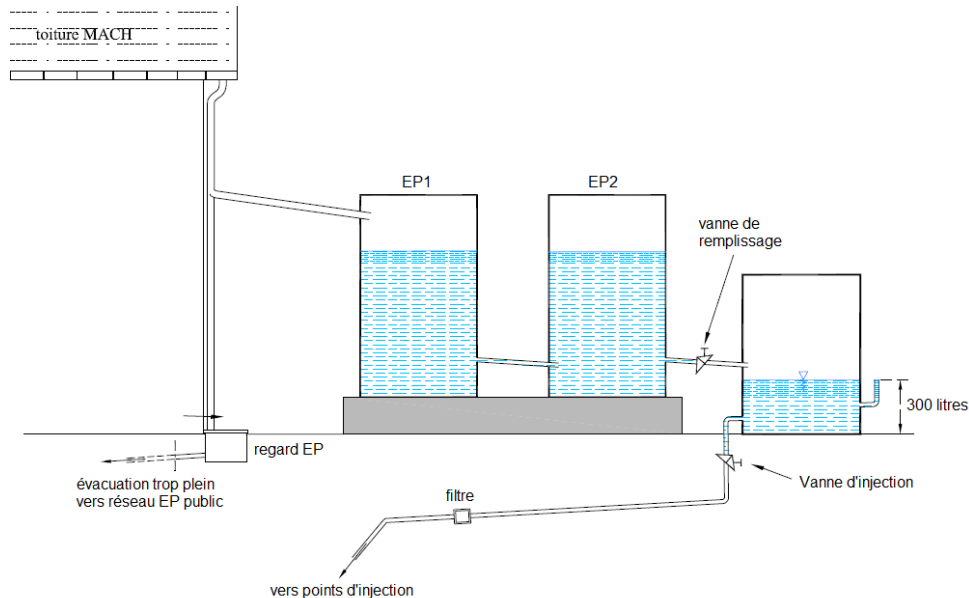
3. Instrumentation et opérations de suivi



3- Instrumentation et opérations de suivi

→ Dispositif de récupération et d'injection d'eau

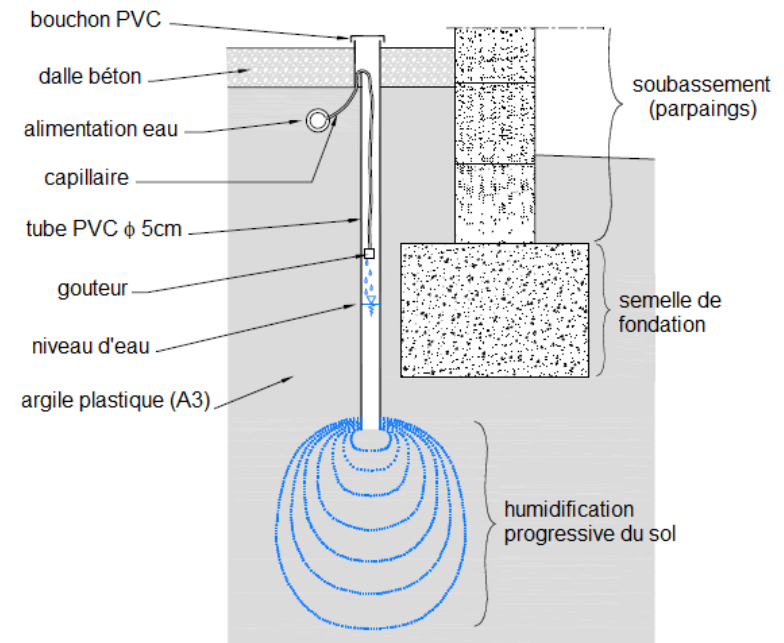
➤ Récupération des eaux de pluie



→ Capacité totale de stockage $\approx$ 2000 litres

→ Volume d'eau injecté = 300 litres

➤ Injection d'eau récupérée dans le sol



→ Ecoulement d'eau injectée par la gravité

3- Instrumentation et opérations de suivi

→ Suivi tensiométrique

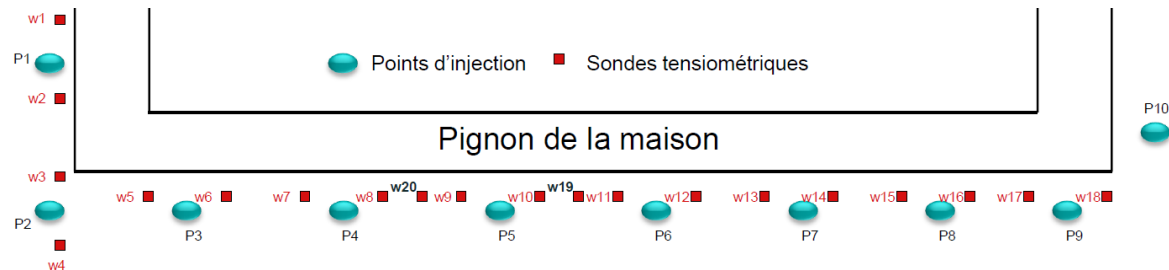
- Mesure de la succion

- Sonde tensiométrique placée à 1m de profondeur dans le sol de fondation



Points
d'injection
d'eau

Centrale
d'acquisition

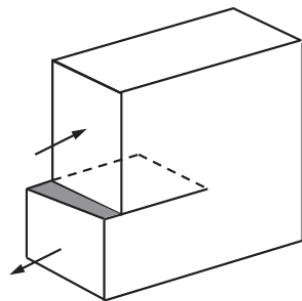
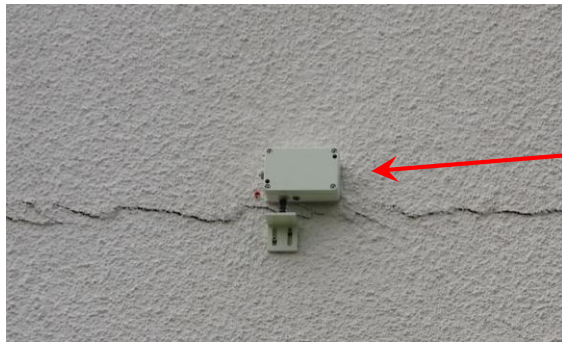


3- Instrumentation et opérations de suivi

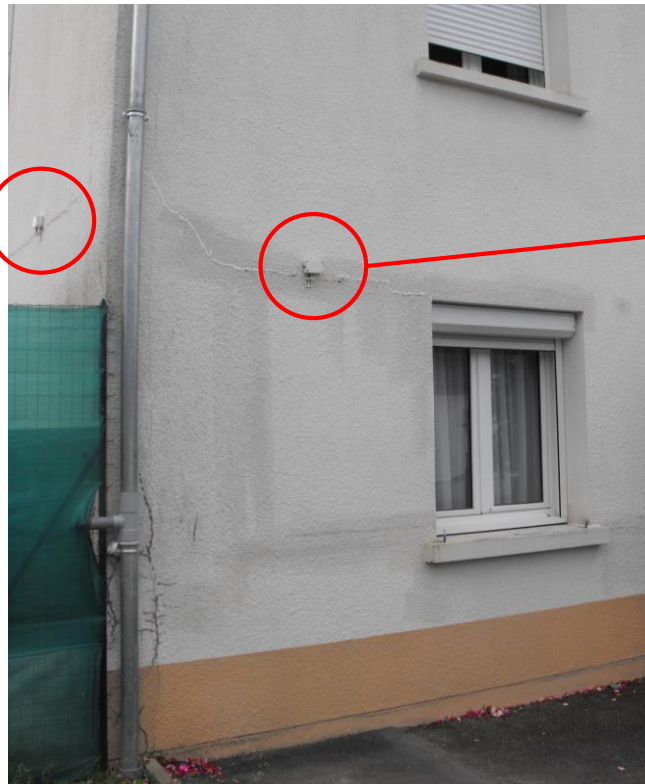
→ Suivi des fissures et des désordres

- Localisation des désordres et mise en place de deux fissuromètres

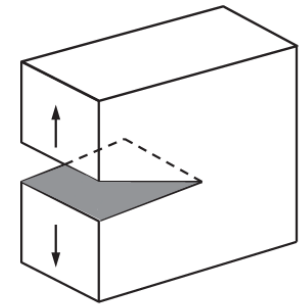
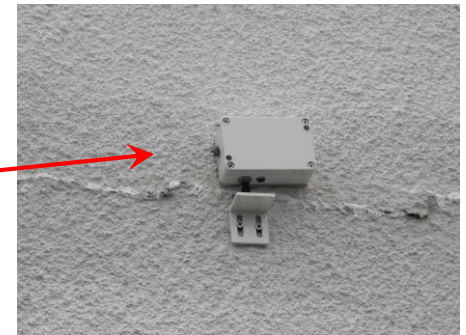
Fissuromètre 2



Mode II
Sliding mode



Fissuromètre 1

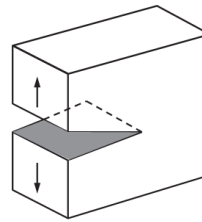


Mode I
Opening mode

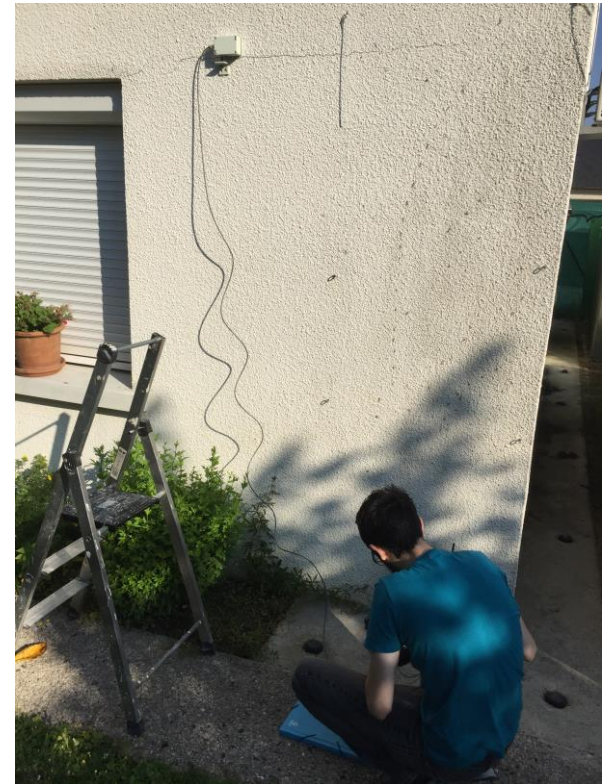
3- Instrumentation et opérations de suivi

→ Suivi des fissures et des désordres

➤ Nouvel emplacement du fissuromètre 2



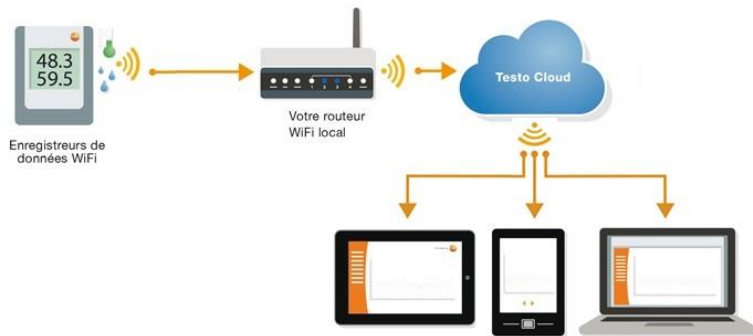
→ Fissuration en mode I :
ouverture par extension



3- Instrumentation et opérations de suivi

→ Suivi météorologique

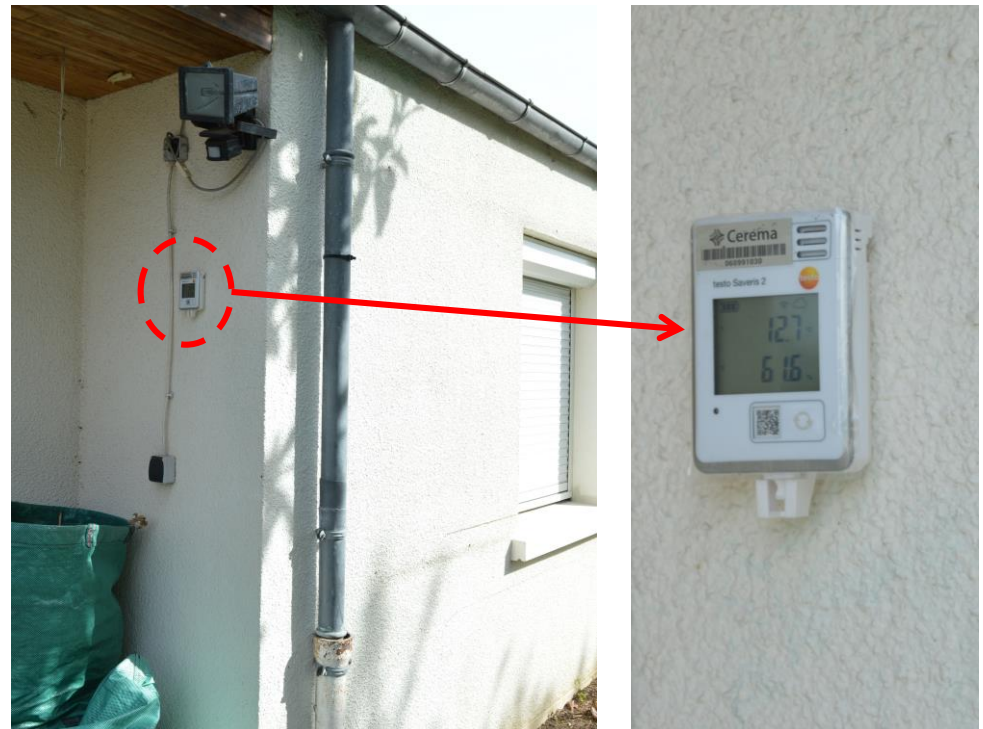
- Principe de mesures des paramètres hydriques



- 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) :

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

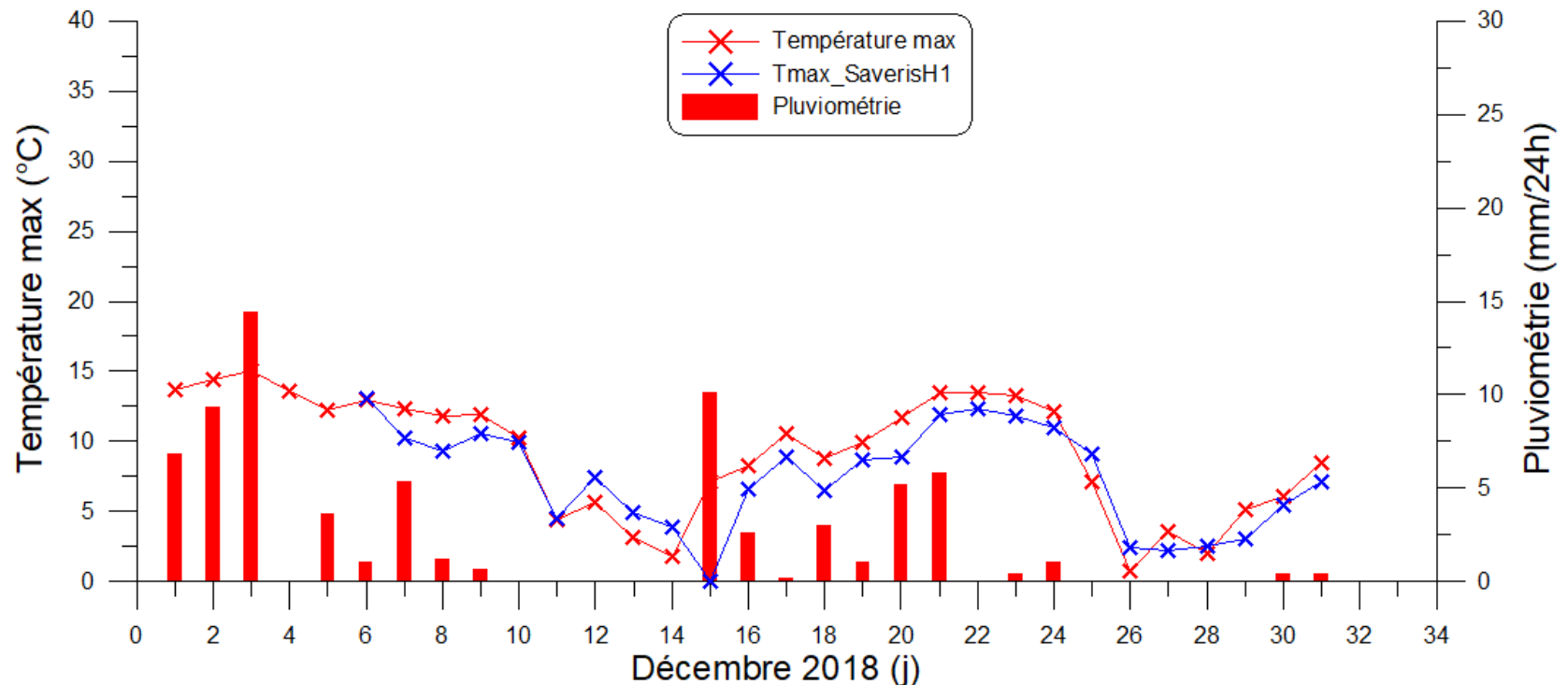
- Installation du thermo-hygromètre enregistreur sur la façade côté jardin



3- Instrumentation et opérations de suivi

→ Suivi météorologique

- Comparaison entre les mesures du thermo-hygromètre et celles sur Infoclimat

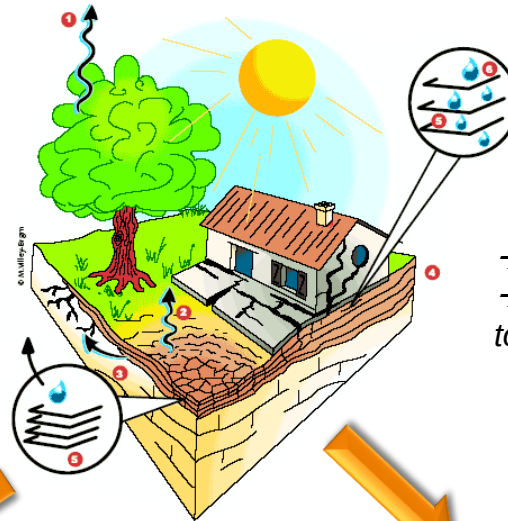
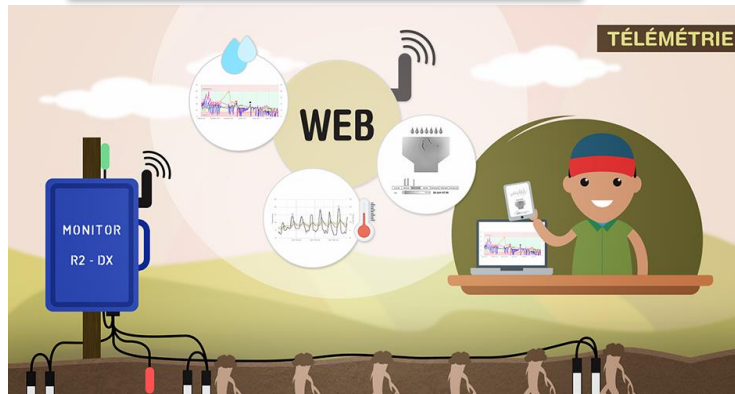


3- Instrumentation et opérations de suivi

Suivi des fissures

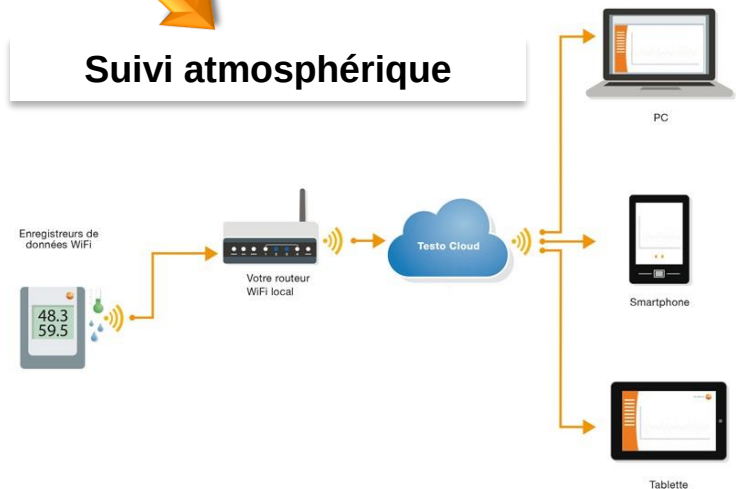


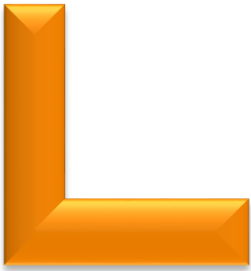
Suivi tensiométrique



→ Suivi en temps réel et en continu
→ Accès aux données partout et à tout moment

Suivi atmosphérique





4. Bilan des opérations de suivi 2017 et 2018

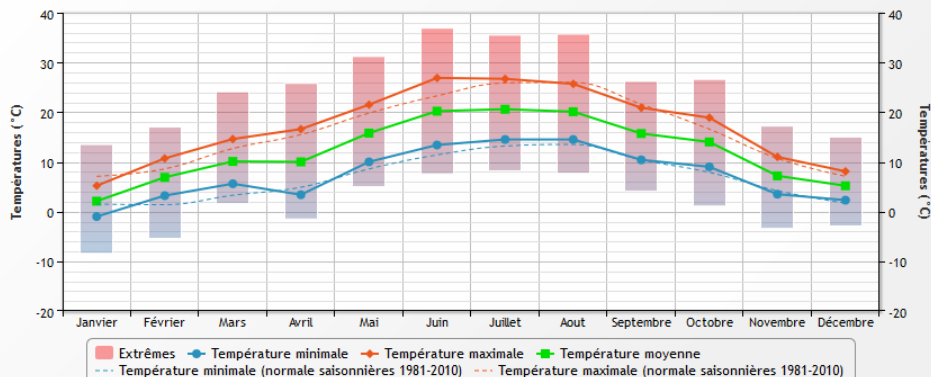
4- Bilan des opérations de suivi 2017 et 2018

→ Bilan météorologique

➤ Année 2017

Températures en 2017 à Blois

Ecart aux normales 1981-2010 sur l'année : Tmin: +0,5°C Tmax: +0,9°C Tmoy: +0,7°C

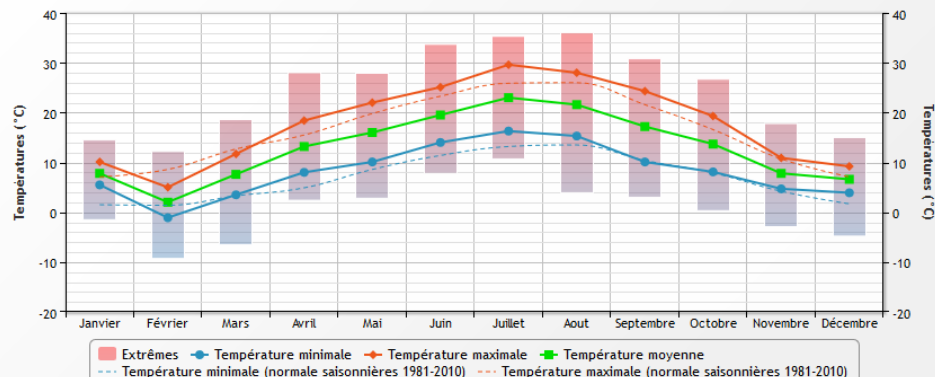


infoclimat.fr

➤ Année 2018

Températures en 2018 à Blois

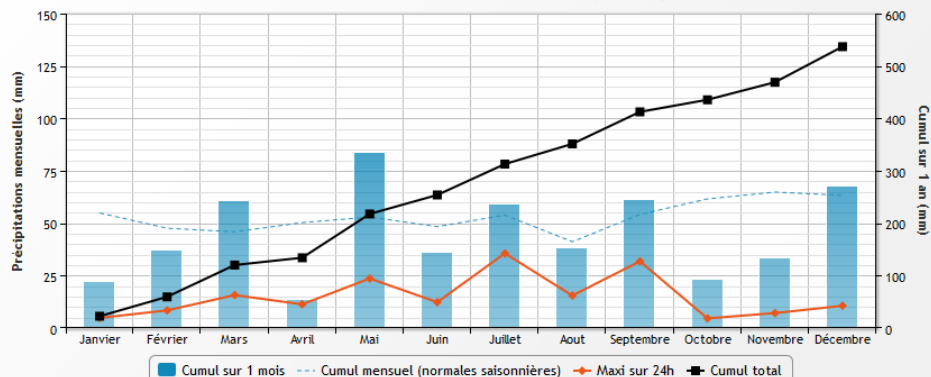
Ecart aux normales 1981-2010 sur l'année : Tmin: +1,3°C Tmax: +1,5°C Tmoy: +1,4°C



infoclimat.fr

Précipitations en 2017 à Blois

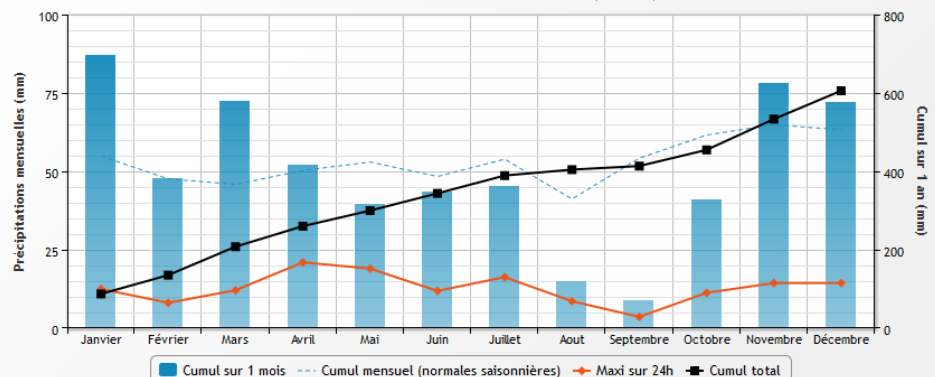
Ecart aux normales 1981-2010 sur l'année : -16% (-102.2mm)



infoclimat.fr

Précipitations en 2018 à Blois

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



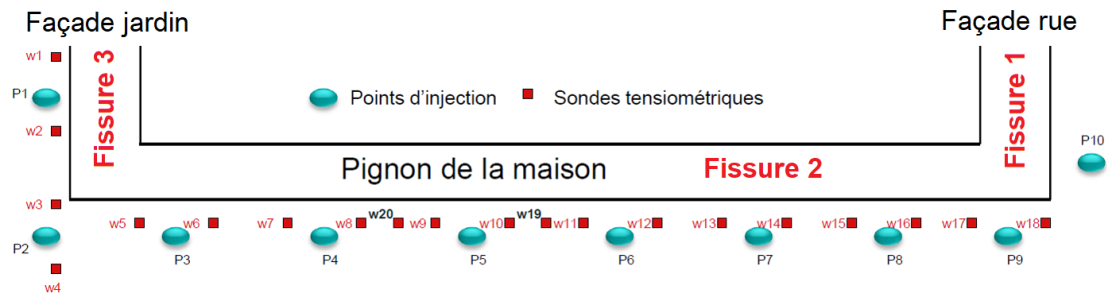
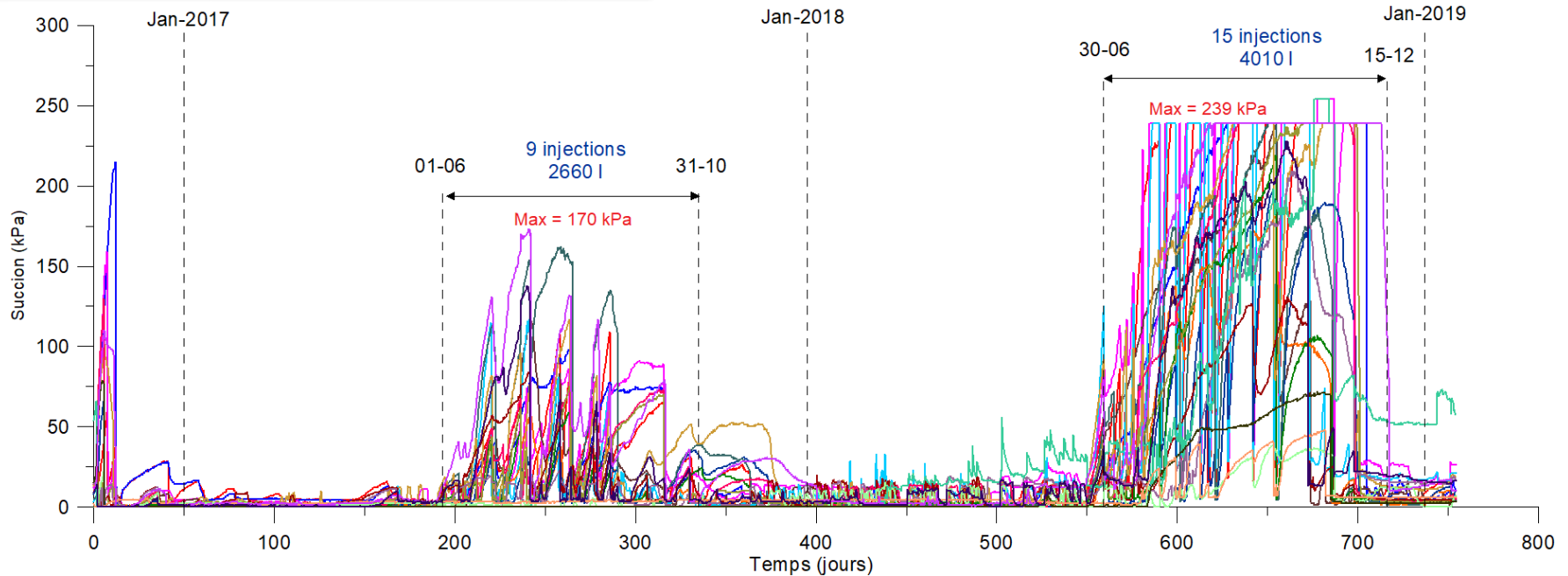
infoclimat.fr

Source : infoclimat.fr

4- Bilan des opérations de suivi 2017 et 2018

→ Bilan tensiométrique

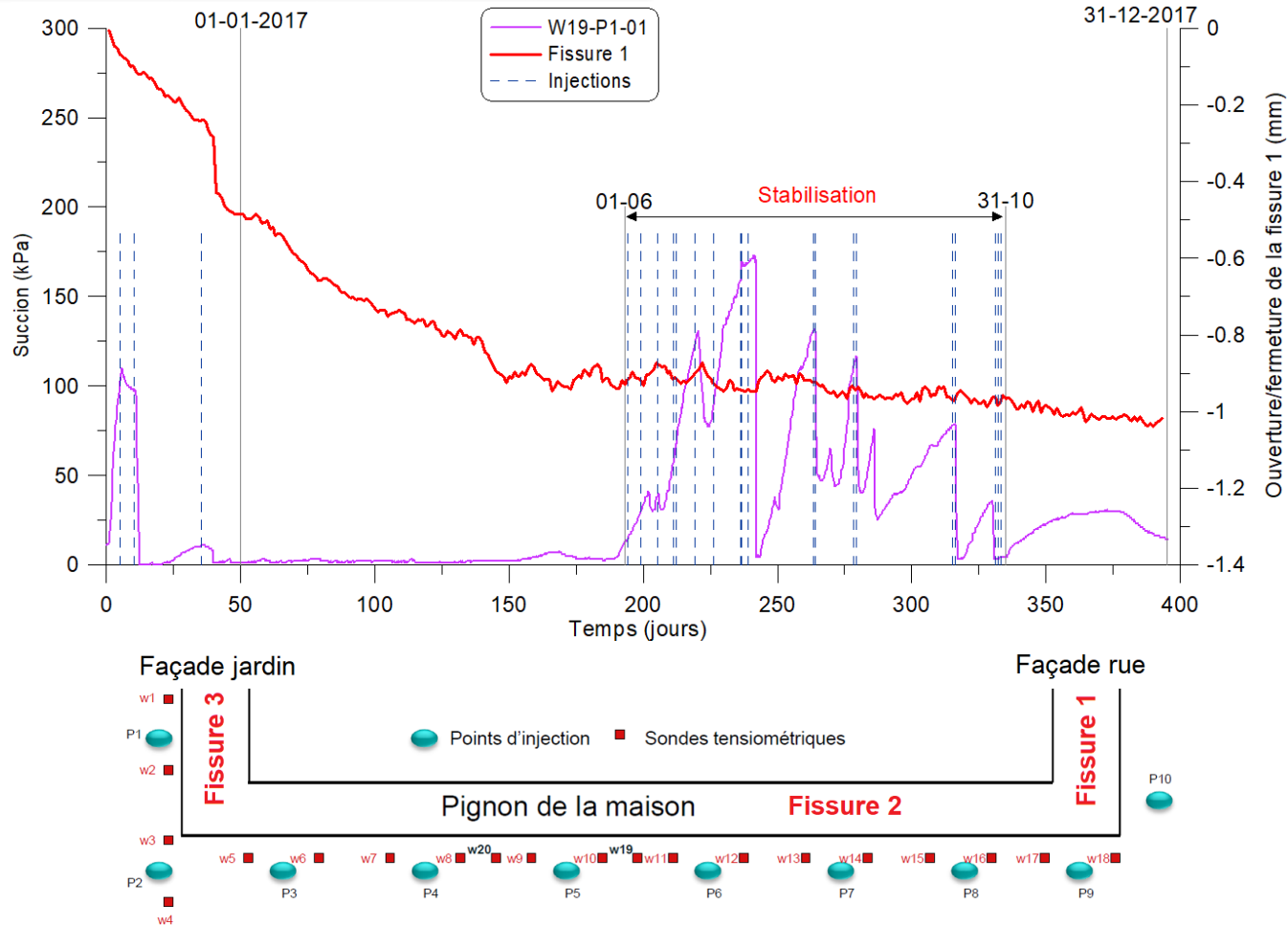
➤ Mesures des 20 sondes tensiométriques enregistrées



4- Bilan des opérations de suivi 2017 et 2018

→ Bilan des désordres et des injections

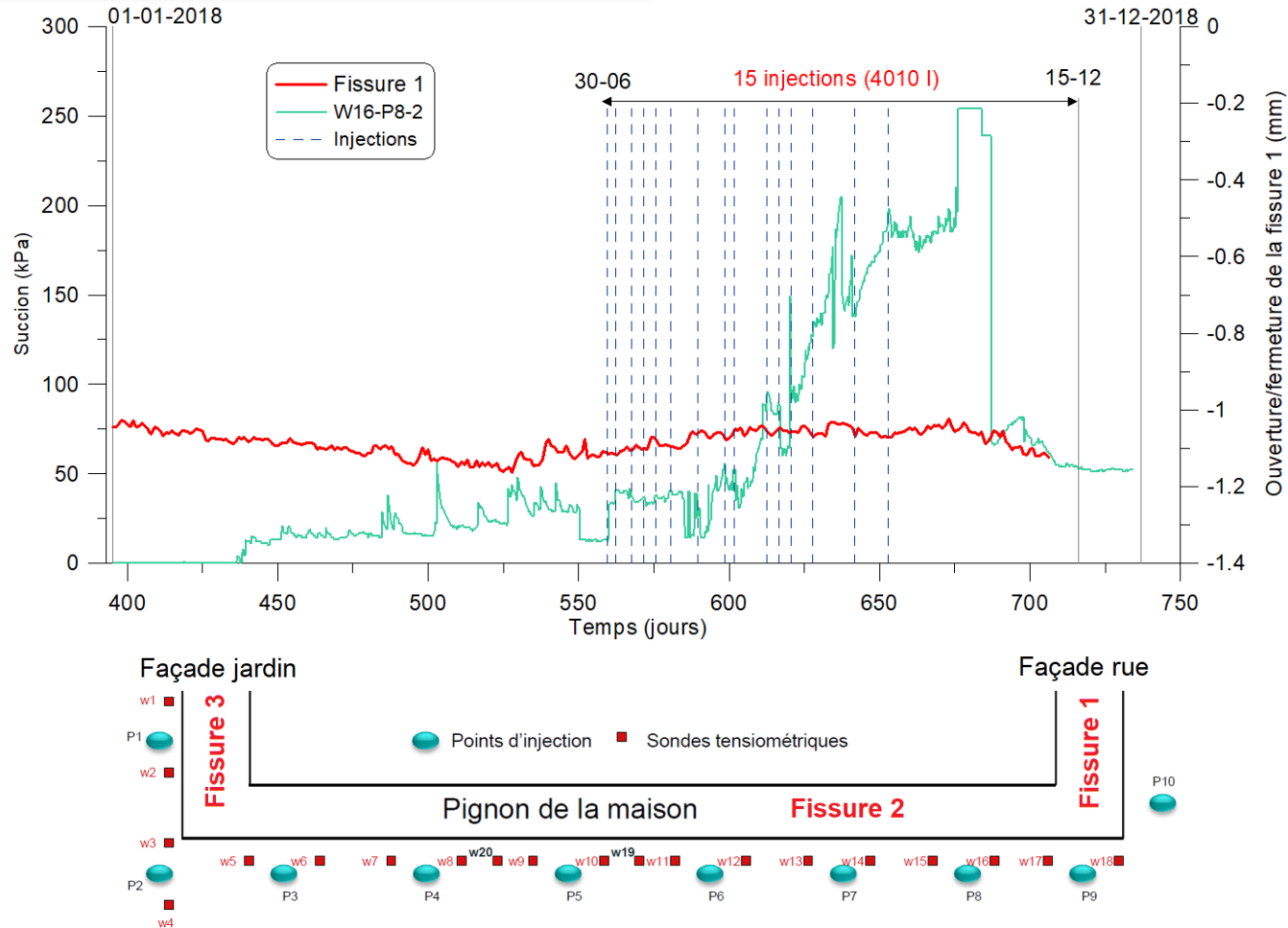
➤ Suivi de la fissure 1 en 2017



4- Bilan des opérations de suivi 2017 et 2018

→ Bilan des désordres et des injections

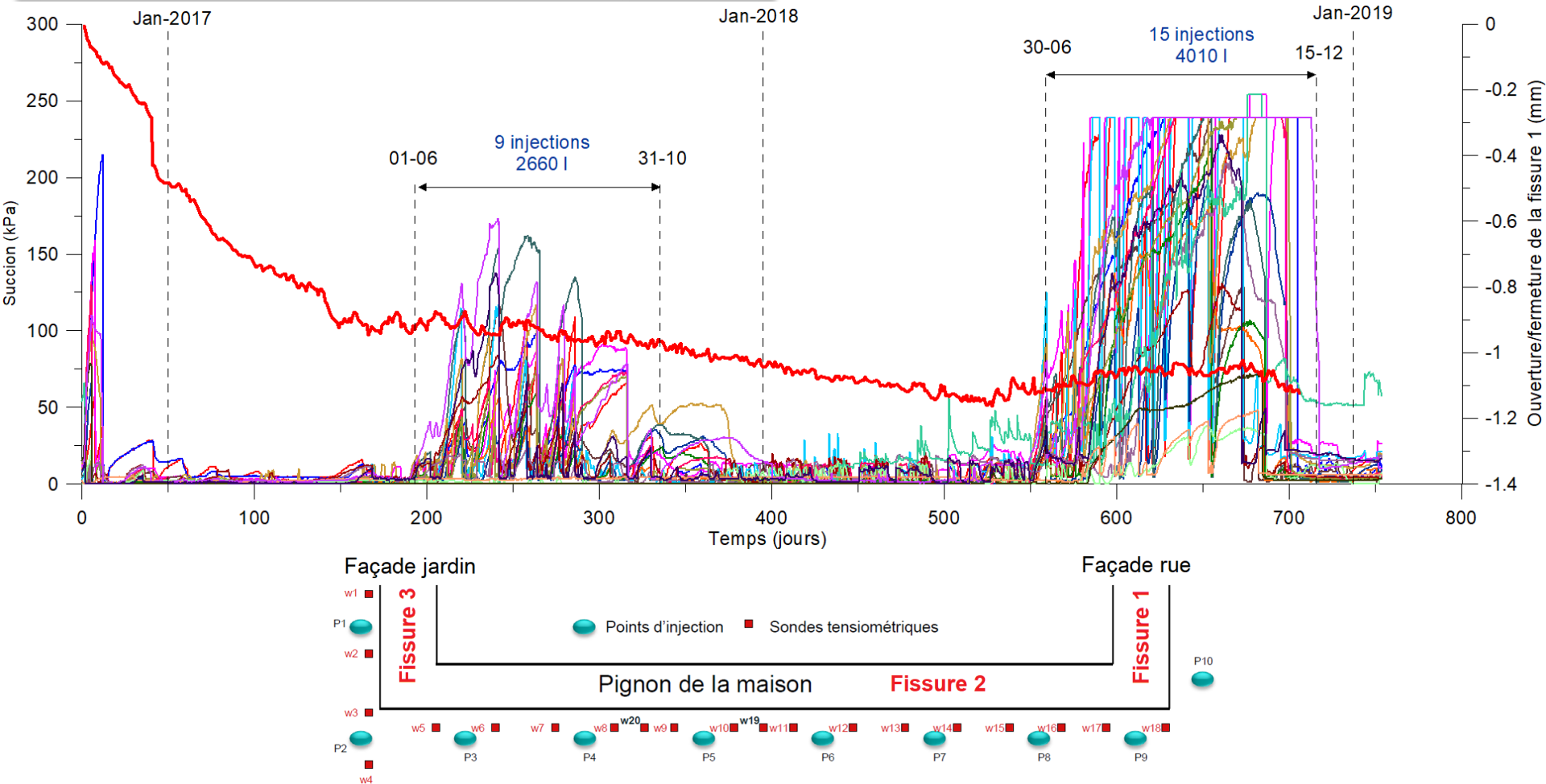
➤ Suivi de la fissure 1 en 2018



4- Bilan des opérations de suivi 2017 et 2018

→ Bilan des désordres et des injections

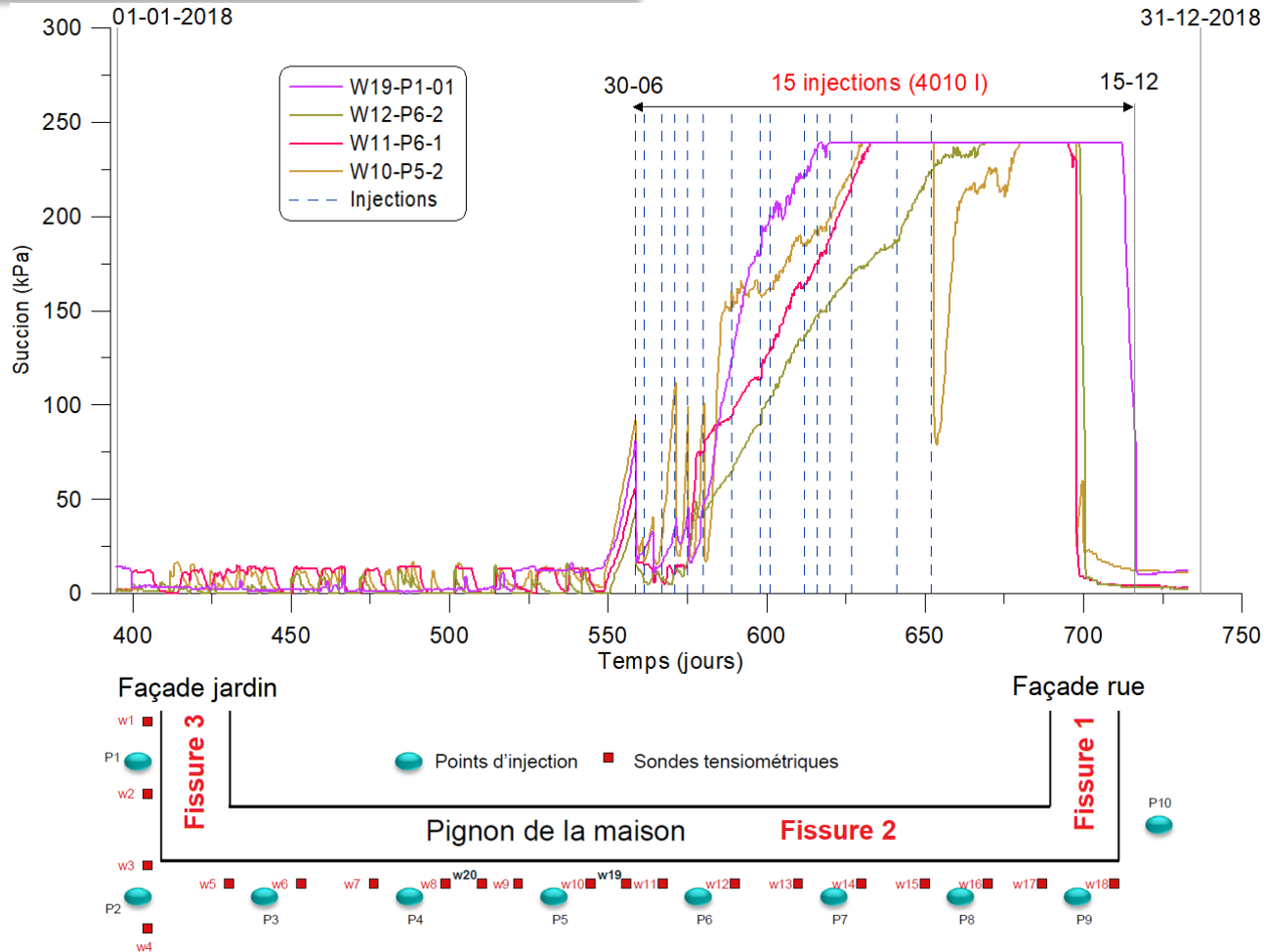
➤ Suivi de la fissure 1 en 2017 et 2018



4- Bilan des opérations de suivi 2017 et 2018

→ Bilan des désordres et des injections

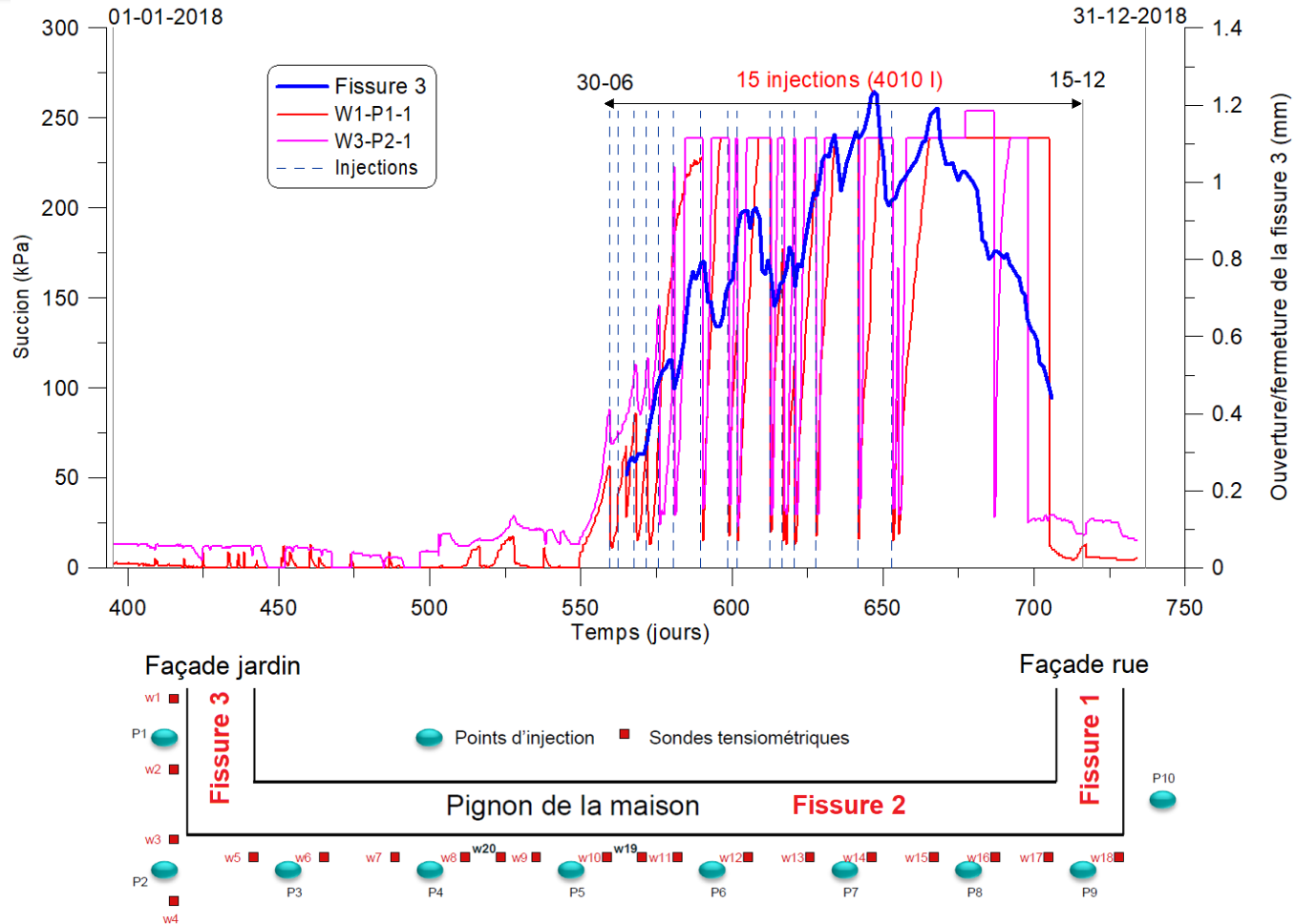
➤ Suivi de la fissure 2 en 2018

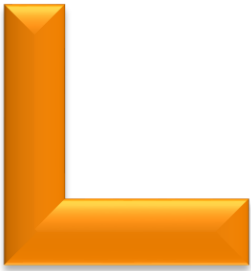


4- Bilan des opérations de suivi 2017 et 2018

→ Bilan des désordres et des injections

➤ Suivi de la fissure 3 en 2018





5. Conclusions et perspectives

5- Conclusions et perspectives

→ Conclusions

- La capacité de stockage d'eau de pluie initiale a été augmentée courant 2017 pour atteindre 2300 litres.
- Un volume total de 2660 litres a été injecté en 2017 contre 4010 litres en 2018.
- Une valeur maximale de la succion (170 kPa) a été enregistrée en 2017 au milieu du pignon.
- Suite à la sécheresse de l'été 2018, la succion maximale du dispositif (239 kPa) a été atteinte à plusieurs reprises nécessitant plus d'injections.
- Les injections effectuées suite à des pics de succion ont une incidence directe sur la chute de celle-ci et la stabilisation des fissures durant cette période.

5- Conclusions et perspectives

→ Perspectives

- Poursuivre les opérations de suivi en 2019 : météo, tensiométrie, injections et désordres.
- Acquisition d'un capteur de déplacement horizontal connecté afin de suivre la fissure 2 sur la façade pignon.
- Remplacer les fissuromètres SITES par des capteurs de déplacement vertical connectés.
- Valorisation de l'étude en présentant le bilan MACH 2018 dans une conférence internationale (MYGEC 2019 et EVAN 2019).



Cerema

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

Merci pour votre attention

Lamine IGHIL AMEUR

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