

Effets des sécheresses sur les maisons individuelles et solutions de remédiation et d'adaptation au changement climatique

Lamine IGHIL AMEUR



PLAN DE PRÉSENTATION

- 1 Sécheresse & RGA : actualités et bilan météorologique
- 2 Phénomène du RGA : définitions
- 3 Effets de la sécheresse sur les maisons individuelles
- 4 Solutions de remédiation classiques disponibles
- 5 Recherche de nouvelles solutions d'adaptation au changement climatique
- 6 Solution MACH : principe et expérimentation
- 7 Cartographie des projets sécheresse- RGA
- 8 Conclusions et perspectives



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

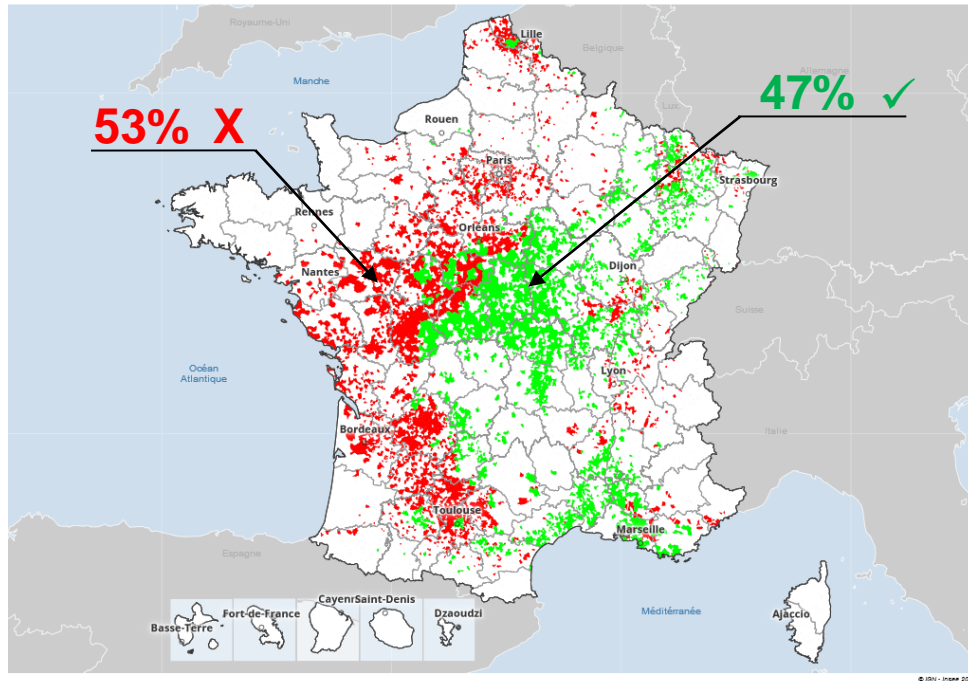
1. Sécheresse & RGA : actualités et bilan météorologique

1. SÉCHERESSE & RGA : ACTUALITÉS ET BILAN MÉTÉOROLOGIQUE

- Actualités 2020 : arrêts Cat-Nat sécheresse 2019

➤ Cat-Nat sécheresse 2019 | Bilan des 5 arrêts*

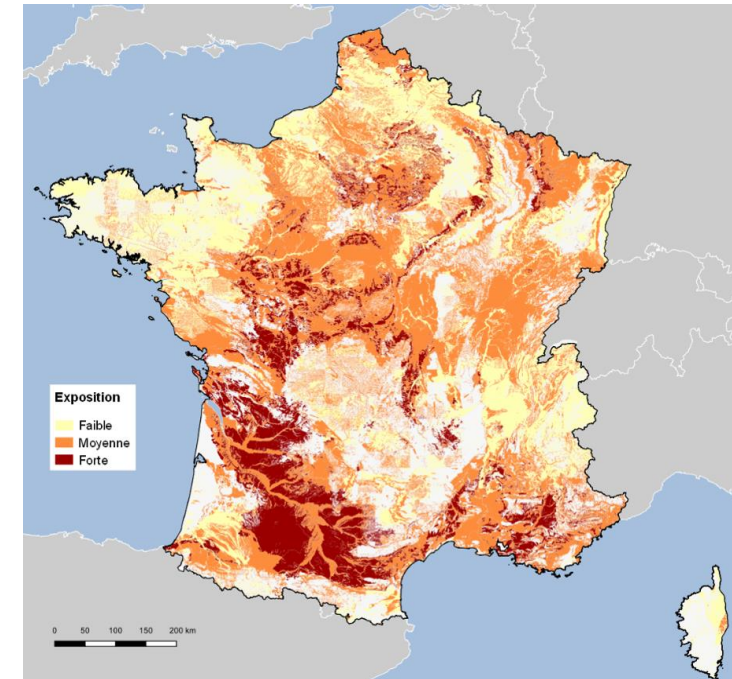
Arrêtés Cat-Nat sécheresse 2019 - version du 01/11/2020 - Source : <https://catastrophes-naturelles.ocr.fr/les-arretes>



Crédit photo : © IGN – Insee 2020
Réalisation : L. Ighil Ameur
Données : [CCR](#) 2020

- *[Arrêté 1](#) paru le 12/06/2020 au JORF
- *[Arrêté 2](#) paru le 10/07/2020 au JORF
- *[Arrêté 3](#) paru le 29/07/2020 au JORF
- *[Arrêté 4](#) paru le 03/09/2020 au JORF
- *[Arrêté 5](#) paru le 25/10/2020 au JORF

➤ Nouvelle carte d'exposition RGA du BRGM



Crédit photo : © BRGM 2020
Pour tout savoir sur l'élaboration de cette carte : [cliquer ici](#)

1. SÉCHERESSE & RGA : ACTUALITÉS ET BILAN MÉTÉOROLOGIQUE

- Actualités 2020 : nouvelle interface du site « Géorisques »

- S'informer sur les risques près de chez soi

GÉORISQUES
Essenciers pour une Terre durable
brgm

Accueil Mes risques S'informer Données Aide

Mieux connaître les risques sur le territoire

CONNAÎTRE LES RISQUES PRÈS DE CHEZ SOI RENSEIGNER UN ÉTAT DES RISQUES

LES RISQUES NATURELS

- Mouvements de terrain
- Séismes
- Cavités souterraines
- Inondations
- Volcanisme
- Feux de forêt
- Retrait/gonflement des argiles

LES RISQUES TECHNOLOGIQUES

- Pollution des sols, SIS et anciens sites industriels
- Réseaux et canalisations
- Registre des émissions polluantes
- Installations classées

Crédit photo : © BRGM 2020
Pour tout savoir sur Géorisques : [cliquer ici](#)

- Exemple : les risques dans la commune de Dhuizon (41220)

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
GÉORISQUES
Mieux connaître les risques sur le territoire

Descriptif des risques
Édité le 14/10/2020 à 17h54

Attention : ce descriptif n'est pas un état des risques et pollutions (ERP) conforme aux articles L-125-5 et R125-26 du code de l'Environnement. Ce descriptif est délivré à titre informatif. Il n'a pas de valeur juridique. Pour plus d'information, consultez les précautions d'usage en annexe de ce document.

Localisation

Information sur la commune:
41220 - DHUIZON

Informations sur la commune

Nom : DHUIZON
Code Postal : 41220
Département : LOIR-ET-CHER
Région : Centre-Val de Loire

Code INSEE : 41074
Commune dotée d'un DICRIM : Non
Nombre d'arrêtés de catastrophes naturelles : 5 (détails en annexe)
Population à la date du 02/07/2007 : 1430

Quels risques peuvent impacter la localisation ?

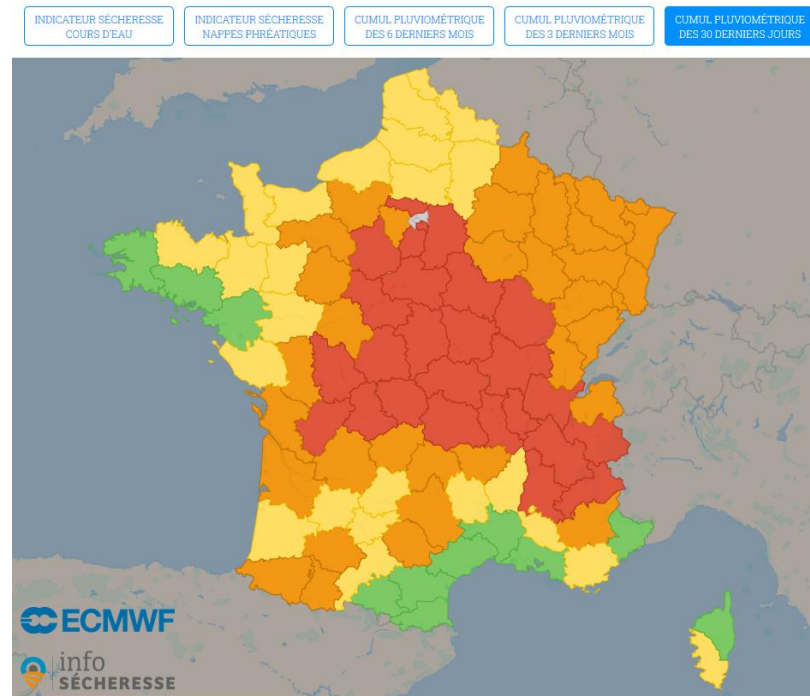
- Retrait-gonflements des sols
Aléa faible
- Séismes
1 - TRES FAIBLE
- Installations industrielles
- Sites inventaire BASIAS

Crédit photo : © BRGM 2020

1. SÉCHERESSE & RGA : ACTUALITÉS ET BILAN MÉTÉOROLOGIQUE

- Actualités 2020 : nouvelle plateforme d'information en continu sur la sécheresse

➤ Info-sécheresse.fr | Nouveau service gratuit lancé par imaGeau

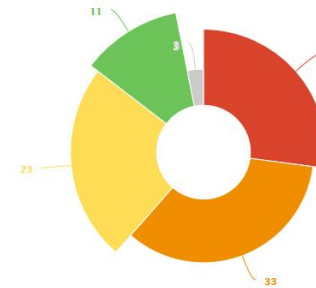


FRANCE MÉTROPOLITAINE
Cumul pluviométrique des 30 derniers jours ④
2 décembre 2020

- Nombre de stations d'observations : 1038
- Source des données : ECMWF / ERA5

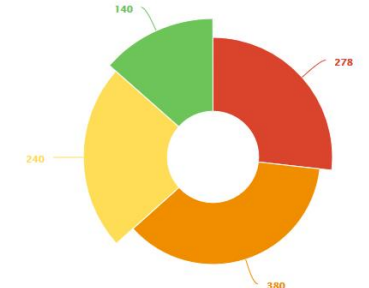
CONSULTER LES ARRÊTÉS SÉCHERESSE SUR PROPLUVIA

ETAT DES DÉPARTEMENTS



(Cumul pluviométrique des 30 derniers jours statistiquement le plus représentatif du département)

ETAT DES STATIONS D'OBSERVATION



(Cumul pluviométrique des 30 derniers jours des stations)

Catégorie	Sécheresse extrême	Grande sécheresse	Sécheresse modérée	Situation normale	Modérément humide	Très humide	Extrêmement humide	Indéfini
Probabilité d'occurrence	1 fois tous les 50 ans	1 fois tous les 20 ans	1 fois tous les 10 ans	Situation normale	1 fois tous les 10 ans	1 fois tous les 20 ans	1 fois tous les 50 ans	Absence de données depuis 7 jours
Indicateur pluviométrique standardisé	< -2	De -1,99 à -1,5	De -1,49 à -1	De -0,99 à 0,99	De 1,0 à 1,49	De 1,5 à 1,99	> 2	N/A

Nouveauté dans la gestion et l'exploitation des ressources en eau, [imaGeau](https://www.imaGeau.fr) vient de mettre en ligne [info-sécheresse.fr](https://www.info-secheresse.fr), un service gratuit d'information en temps réel et d'aide à la décision, destiné à tous les acteurs concernés par la sécheresse

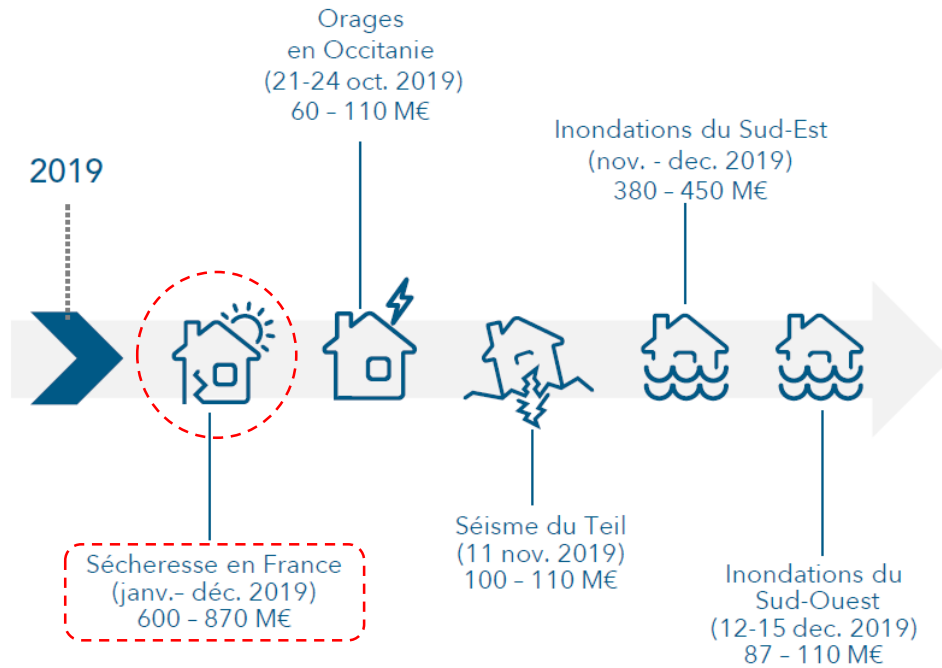
Plus d'infos : [cliquer ici](#)

Crédit photo : © imaGeau 2020

1. SÉCHERESSE & RGA : ACTUALITÉS ET BILAN MÉTÉOROLOGIQUE

- Actualités 2020 : réassurances publiques et carte de prévisions sécheresse

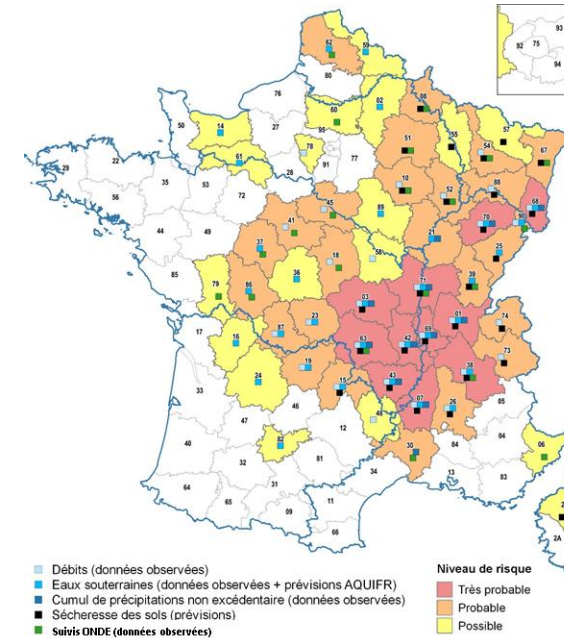
➤ Sinistres 2019 : réassurances publiques



Crédit photo : © CCR 2020

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

➤ Prévisions sécheresse 2020 : carte inédite



Crédit photo : © Ministère Transition Écologique Solidaire, 2020

Nota: différentes données ont été croisées, fournies par Météo France, le BRGM et EDF. Cette carte repose sur des prévisions météorologiques de températures et de précipitations, des relevés de débit des cours d'eau, de niveau des nappes souterraines, de barrages réservoirs, et tient compte aussi de l'épaisseur du manteau neigeux.

Sources : [Le Monde](#), [La Nouvelle République](#).

1. SÉCHERESSE & RGA : ACTUALITÉS ET BILAN MÉTÉOROLOGIQUE

- Actualités 2020 : arsenal législatif prévu par l'article 68 de la loi Elan pour réduire la sinistralité liée à la sécheresse

➤ Arrêté du 22 juillet 2020 ([Art. 68 loi Elan](#) - évolution du logement, de l'aménagement et du numérique)

6
août
2020

Études
géotechniques
obligatoires

Arrêté du 22 juillet 2020 définissant le contenu des études géotechniques à réaliser dans les zones exposées au phénomène de mouvement de terrain différentiel consécutif à la sécheresse et à la réhydratation des sols

[Cliquer ici](#)

9
août
2020

Zonage : carte
d'exposition
RGA

Arrêté du 22 juillet 2020 définissant les zones exposées au phénomène de mouvement de terrain différentiel consécutif à la sécheresse et à la réhydratation des sols argileux

[Cliquer ici](#)

15
août
2020

Techniques
particulières de
construction

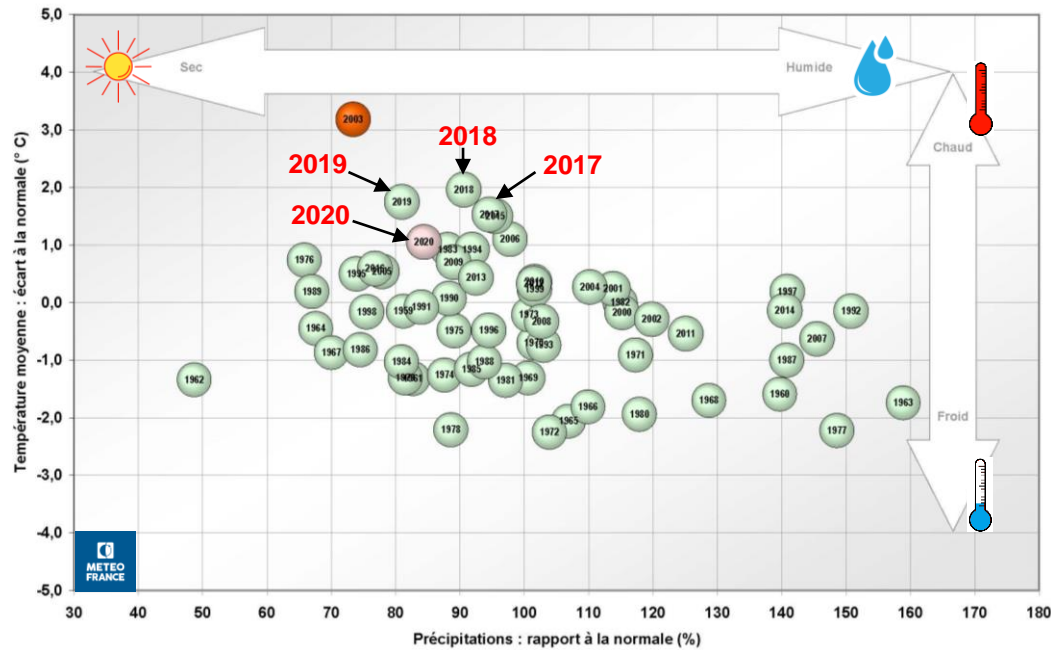
Arrêté du 22 juillet 2020 relatif aux techniques particulières de construction dans les zones exposées au phénomène de mouvement de terrain différentiel consécutif à la sécheresse et à la réhydratation des sols

[Cliquer ici](#)

1. SÉCHERESSE & RGA : ACTUALITÉS ET BILAN MÉTÉOROLOGIQUE

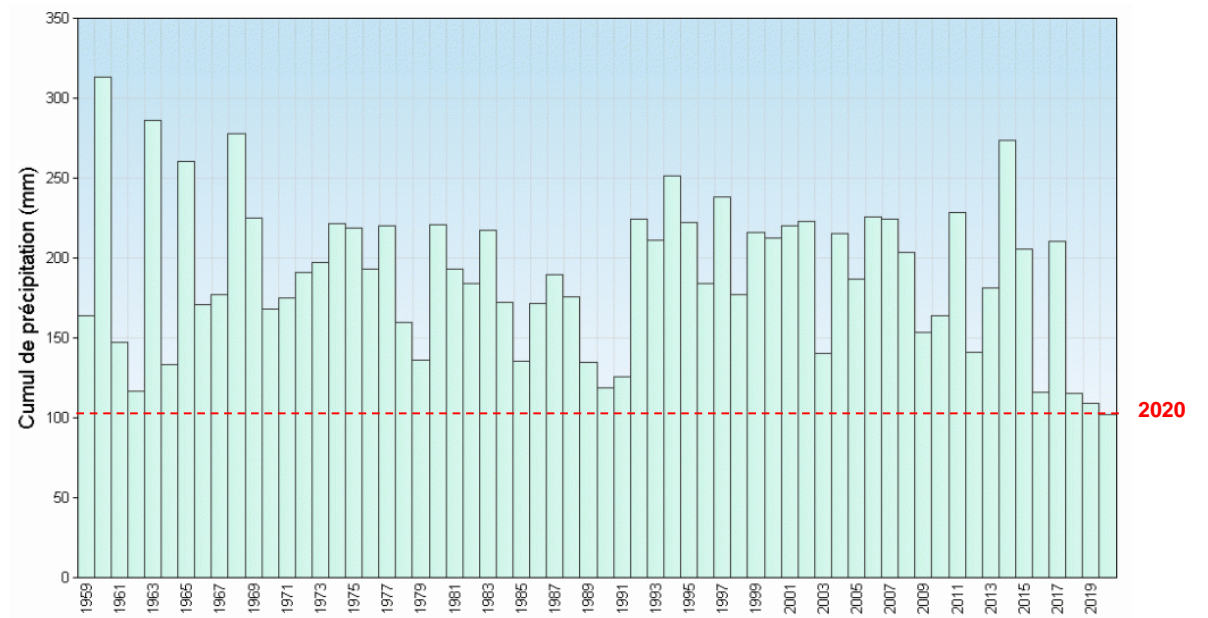
- Actualités 2020 : bilan météorologique de l'été (juin-juillet-août) en termes de températures et de précipitations

➤ Températures et précipitations en été de 1959 à 2020



Crédit photo : © Météo France 2020
 Pour en savoir plus : [cliquer ici](#)

➤ Cumul de précipitations agrégées du 21/06 au 20/09 en France de 1959 à 2020



Crédit photo : © Météo France 2020
 Pour en savoir plus : [cliquer ici](#)

**Été 2020
 le plus sec***

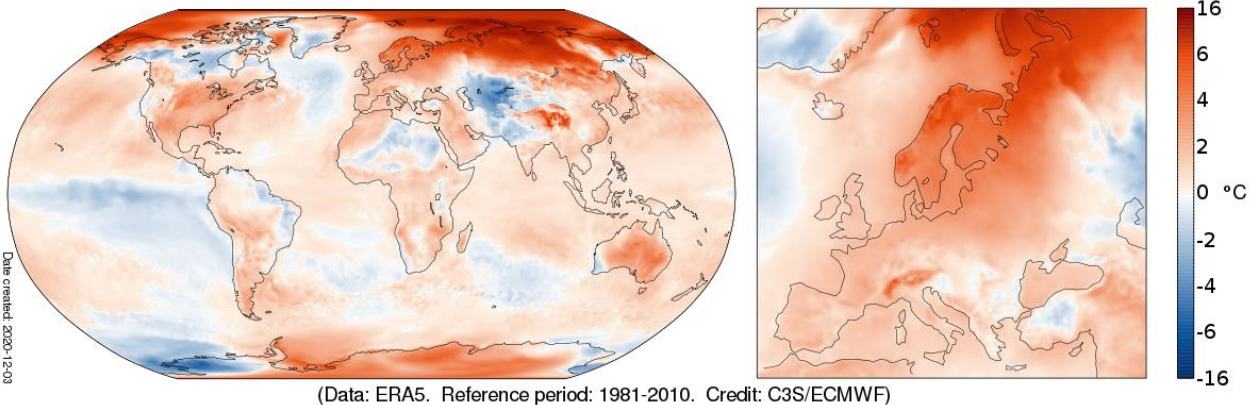
*Depuis au moins 1959

1. SÉCHERESSE & RGA : ACTUALITÉS ET BILAN MÉTÉOROLOGIQUE

- Actualités 2020 : bilan météorologique du mois de novembre 2020 en termes de températures et de précipitations

➤ Mois de novembre 2020, le plus chaud jamais enregistré selon le service européen Copernicus

Surface air temperature anomaly for November 2020



Copernicus
European Union

ECMWF

Climat
Climate Service

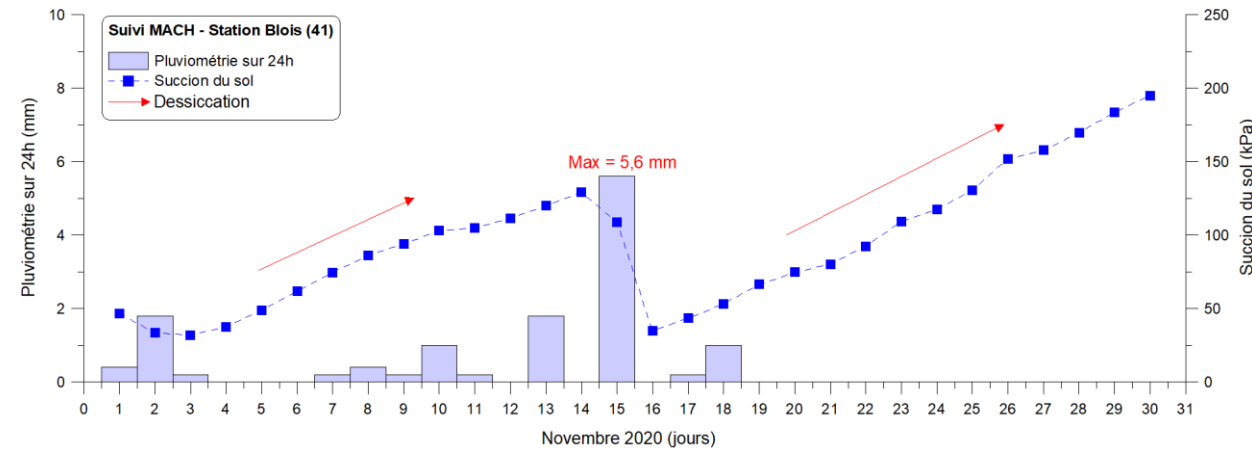
Pour en savoir plus : [cliquer ici](#)

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

➤ Températures et précipitations courant novembre 2020 à la station Blois (41) et évolution de la succion du sol (projet MACH)

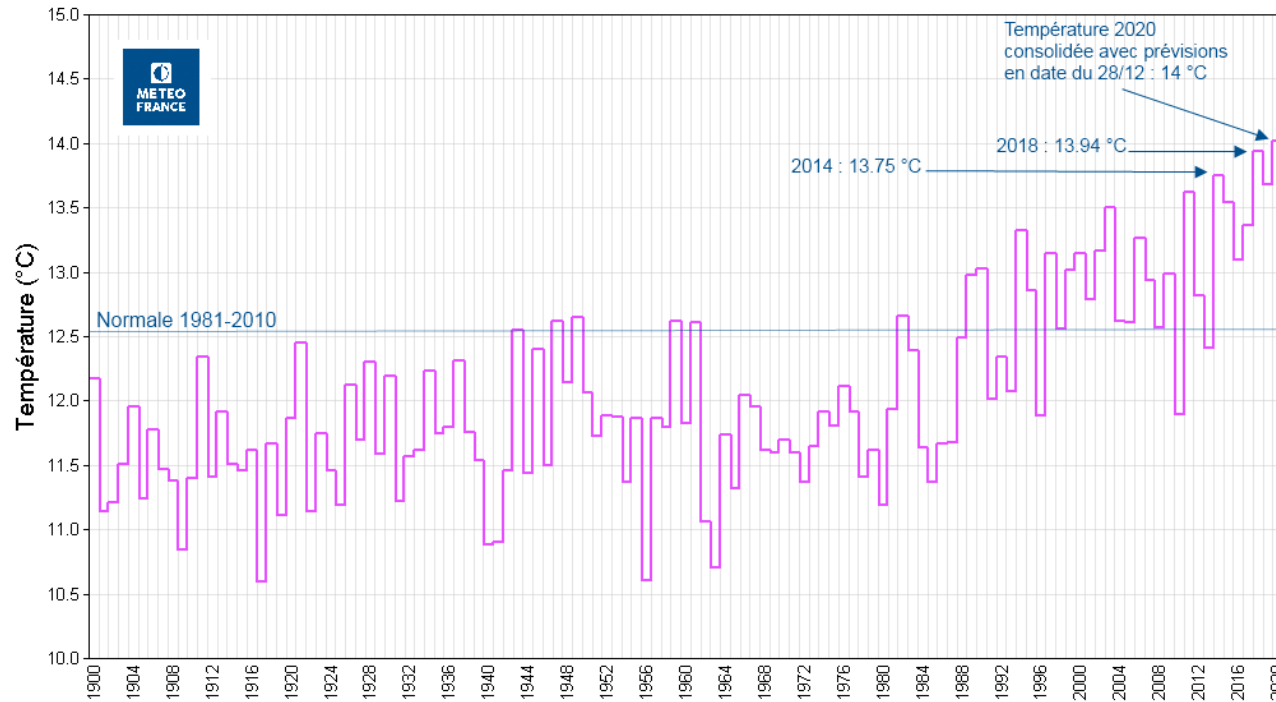


Pour en savoir plus : [cliquer ici](#)

1. SÉCHERESSE & RGA : ACTUALITÉS ET BILAN MÉTÉOROLOGIQUE

- Actualités 2020 : bilan météorologique de l'année 2020 en France en termes de températures

Température moyenne annuelle sur la France depuis 1900



2020, l'année la plus chaude en France*

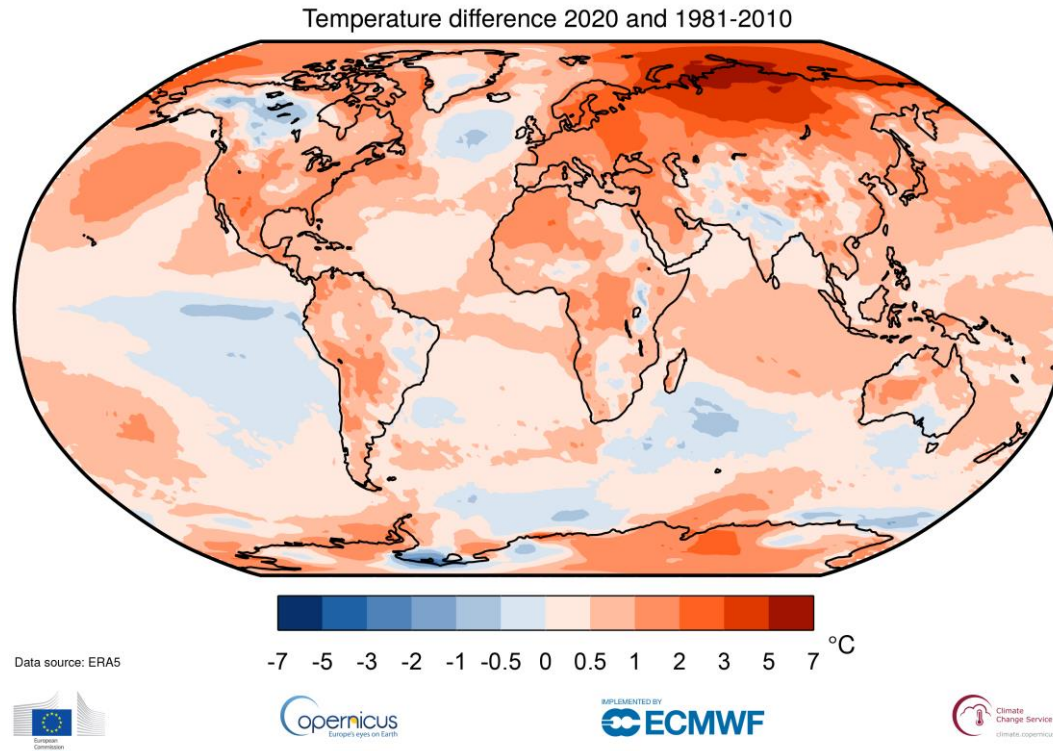
**Depuis 1900*

Crédit photo : © Météo France 2020
Pour en savoir plus : [cliquer ici](#)

1. SÉCHERESSE & RGA : ACTUALITÉS ET BILAN MÉTÉOROLOGIQUE

- Actualités 2020 : bilan météorologique de l'année 2020 à l'échelle du globe en termes de températures

- Cartographie des températures à l'échelle du globe par rapport à la normale de référence 1981-2010



**2020, l'année
la plus chaude jamais
enregistrée pour
l'Europe**

*Dans le monde, 2020 se rapproche de
2016 pour l'année la plus chaude jamais
enregistrée*

Crédit photo : © Copernicus Climate Change Service/ECMWF 2020
Pour en savoir plus : [cliquer ici](#)



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



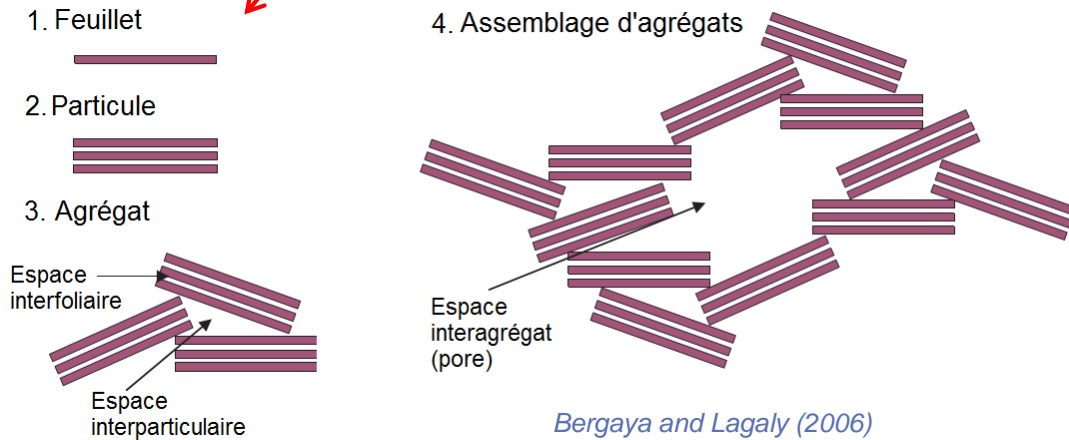
Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

2. Phénomène du RGA : définitions

2. PHÉNOMÈNE DU RGA : DÉFINITIONS

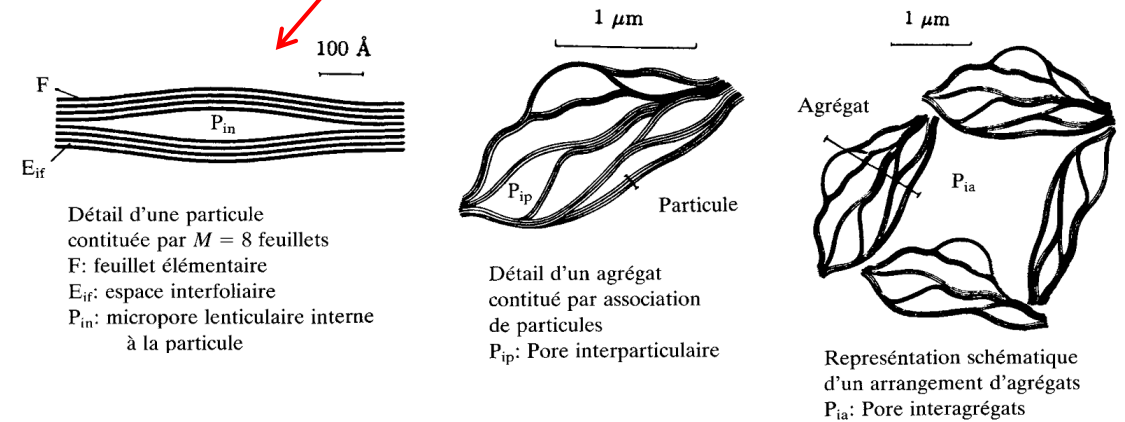
- Organisation structurale des argiles : exemples

➤ Argiles très peu gonflantes : exemple Kaolinite



Bergaya and Lagaly (2006)

➤ Argiles très gonflantes : exemple Smectite



Touret et al. (1990)

2. PHÉNOMÈNE DU RGA : DÉFINITIONS

- Phénomène de gonflement des sols argileux

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

➤ Kaolinite

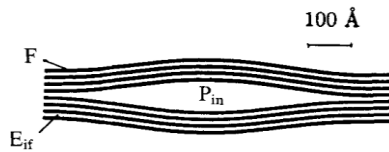
1. Feuille



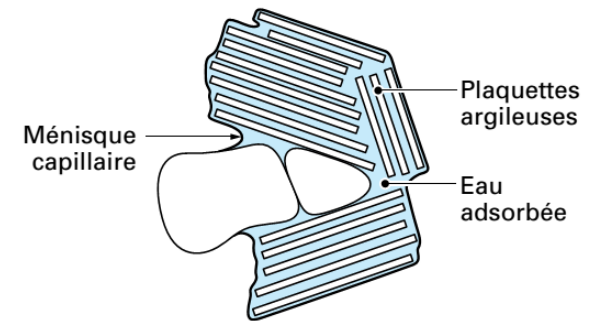
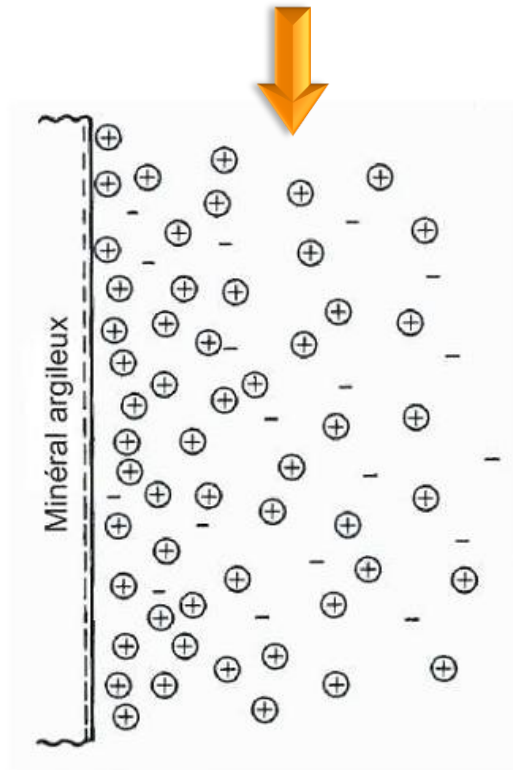
2. Particule



➤ Smectite



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

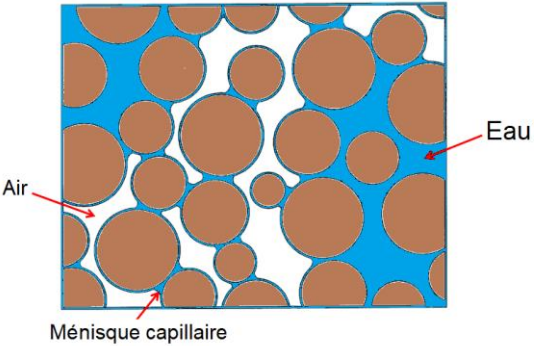


Delage et Cui (2000)

2. PHÉNOMÈNE DU RGA : DÉFINITIONS

- Quelques notions de la mécanique des sols et Courbe de rétention d'eau (Soil Water Characteristic Curve)

➤ Modèle élémentaire d'un sol



Volumes		Poids	
V _a	Air	W _a =0	} Vides
V _w	Eau	W _w	
V _s	Grains solides	W _s	

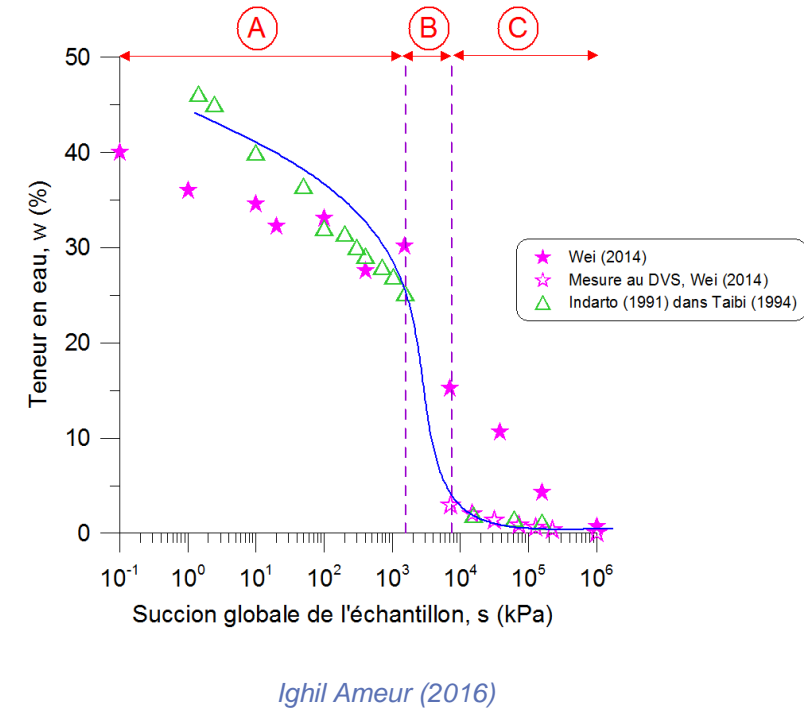
➤ Teneur en eau

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

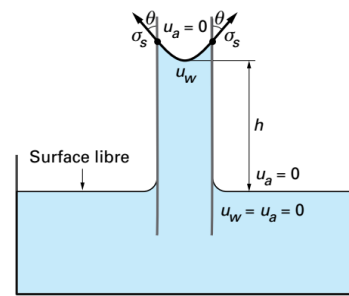
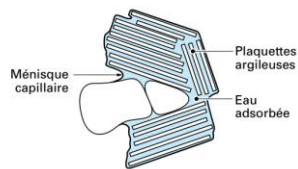
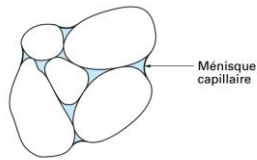
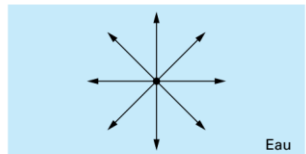
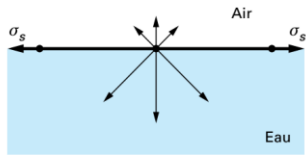
➤ Succion

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

➤ Relation entre la teneur en eau « w » et la succion du sol « s » : SWCC



➤ Capillarité et calcul de la succion

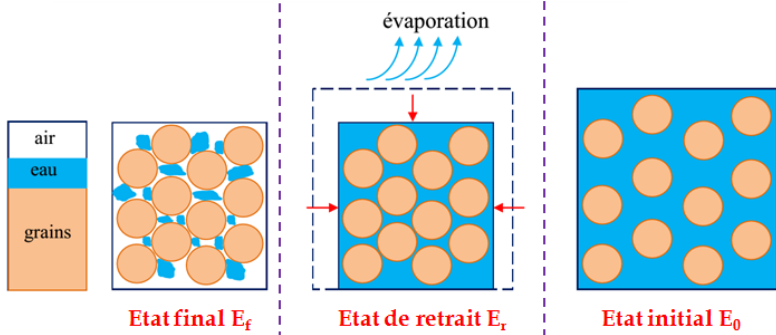
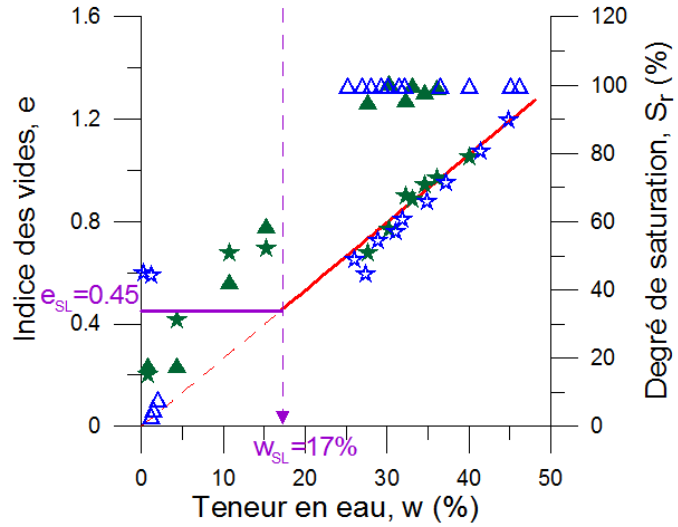


Delage et Cui (2000)

2. PHÉNOMÈNE DU RGA : DÉFINITIONS

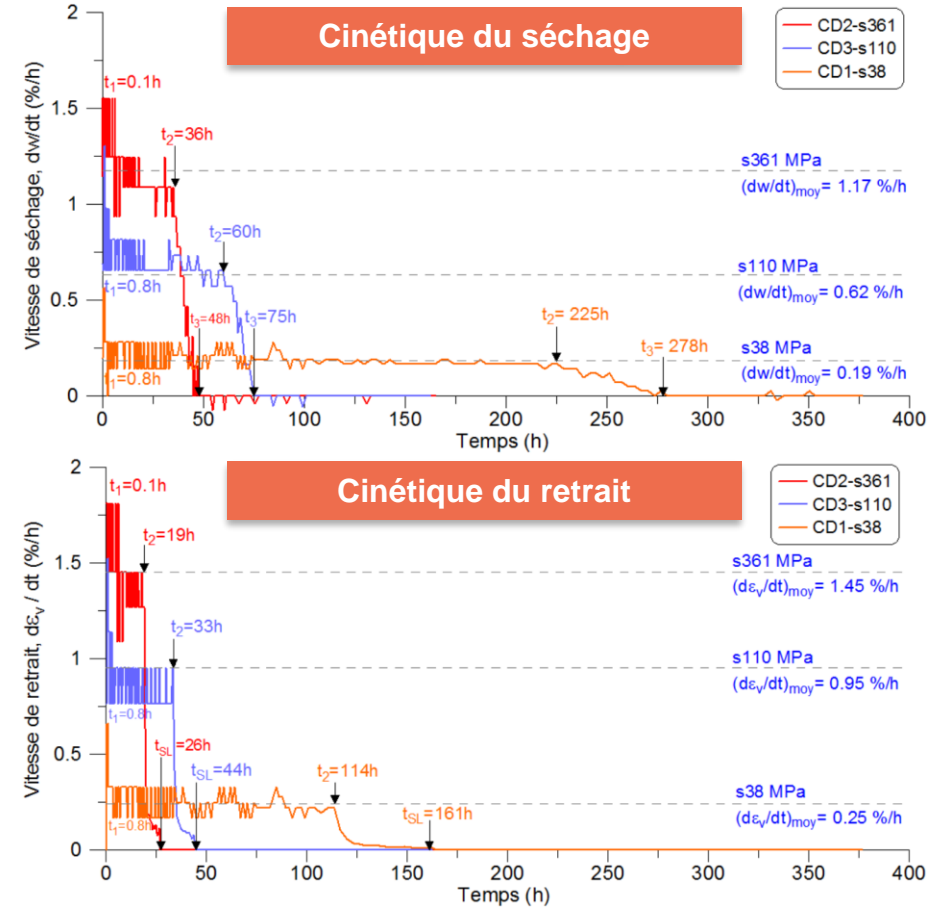
- Phénomène de retrait et effet de la succion

➤ Courbe expérimentale de retrait



Ighil Ameur (2016)

➤ Influence de la succion globale sur la vitesse de retrait



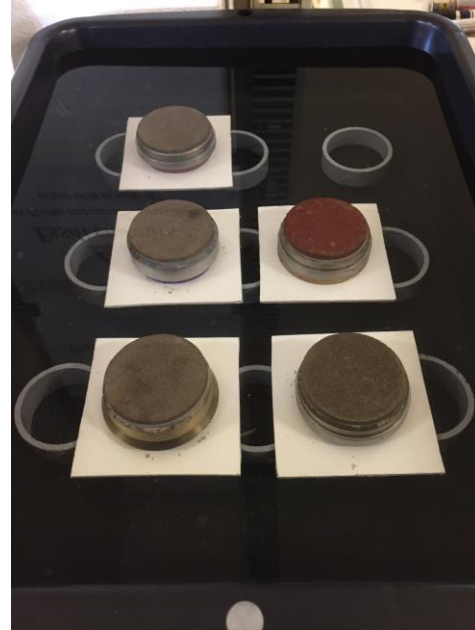
2. PHÉNOMÈNE DU RGA : DÉFINITIONS

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

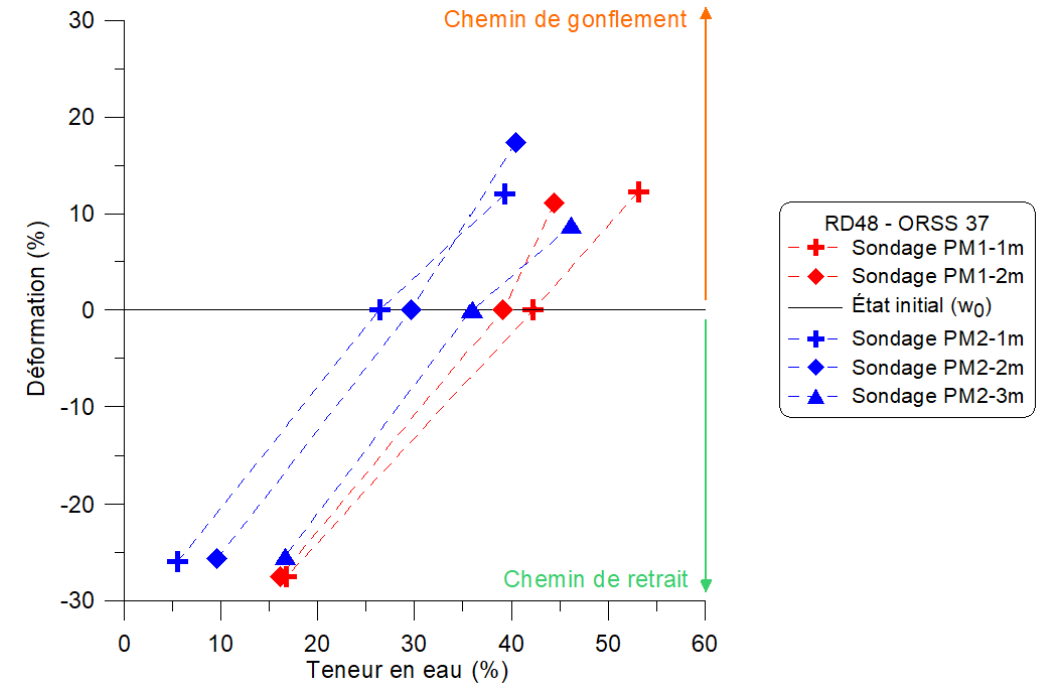
➤ Exemple de résultats des essais retrait-gonflement simplifiés sur les sols ORSS*



Essai de retrait simplifié



Essai de gonflement simplifié



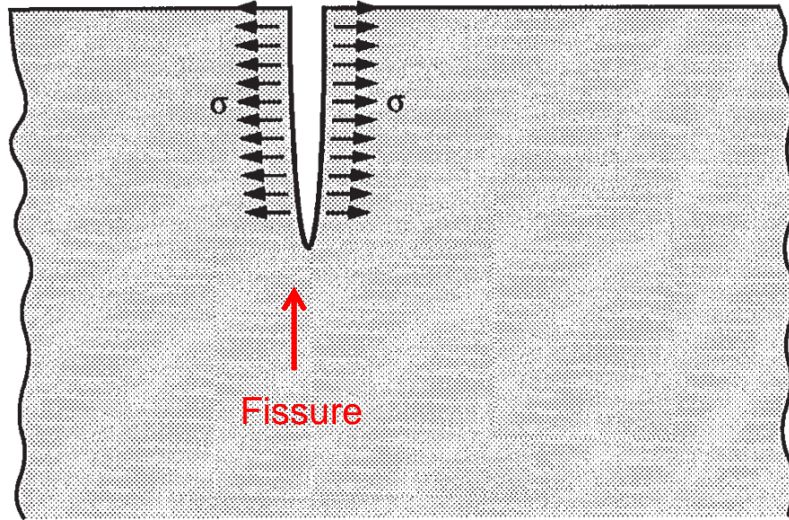
Les résultats montrent une amplitude moyenne de déformation de gonflement à 12% et une amplitude moyenne de déformation de retrait à 26%

*Observatoire des Routes Sinistrées par la Sécheresse

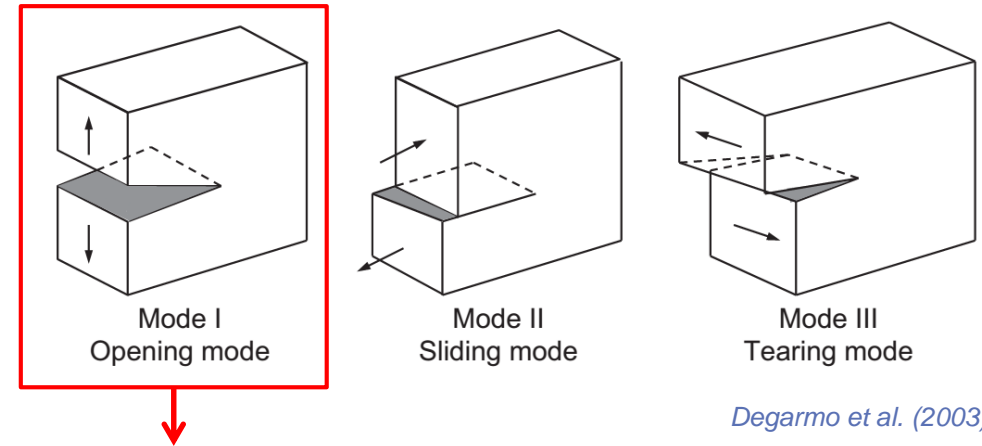
2. PHÉNOMÈNE DU RGA : DÉFINITIONS

- Fissuration par dessiccation : modes d'initiation

➤ Fissuration par dessiccation

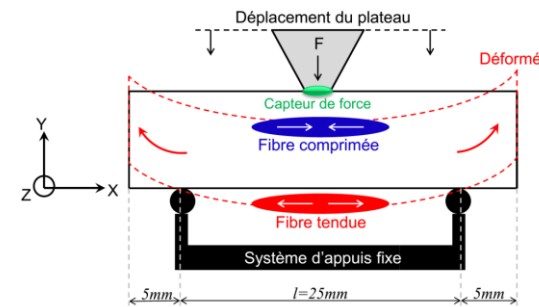


Konrad and Ayad (1997b)

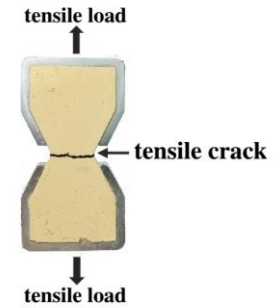


Degarmo et al. (2003)

Fissuration par traction (extension)



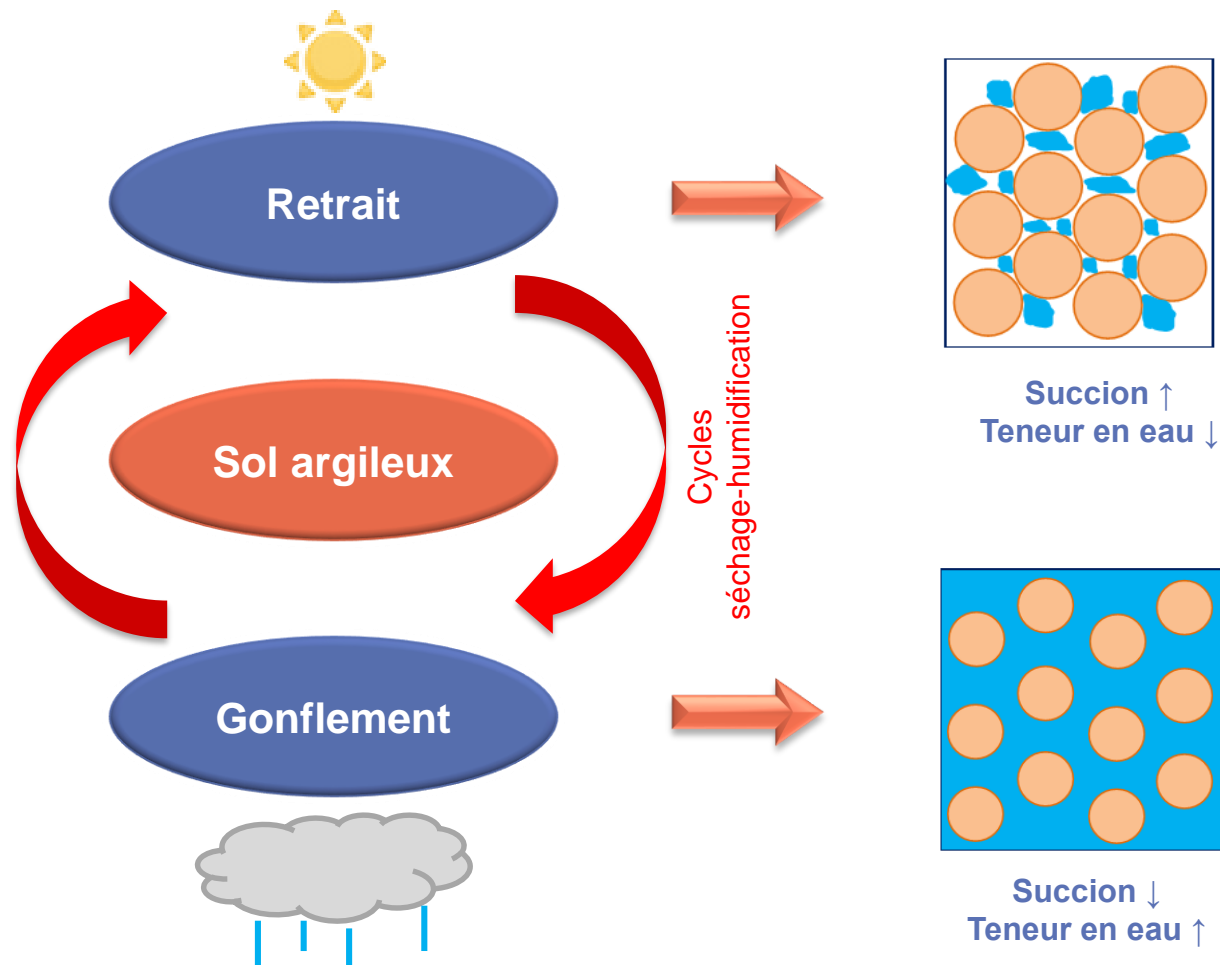
Ighil Ameur (2016)



Tang et al. (2014)

2. PHÉNOMÈNE DU RGA : DÉFINITIONS

- Principe du phénomène du retrait-gonflement des sols argileux (RGA)



Comment limiter les vulnérabilités des ouvrages affectés par les sécheresses et le RGA ?





RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



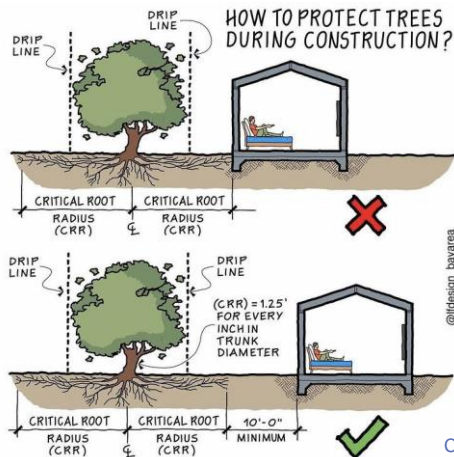
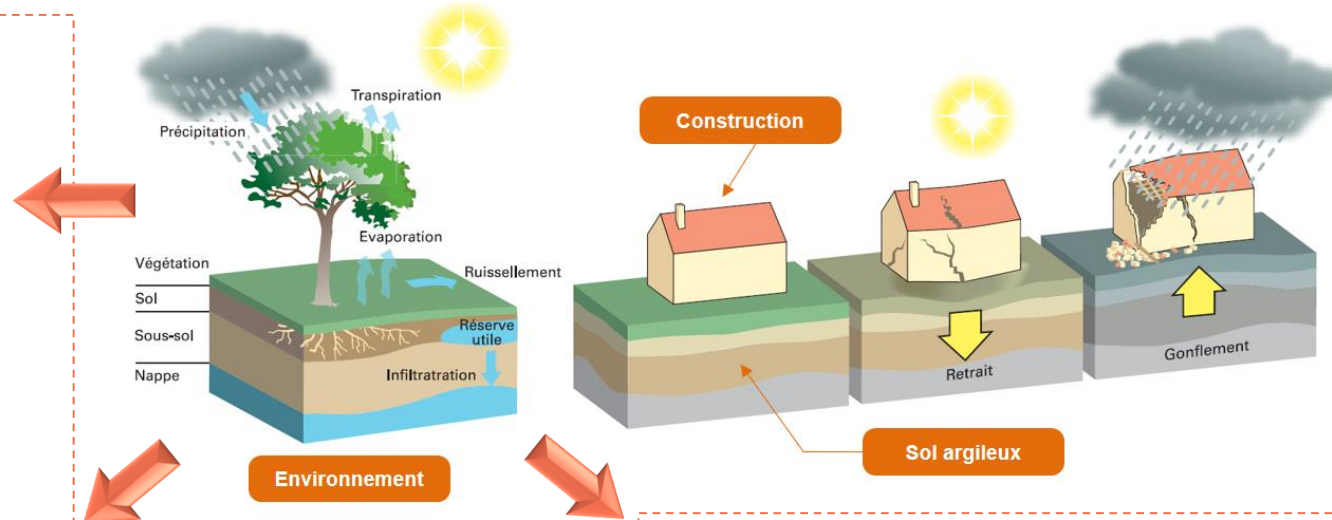
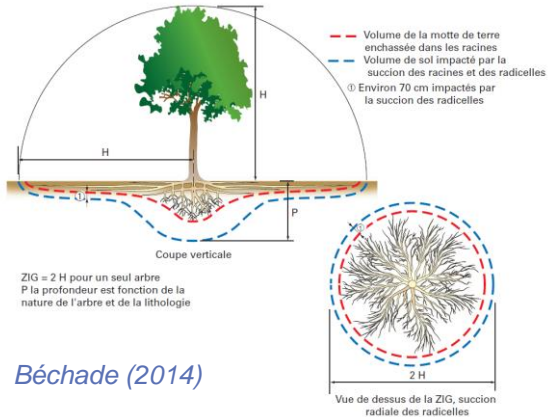
Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

3. Effets des sécheresses sur les maisons individuelles

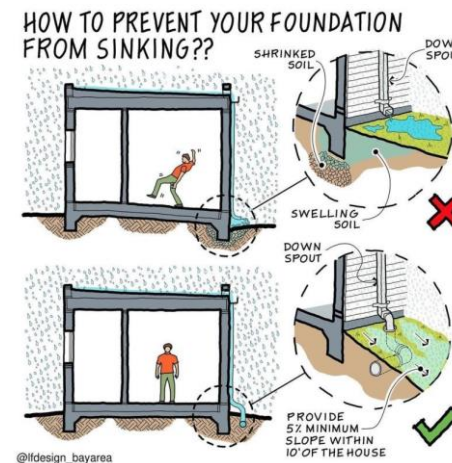
3. EFFETS DES SÉCHERESSES SUR LES MAISONS INDIVIDUELLES

- Importance de l'environnement proche pour identifier les effets des sécheresses sur les maisons

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



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. EFFETS DES SÉCHERESSES SUR LES MAISONS INDIVIDUELLES

- Origines des désordres et exemples de conséquences sur l'habitation

- Mauvaise gestion des eaux de pluie



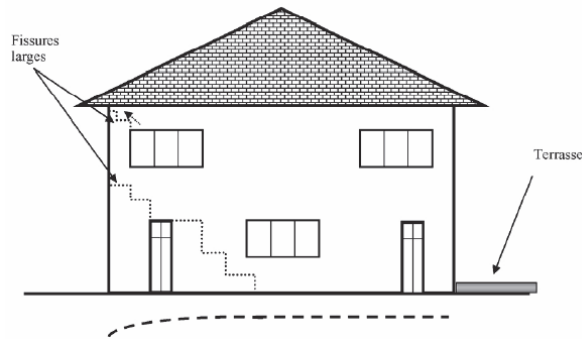
- Présence de la végétation



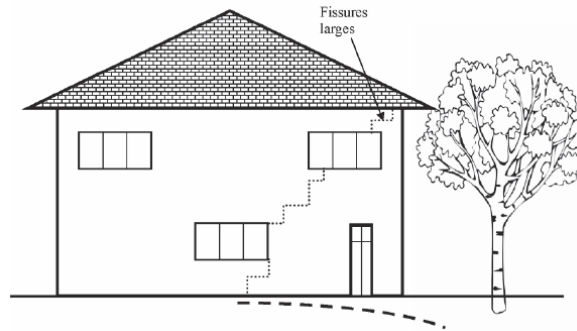
- Défauts de construction



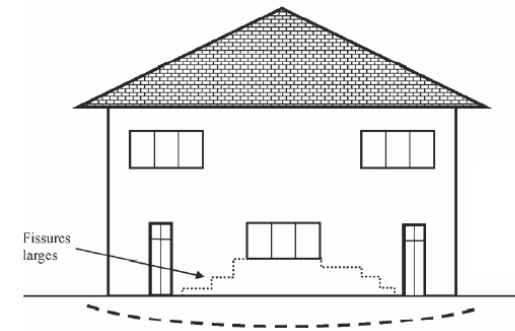
- Mécanismes d'apparition des fissures



Mode de déformation provoqué par un retrait périphérique du sol sous la maison



Mode de déformation provoqué par un retrait localisé du sol induit par la présence d'un arbre



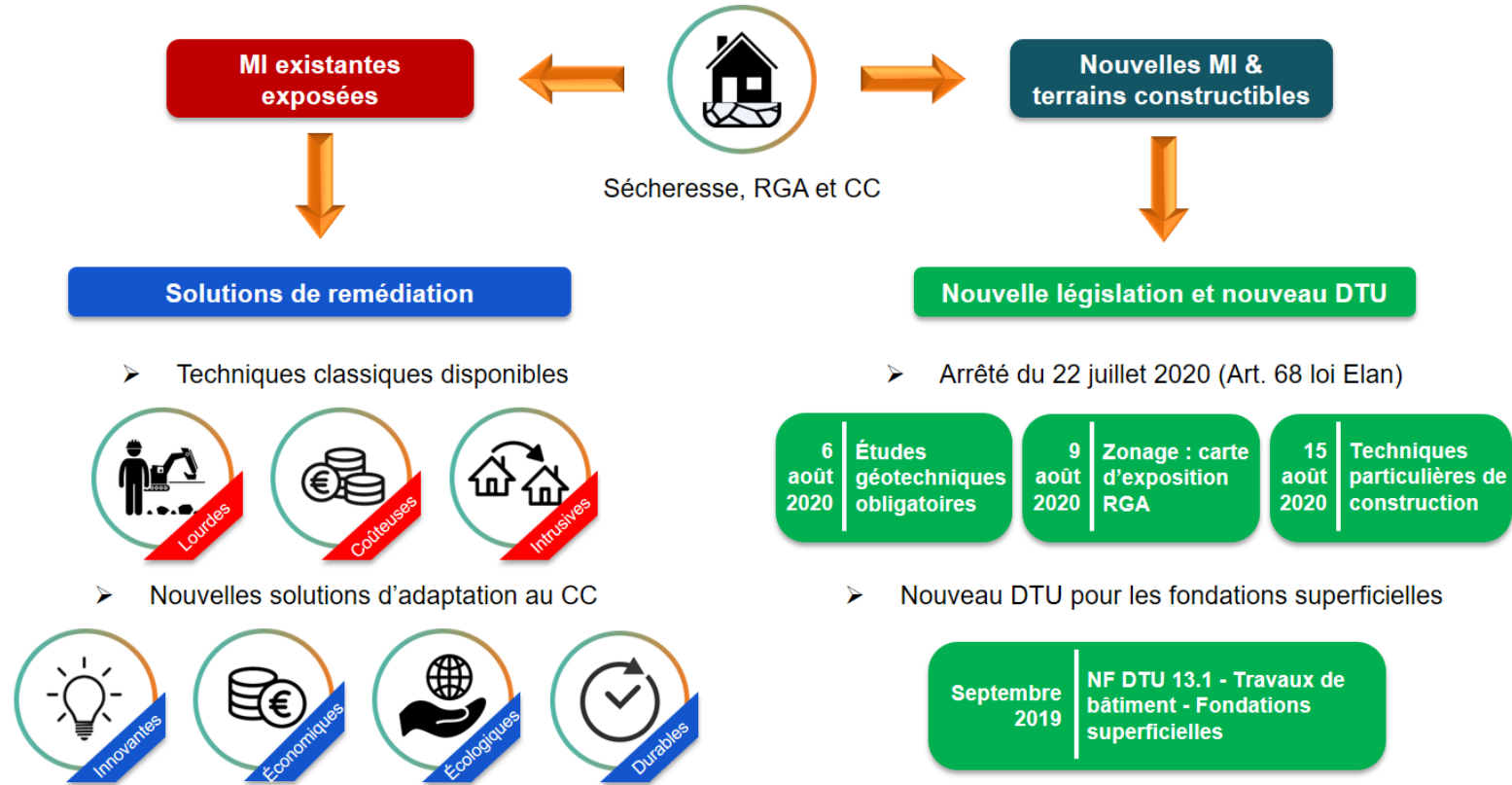
Mode de déformation provoqué par le tassement d'un mur de façade

Crédits photos : © Ifsttar 2017

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

3. EFFETS DES SÉCHERESSES SUR LES MAISONS INDIVIDUELLES

- Quelles solutions pour traiter la problématique RGA ?





**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

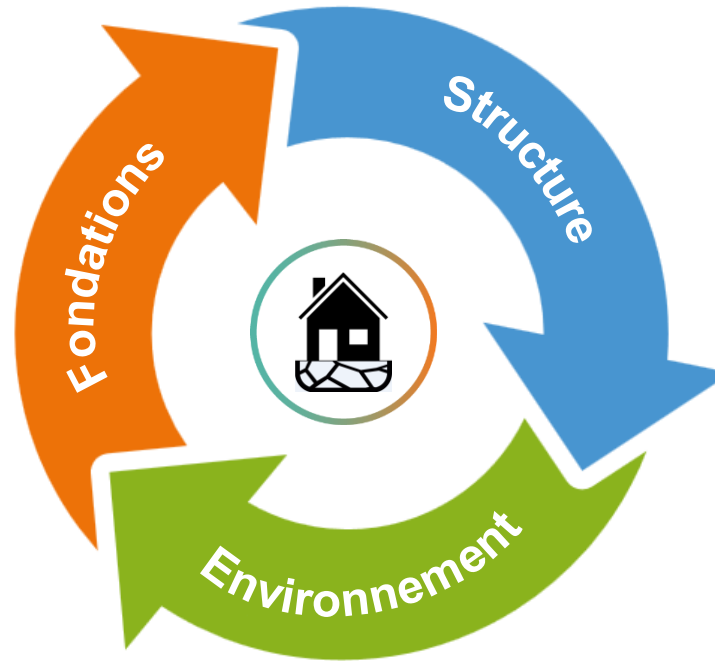
4. Solutions de remédiation classiques disponibles

4. SOLUTIONS DE REMÉDIATION CLASSIQUES DISPONIBLES

- Classification des techniques de réparation classiques disponibles

Agir sur les fondations

- Réaliser une reprise en sous-œuvre pour approfondir le niveau de fondation par des micropieux, injections sous fondations, etc
- Dispositions constructives propres à limiter l'effet du retrait-gonflement sur les structures
- Reprise en sous-œuvre partielle
- Travaux spécifiques aux dallages



Agir sur la structure de l'habitation

- Renforcement par chaînage
 - Rigidifier la structure
- Réaliser des joints de rupture
 - Réparer les fissures

Agir sur l'environnement proche de l'habitation

- Retirer, élaguer des arbres; couper des racines; poser des barrières anti-racines
- Collecter et évacuer les eaux de toiture; vérifier l'étanchéité des réseaux
- Poser un écran horizontal imperméable en périphérie des murs extérieurs
- Réaliser un drainage périphérique

Crédit photo : Ighil Ameur © Cerema 2020

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

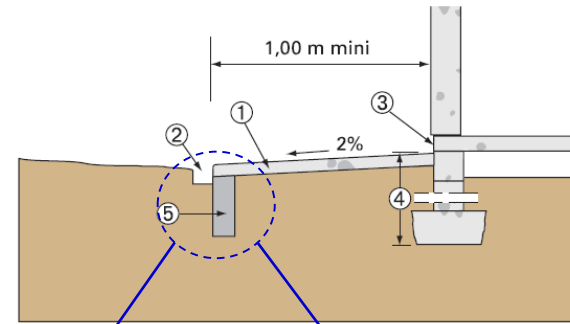
4. SOLUTIONS DE REMÉDIATION CLASSIQUES DISPONIBLES

- Agir sur l'environnement proche de l'habitation : gestions des eaux

Trottoir et drainage périphériques

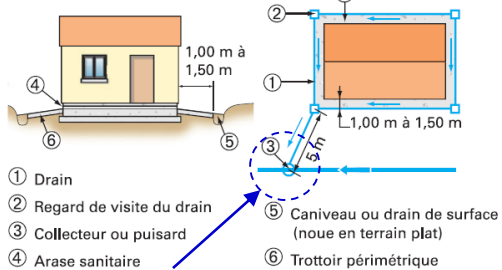


Trottoir périphérique en béton avec caniveau

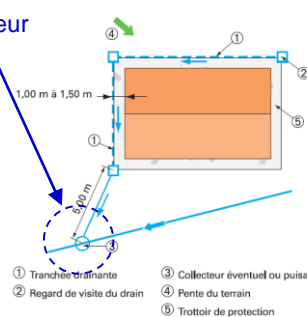


- ① Trottoir en béton armé sur polyane
- ② Caniveau ou drain superficiel éventuel
- ③ Arase sanitaire et coupure capillaire
- ④ Ancrage inférieur à l'ancrage forfaitaire RGA
- ⑤ Bèche éventuelle

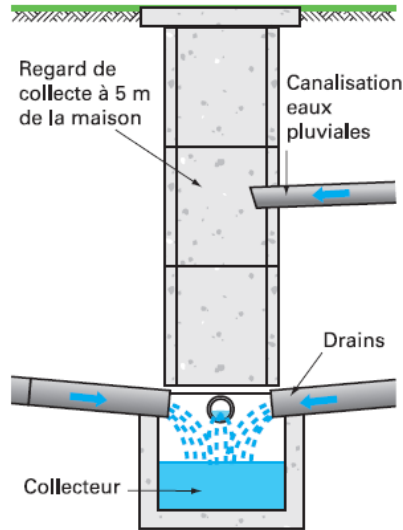
Collecteur commun des eaux de drainage



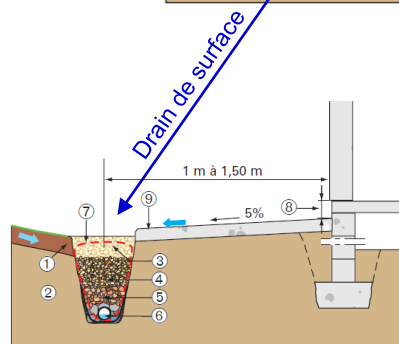
- ① Drain
- ② Regard de visite du drain
- ③ Collecteur ou puisard
- ④ Arase sanitaire
- ⑤ Caniveau ou drain de surface (noue en terrain plat)
- ⑥ Trottoir périmétrique



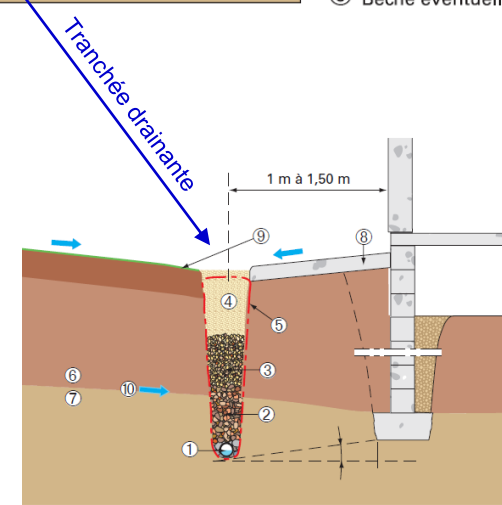
- ① Tranchée drainante
- ② Regard de visite du drain
- ③ Collecteur éventuel ou puisard
- ④ Pente du terrain
- ⑤ Trottoir de protection



Béchade (2014)



- ① Terrain perméable
- ② Terrain peu perméable
- ③ Sable 0/3
- ④ Gravier 5/15
- ⑤ Cailloux 30/60
- ⑥ Collecteur drainant type drain routier pente: 0,5 à 1, 5 cm / m
- ⑦ Géotextile anticontaminant
- ⑧ Arase sanitaire
- ⑨ Trottoir éventuel sur polyane (DTU 13.3)

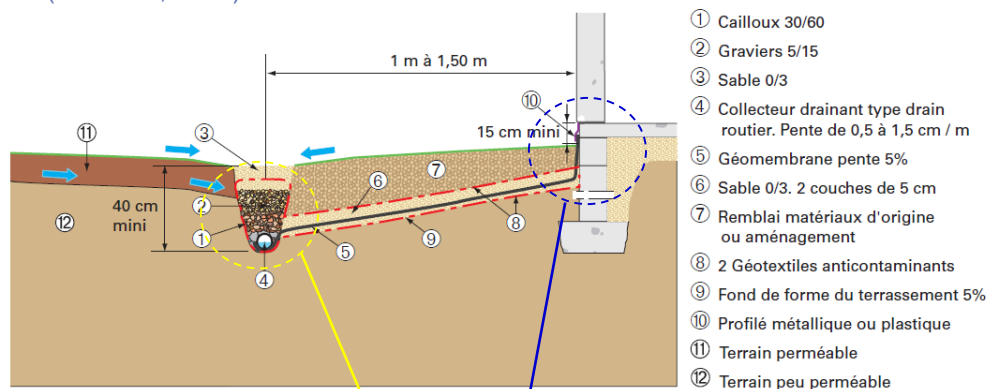


- ① Collecteur drainant type drain routier. Pente min 0,5 cm / m
- ② Cailloux 30/60
- ③ Gravier 5/15
- ④ Sable 0/3
- ⑤ Géotextile
- ⑥ Terrain perméable
- ⑦ Terrain imperméable
- ⑧ Trottoir éventuel sur polyane (DTU 13.3)
- ⑨ Forme de noue pour collecte des eaux superficielles
- ⑩ Circulations d'eaux

4. SOLUTIONS DE REMÉDIATION CLASSIQUES DISPONIBLES

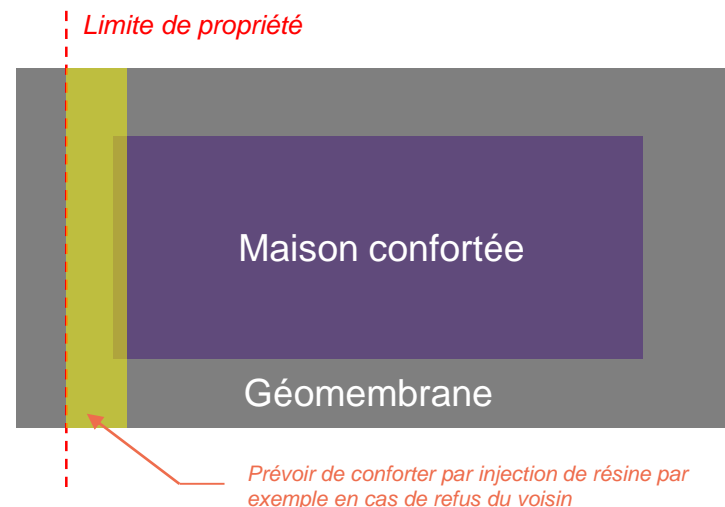
- Agir sur l'environnement proche de l'habitation : gestions des eaux

- Étanchéification horizontale périphérique par géomembrane (Béchade, 2014)

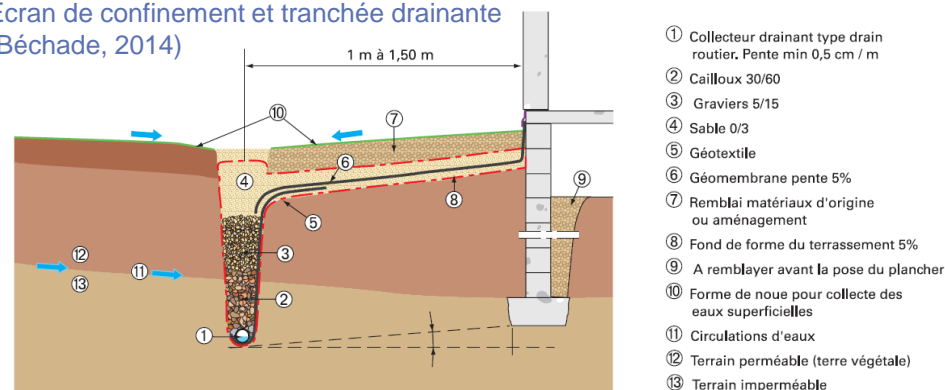


Crédit photo : © Ifsttar 2017

- Difficultés de mise en œuvre en cas de mitoyenneté



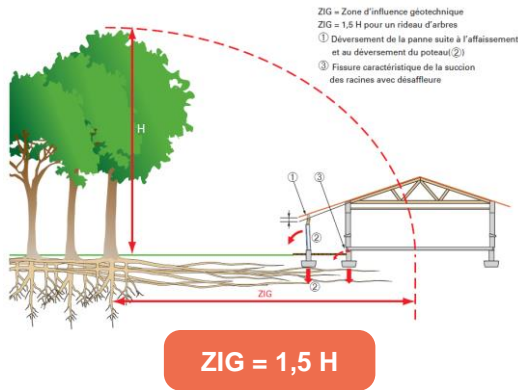
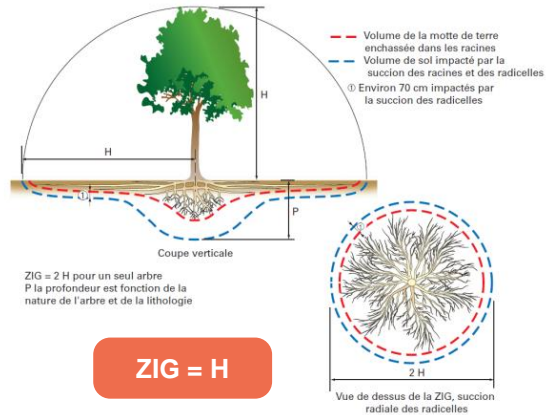
- Écran de confinement et tranchée drainante (Béchade, 2014)



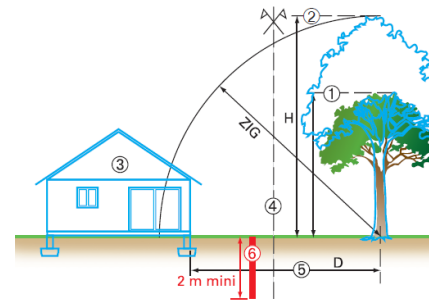
4. SOLUTIONS DE REMÉDIATION CLASSIQUES DISPONIBLES

- Agir sur l'environnement proche de l'habitation : végétation

Zone d'influence géotechnique (ZIG) des arbres

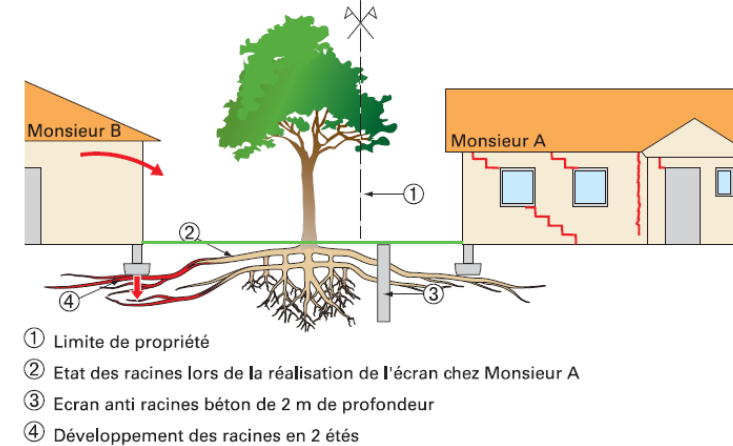


Béchade (2014)



- Hauteur actuelle de la végétation
- Hauteur adulte ZIG
- Projet
- Limite de propriété
- Distance entre le projet et l'arbre existant
- Ecran anti racines: profondeur à définir en fonction de la puissance de succion de la végétation

Techniques d'implantation des écrans anti-racines



Voile polyester. La coupure capillaire est protégée par deux films plastiques alvéolés



Écran en béton classique (tranchée de 30 cm coulée en béton pleine fouille)



Écran métallique placé à une distance minimale de 4 m de l'arbre

4. SOLUTIONS DE REMÉDIATION CLASSIQUES DISPONIBLES

- Quelques ordres de grandeur de coûts habituels de travaux de réparation

➤ Coûts moyens des réparations classiques pour une construction de 100 m² au sol

Technique	Catégorie	Coût moyen 2015 (HT)
Reprise en sous-œuvre des murs par micropieux et longrines de répartition	Agir sur les fondations	45 – 70 k€
Rigidification des fondations existantes par scellement d'une longrine ceinturant l'ouvrage	Agir sur la structure de l'habitation	15 – 25 k€
Mise en place de chaînages intégrés dans la maçonnerie	Agir sur la structure de l'habitation	~20 k€
Imperméabilisation du pourtour de l'ouvrage par géomembrane	Agir sur l'environnement proche de l'habitation	10 – 20 k€
Réalisation d'une tranchée drainante peu profonde à l'amont	Agir sur l'environnement proche de l'habitation	1,5 – 6 k€
Mise en place d'un écran anti-racines (2 m de profondeur)	Agir sur l'environnement proche de l'habitation	300 – 500 € (ml)

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



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

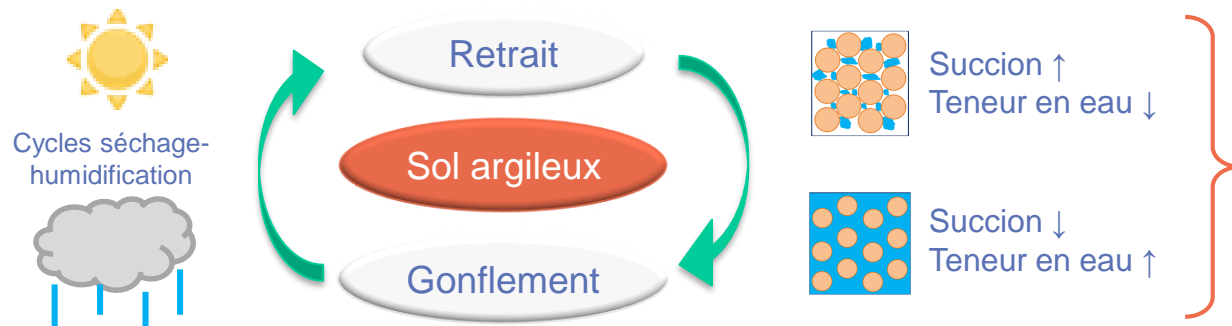


Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

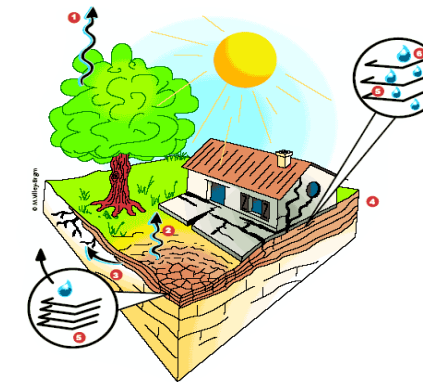
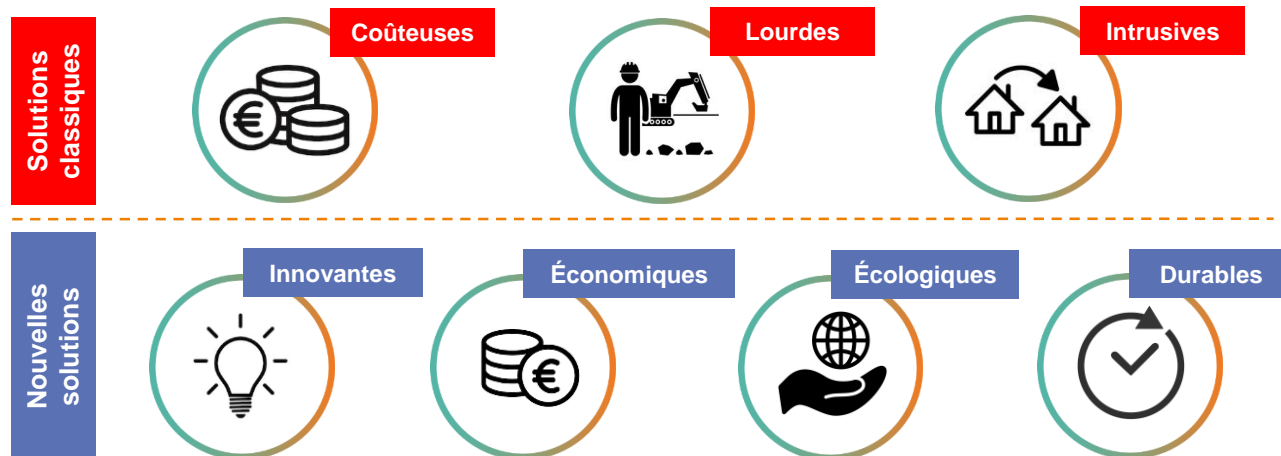
5. Recherche de nouvelles solutions d'adaptation au changement climatique

5. RECHERCHE DE NOUVELLES SOLUTIONS D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

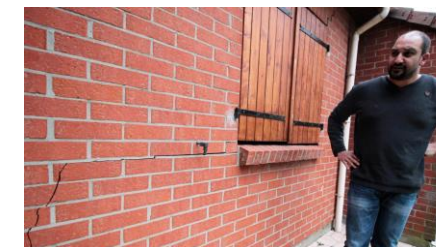
- Principe du phénomène de retrait-gonflement des argiles (RGA)



- Nouvelles solutions d'adaptation au changement climatique



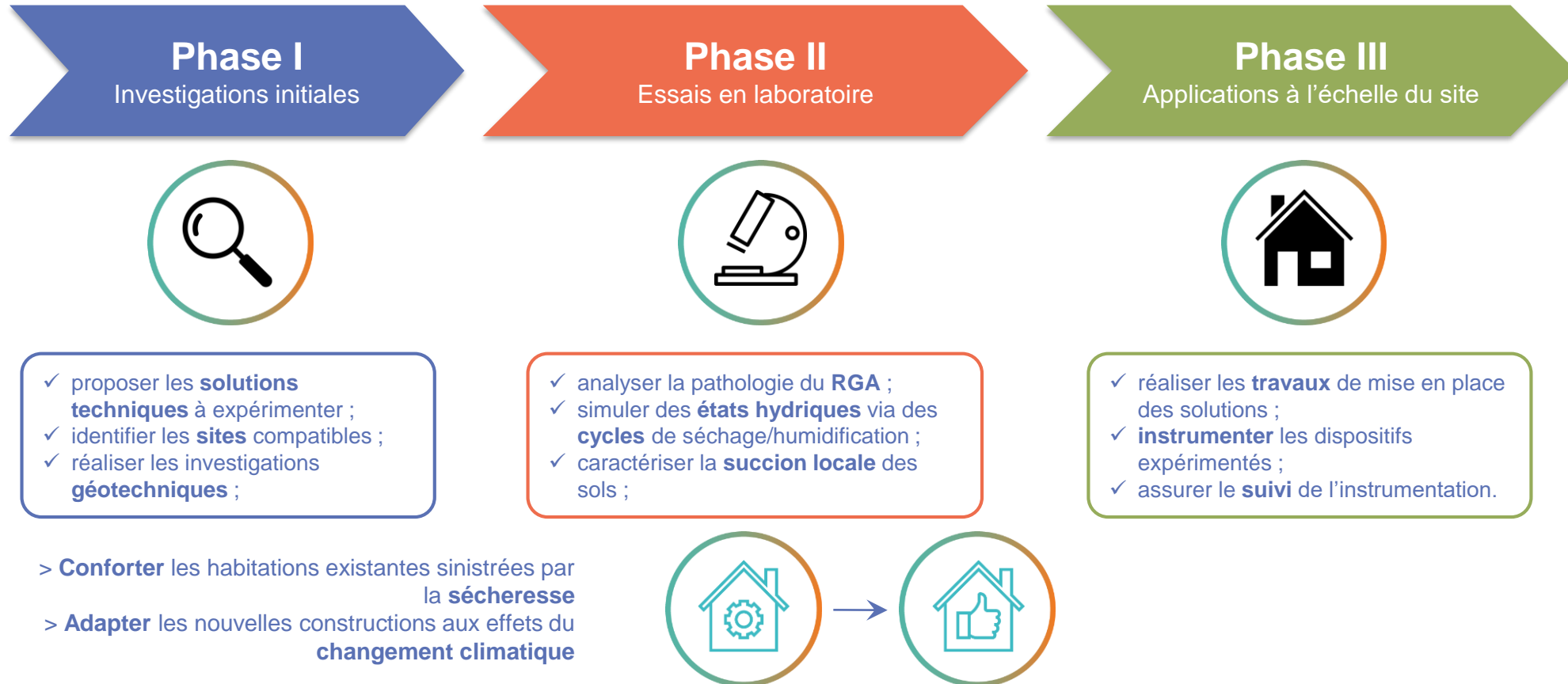
Source : [cliquer ici](#)



Source : [cliquer ici](#)

5. RECHERCHE DE NOUVELLES SOLUTIONS D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

- Démarche de recherche des nouvelles solutions



5. RECHERCHE DE NOUVELLES SOLUTIONS D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

- Quelques exemples de dynamiques projet motrices du Cerema

Projet ORSS | Adaptation de l'entretien des routes aux défis du changement climatique

- > Démarche inédite à l'échelle nationale en région Centre-Val de Loire
- > 5 Conseils départementaux impliqués et déjà 8 expérimentations réelles
- > Plus de 600 k€ déjà engagés dans les travaux par les partenaires
- > Pour plus d'informations : [cliquer ici](#)



Impacts de la sécheresse sur les routes | Ighil Ameur © Cerema 2019

Projet MACH | Stabilisation des sols argileux par réhydratation via l'eau pluviale

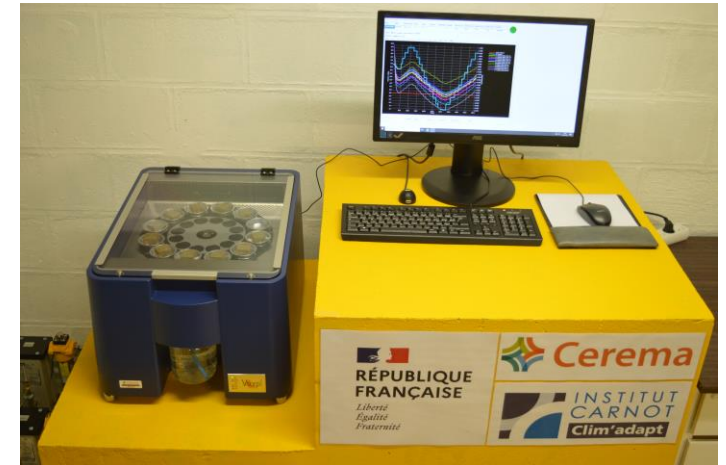
- > Gestion durable et valorisation de l'eau de pluie
- > Stabilisation des dommages par humidification
- > Pour plus d'informations : [cliquer ici](#)



Fissure instrumentée dans MACH | Ighil Ameur © Cerema 2020

Analyse expérimentale des phénomènes climatiques et des solutions en laboratoire

- > Simuler des états hydriques via des cycles de séchage/humidification
- > Analyse du comportement hydromécanique des sols
- > Tester l'efficacité des solutions techniques à l'échelle du laboratoire
- > Pour plus d'informations sur le DVS : [cliquer ici](#)



DVS, Dynamic Vapor Sorption | Ighil Ameur © Cerema 2020





**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

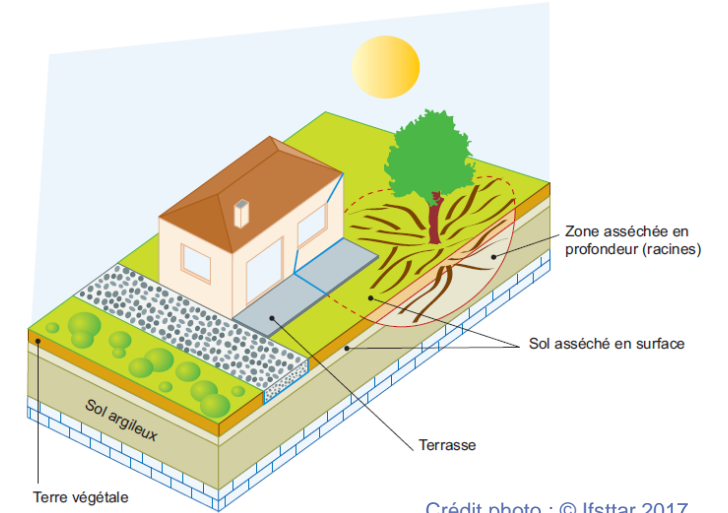
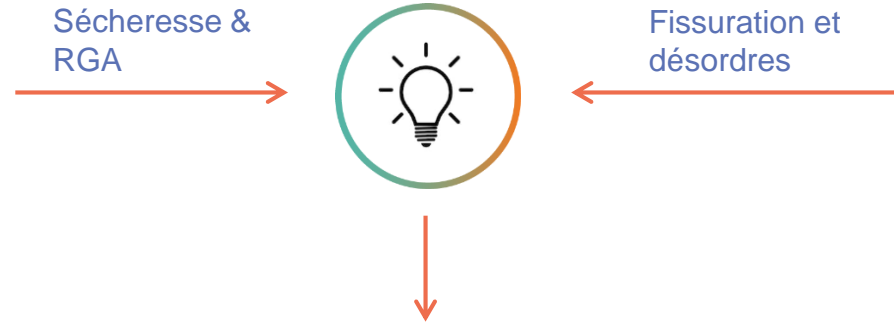


Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

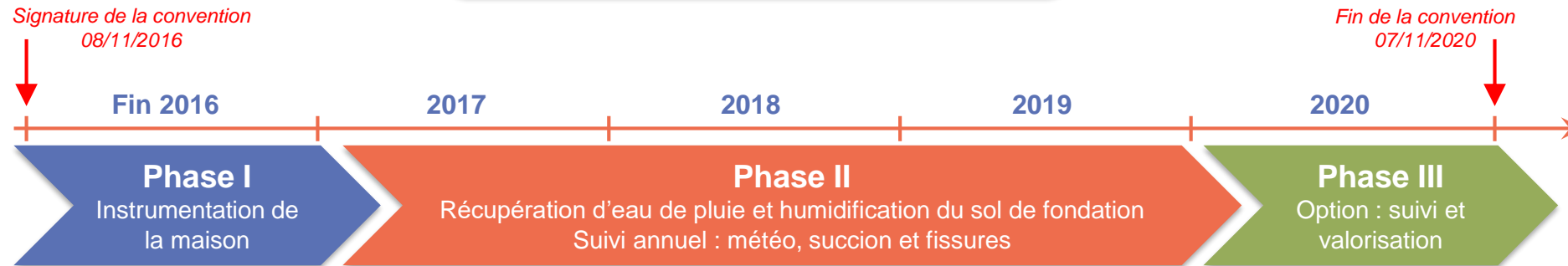
6. Solution MACH : principe et expérimentation

6. SOLUTION MACH : PRINCIPE ET EXPÉRIMENTATION

- Principe et programme expérimental



Solution MACH
MAison Confortée par Humidification



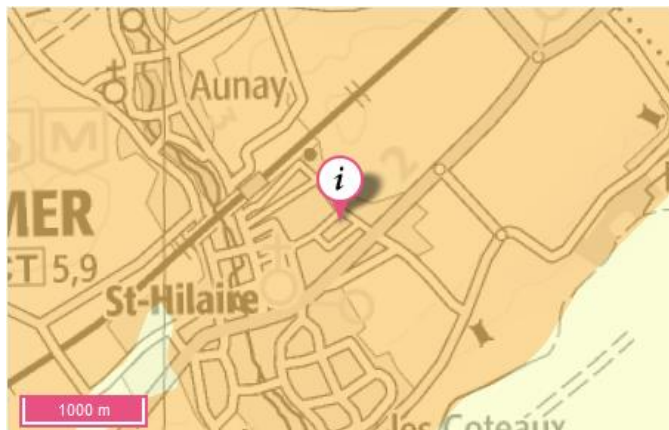
6. SOLUTION MACH : PRINCIPE ET EXPÉRIMENTATION

- Localisation et description de l'environnement du site

- Localisation et aléa RGA selon la cartographie Géorisques (BRGM)



Mer, Loir-et-Cher (41)



Aléa RGA moyen (Géorisques, 2021)



RETRAIT-GONFLEMENTS DES SOLS ARGILEUX

Exposition au retrait-gonflement des sols argileux : Aléa moyen

Commune de votre localisation soumise à un Plan de prévention des risques retrait-gonflement des sols argileux : Non

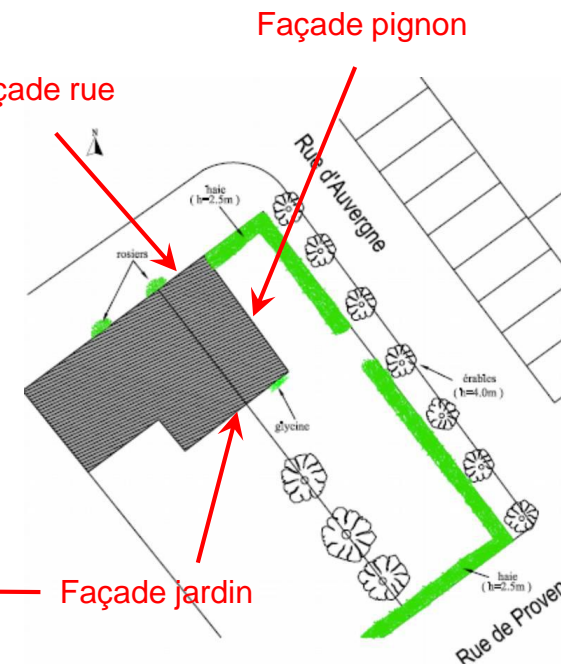
- État des lieux et report de la végétation (2016)



Façade rue



Façade jardin



Façade pignon

Report de la végétation

Maison de type R+1 (1968)

6. SOLUTION MACH : PRINCIPE ET EXPÉRIMENTATION

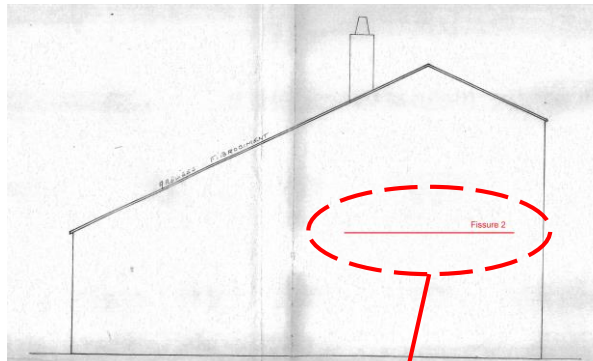
- Relevé des désordres à l'extérieur suite à la sécheresse de 2015

Façade côté rue



Fissure 1

Façade du pignon



Fissure 2

Façade côté jardin



Fissure 3

6. SOLUTION MACH : PRINCIPE ET EXPÉRIMENTATION

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



6. SOLUTION MACH : PRINCIPE ET EXPÉRIMENTATION

- Géologie et géotechnique du site d'implantation

➤ Sondages pressiométriques (2016)



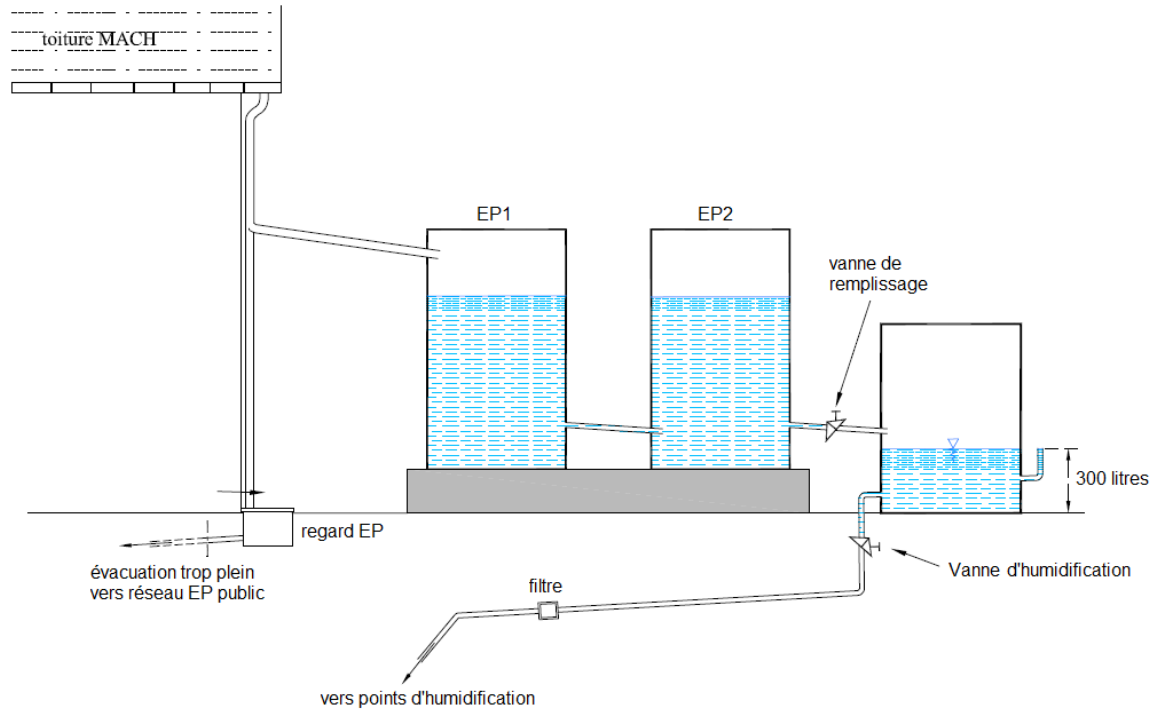
➤ Résultats des essais au laboratoire

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	/

6. SOLUTION MACH : PRINCIPE ET EXPÉRIMENTATION

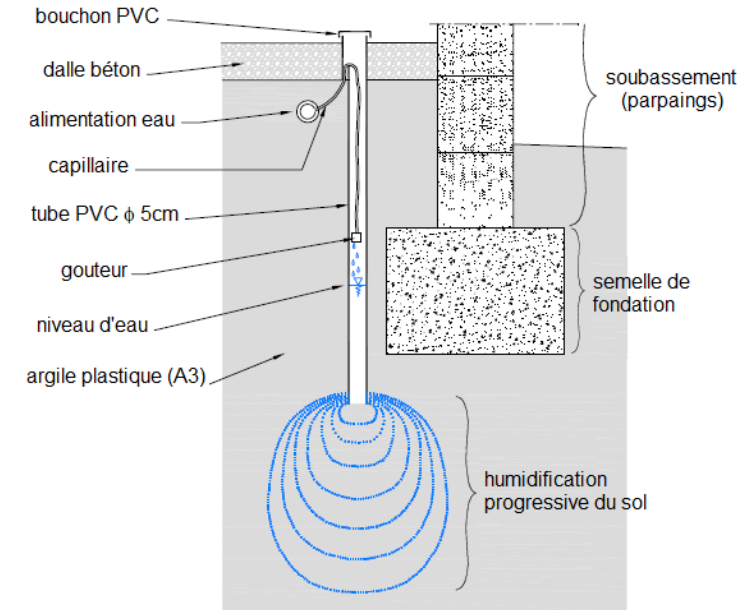
- Procédé de récupération et de stockage d'eau de pluie et humidification du sol de fondation

➤ Récupération et stockage d'eau de pluie



- Capacité totale de stockage \approx 2000 litres
- Volume d'eau utilisé / humidification = 300 litres
- Humidification manuelle (vanne d'humidification)

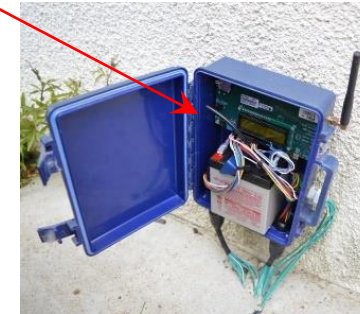
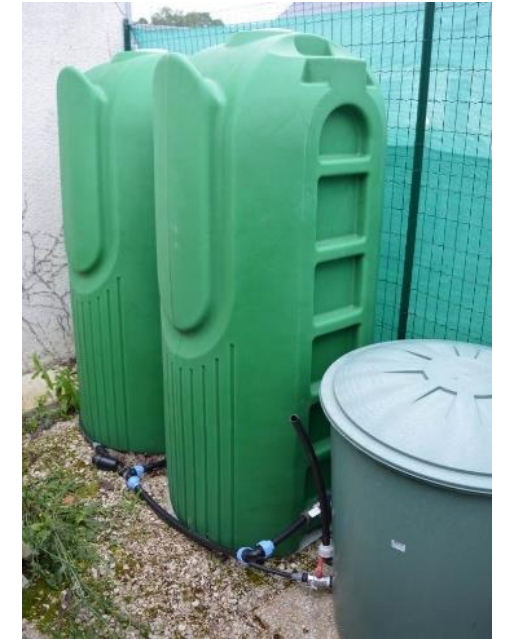
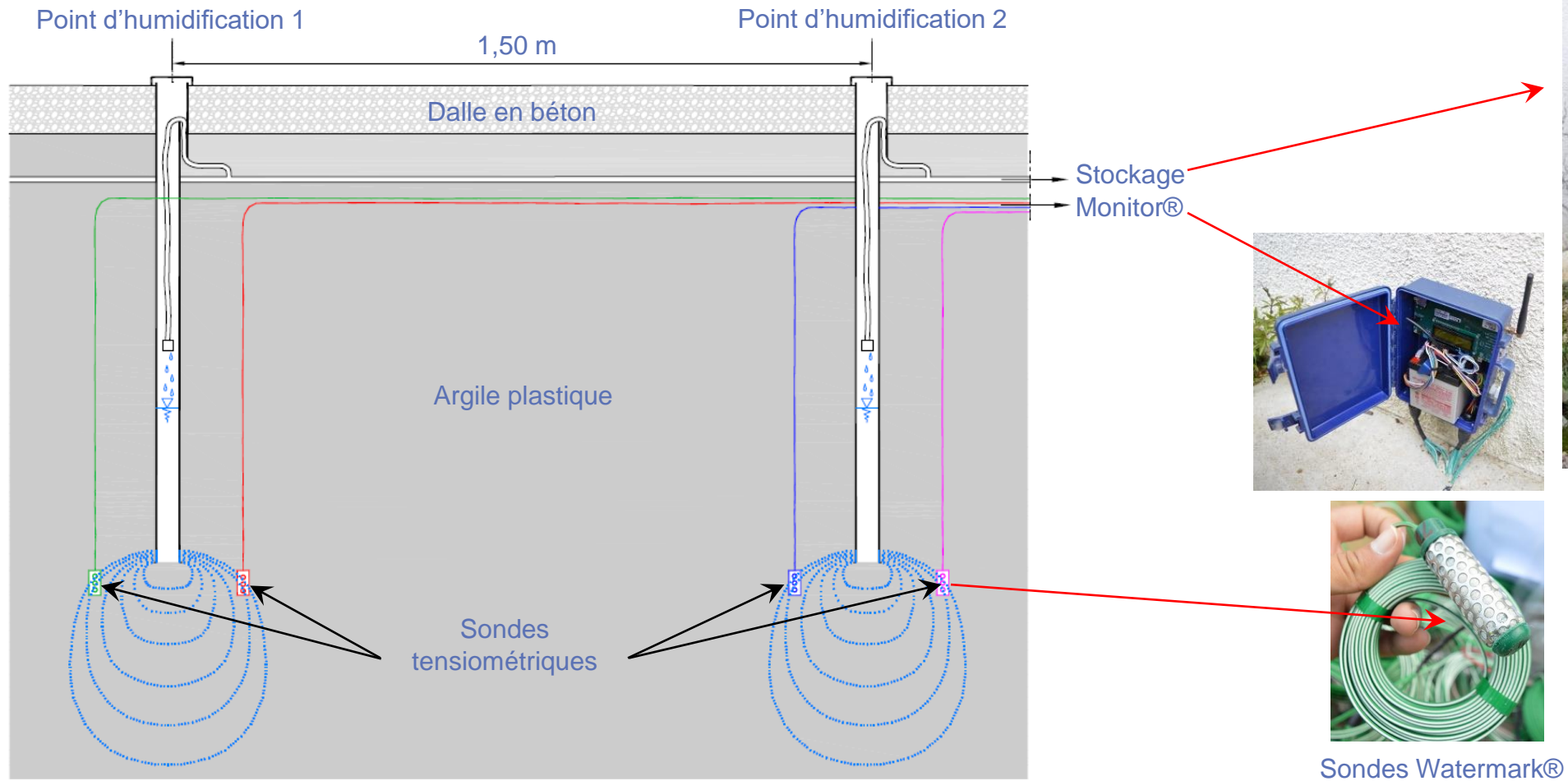
➤ Humidification du sol de fondation



- Ecoulement d'eau par la gravité

6. SOLUTION MACH : PRINCIPE ET EXPÉRIMENTATION

- Schéma d'humidification et de mesure tensiométrique

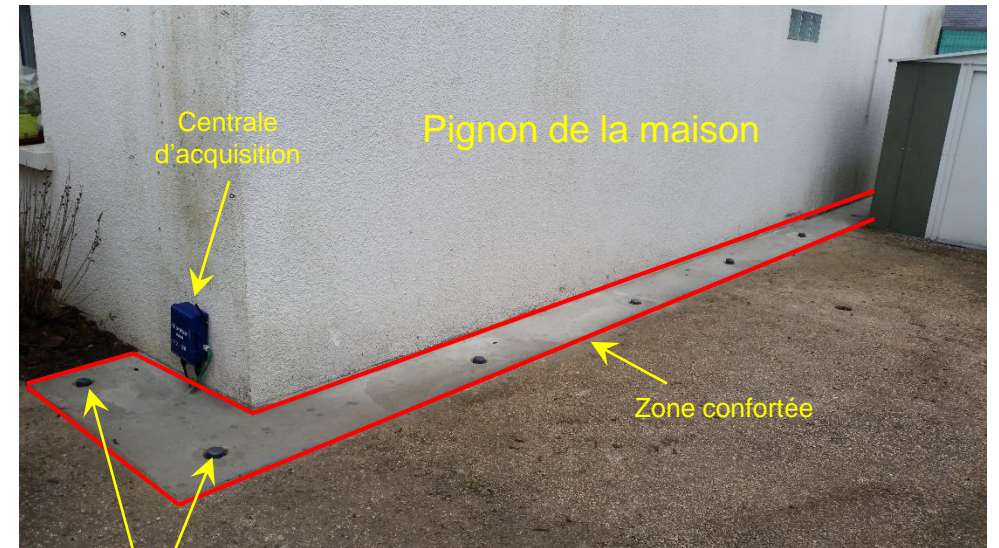
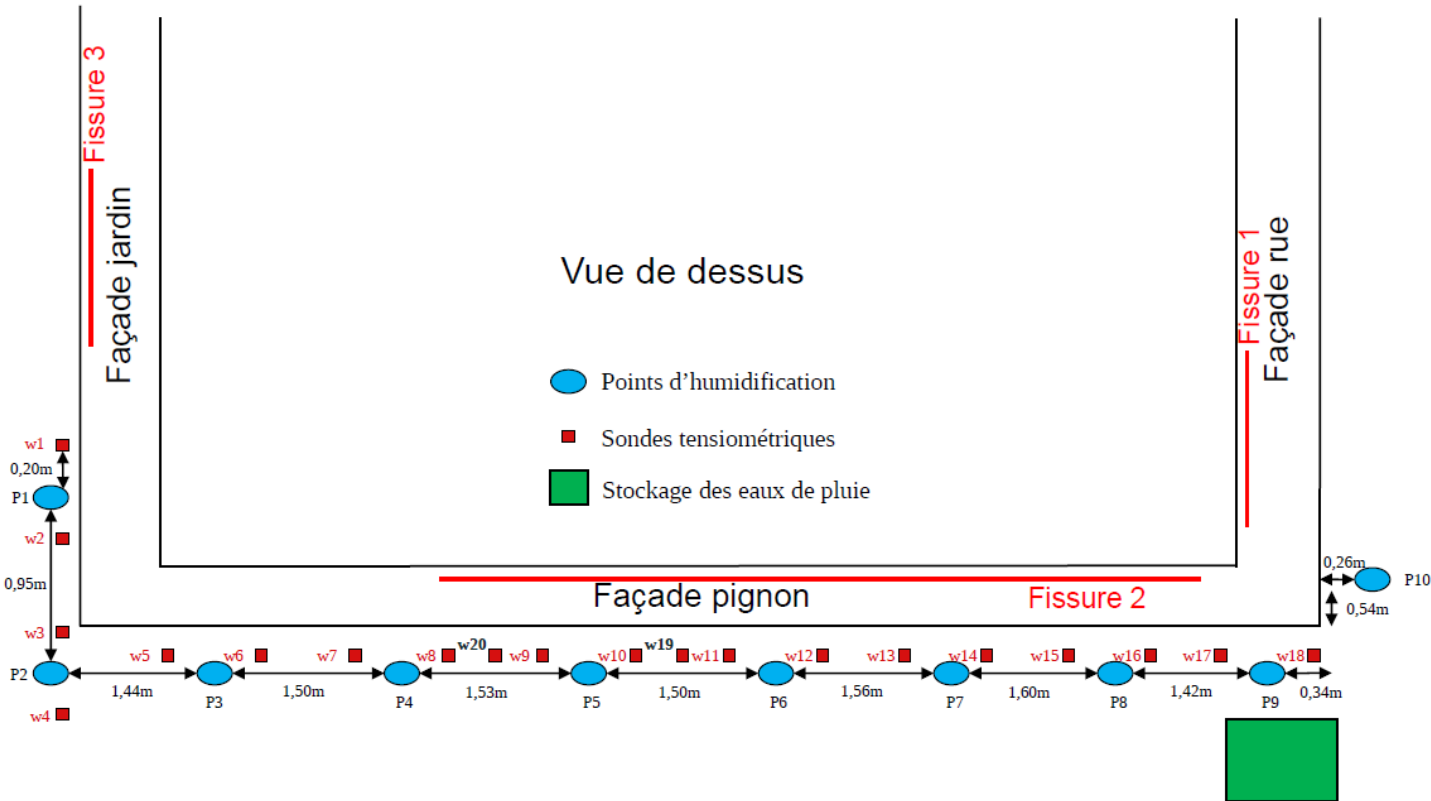


6. SOLUTION MACH : PRINCIPE ET EXPÉRIMENTATION

- Suivi tensiométrique : schéma d'instrumentation et répartition des points d'humidification

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

- Vue sur la façade pignon confortée par humidification

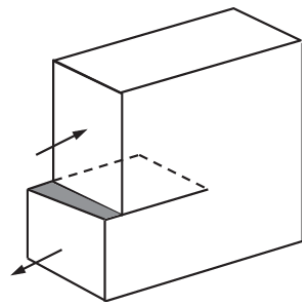
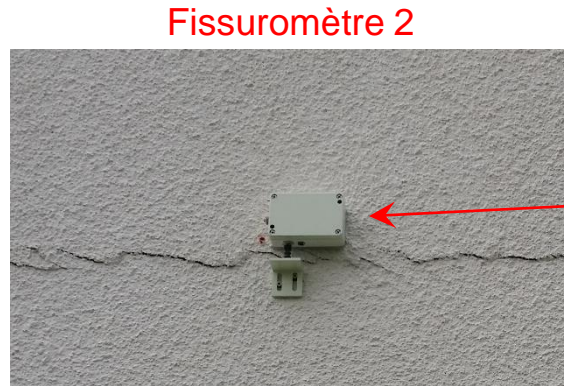


Points d'humidification

6. SOLUTION MACH : PRINCIPE ET EXPÉRIMENTATION

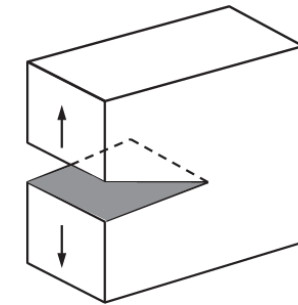
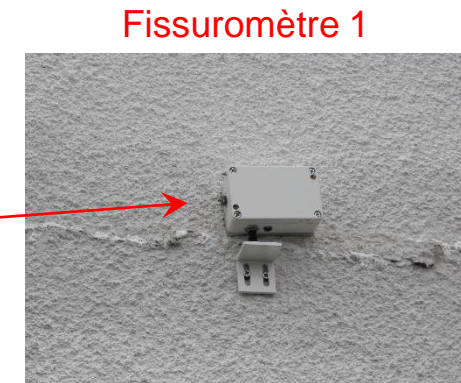
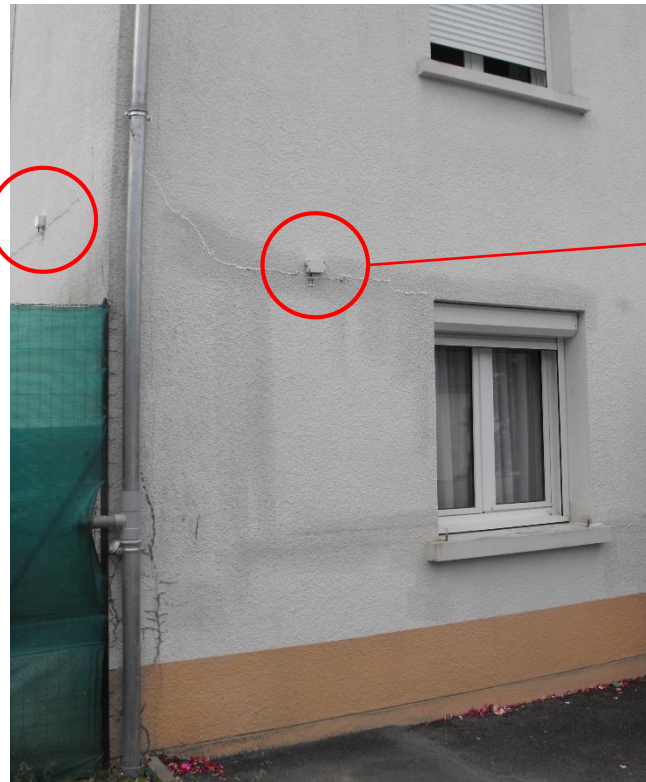
- Suivi des fissures et des désordres

- Localisation des désordres et mise en place de deux fissuromètres



Mode II

Fissuration par glissement



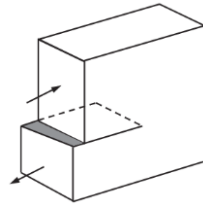
Mode I

Ouverture par extension

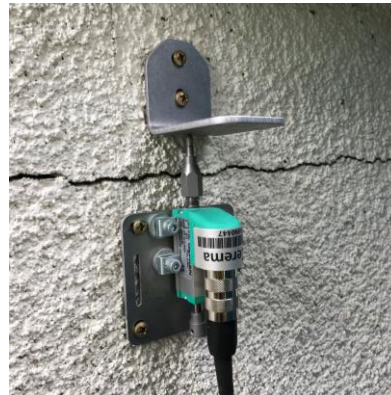
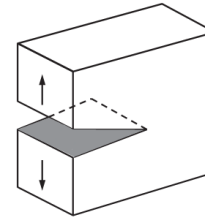
6. SOLUTION MACH : PRINCIPE ET EXPÉRIMENTATION

- Installation de 3 nouveaux fissuromètres connectés depuis le 19/12/2019

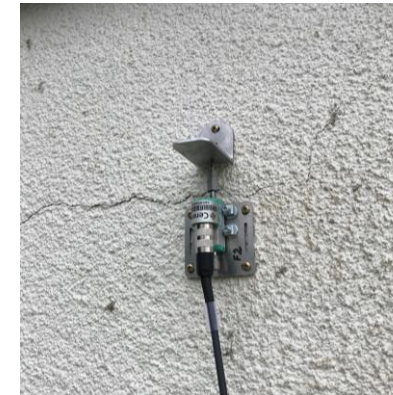
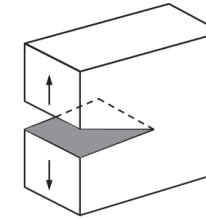
Façade pignon



Façade jardin

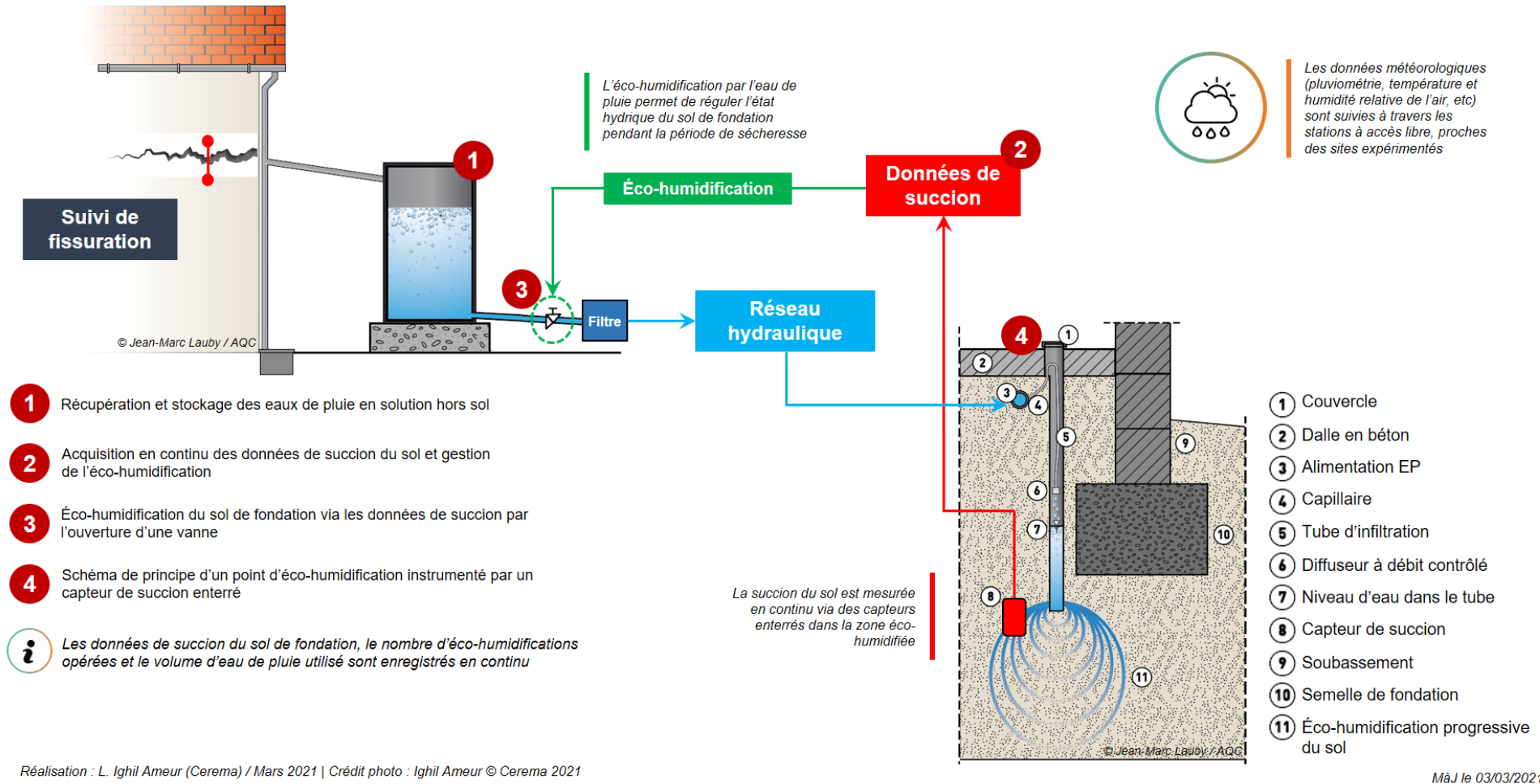


Façade jardin



6. SOLUTION MACH : PRINCIPE ET EXPÉRIMENTATION

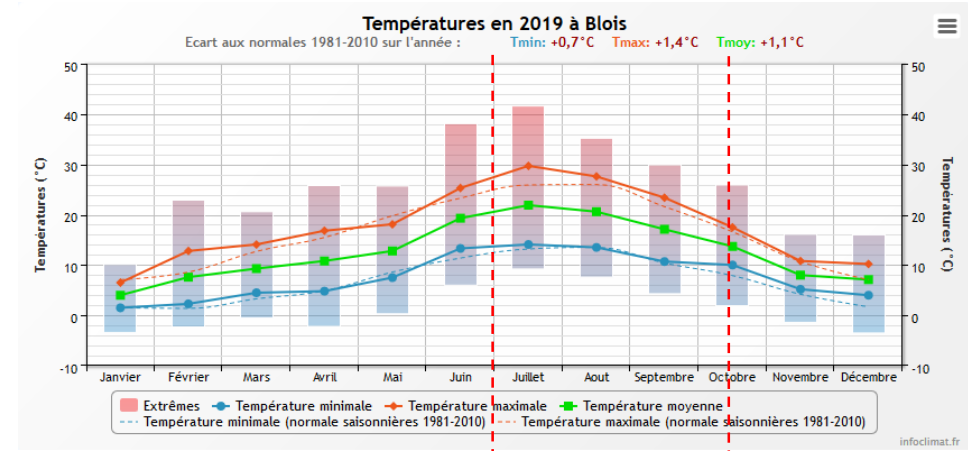
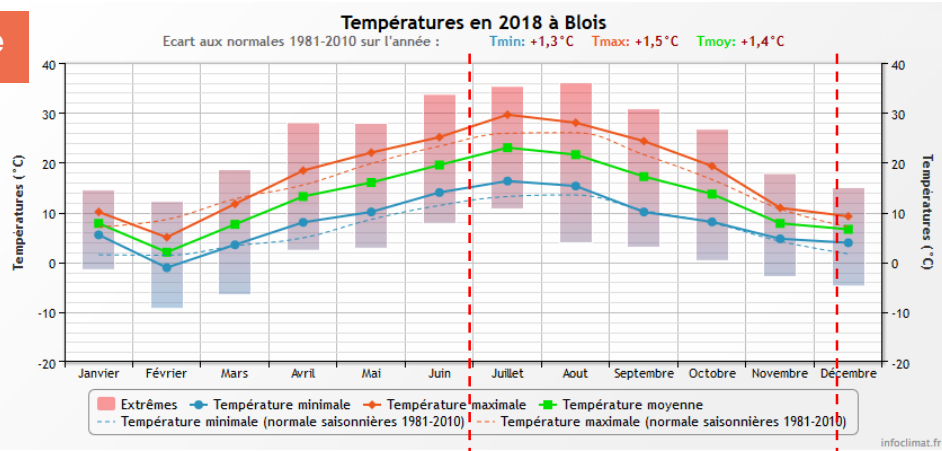
- Schéma des opérations de suivi MACH



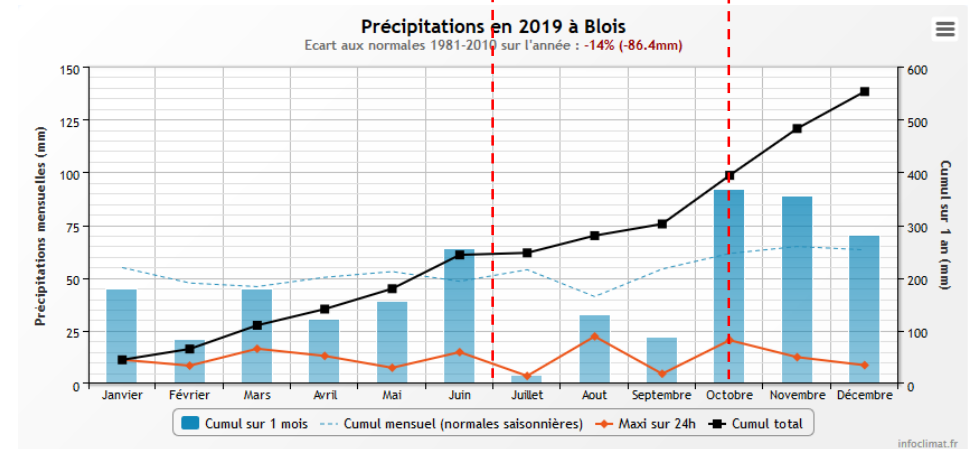
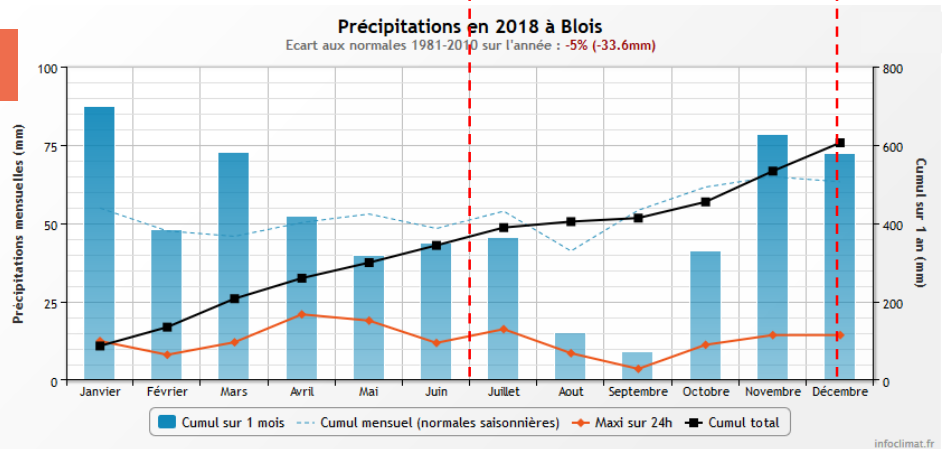
6. SOLUTION MACH : PRINCIPE ET EXPÉRIMENTATION

- Bilan météorologique : comparaison entre 2018 et 2019

Température



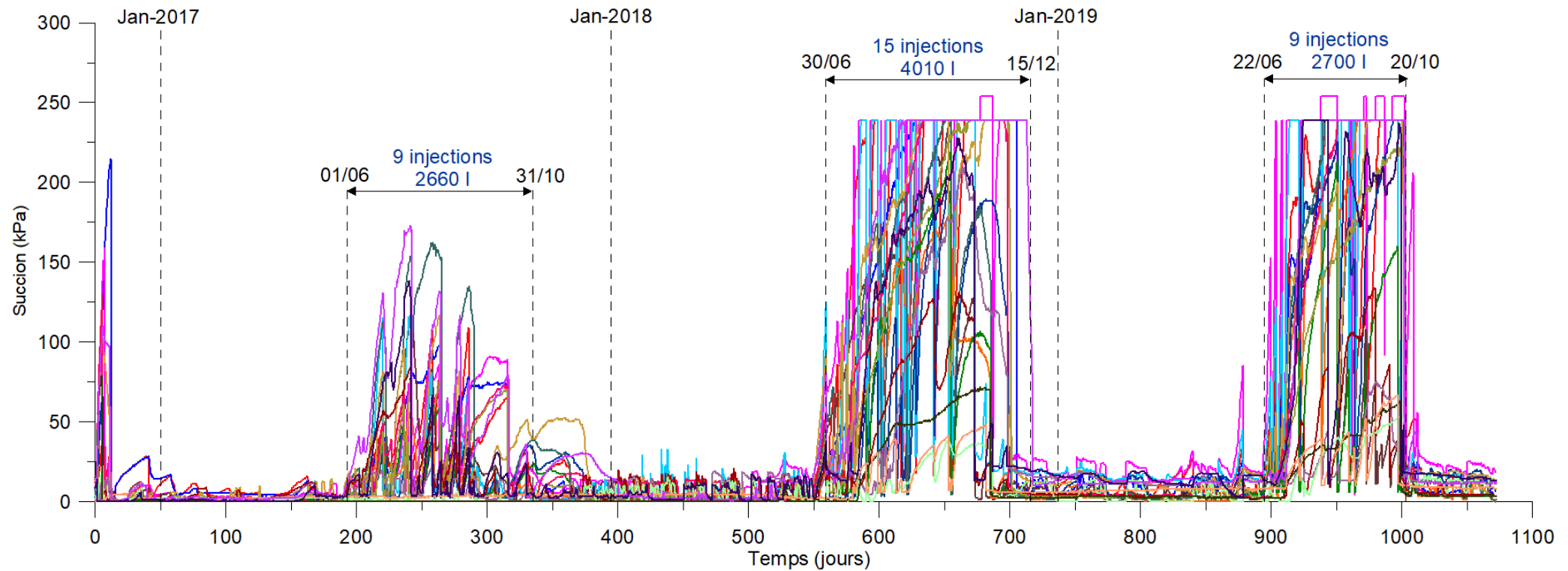
Pluviométrie



Source : infoclimat.fr

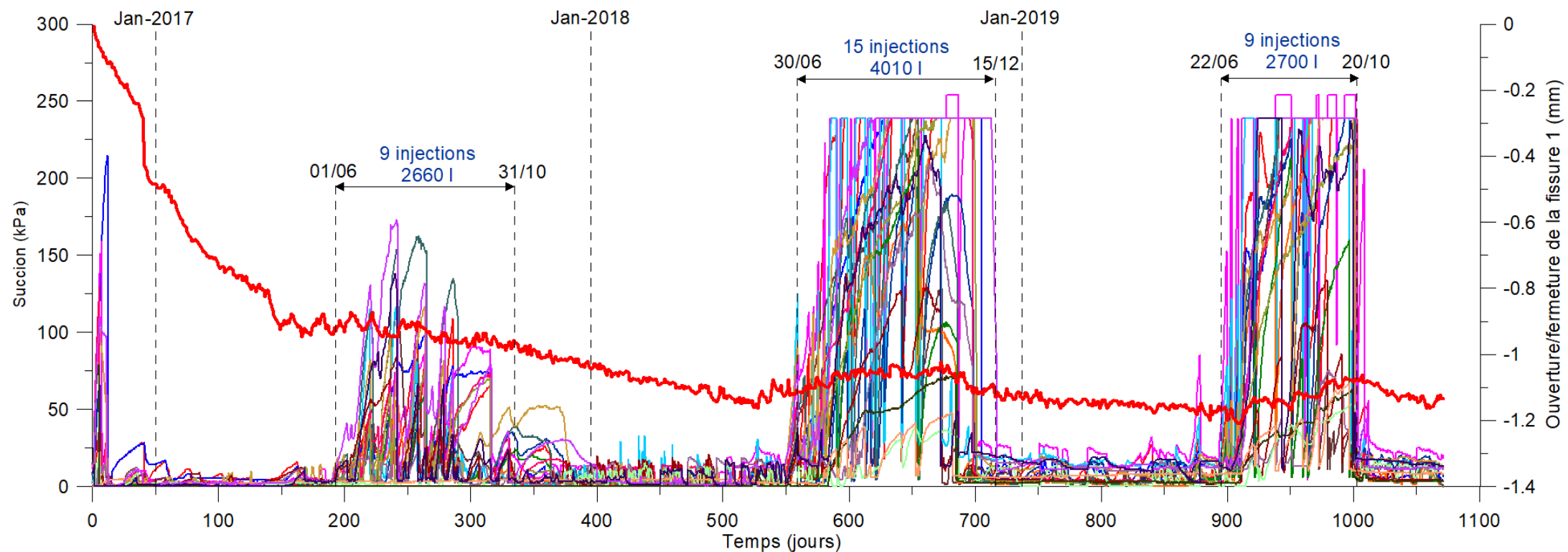
6. SOLUTION MACH : PRINCIPE ET EXPÉRIMENTATION

- Bilan tensiométrique : courbes obtenues pour les 20 sondes de succion implantées



6. SOLUTION MACH : PRINCIPE ET EXPÉRIMENTATION

- Bilan des désordres (fissure 1, façade rue) et des humidifications





RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

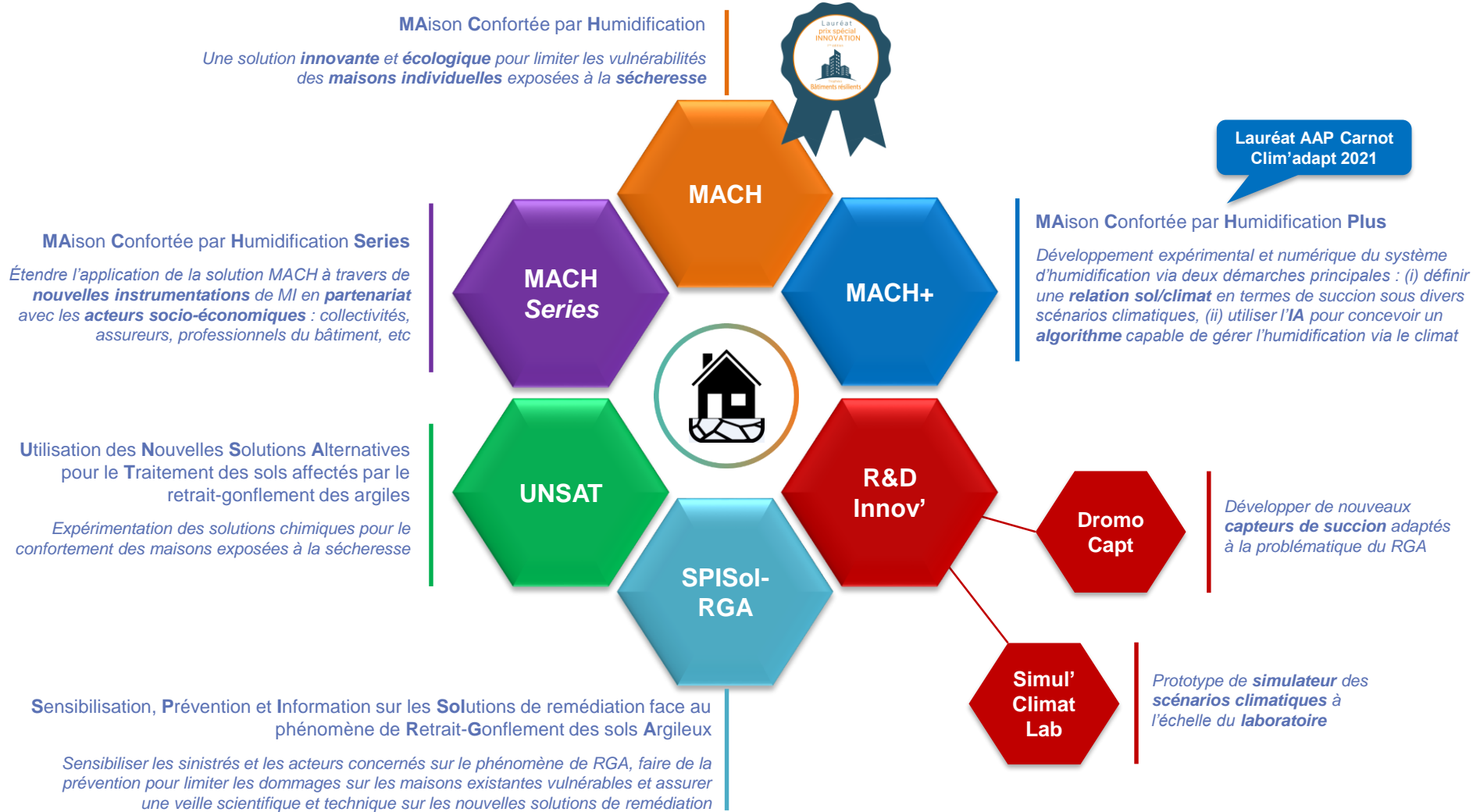
*Liberté
Égalité
Fraternité*



Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

7. Cartographie des projets sécheresse- RGA

7. CARTOGRAPHIE DES PROJETS SÉCHERESSE- RGA





**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

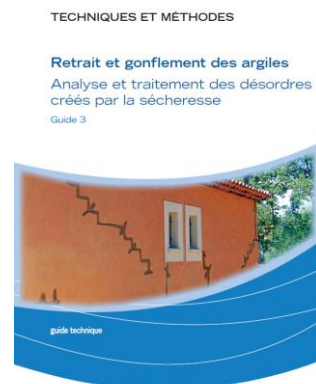
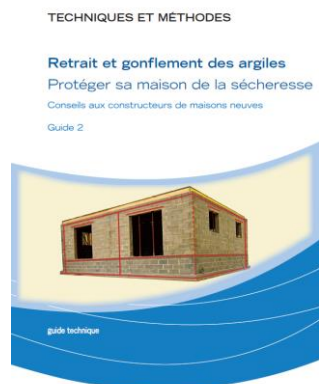
8. Conclusions et perspectives

7. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

- Le phénomène du RGA provoque par des sollicitations hydriques d'importantes variations volumiques des sols argileux
- Les maisons individuelles construites sur des sols sensibles au RGA subissent des fissurations de dessiccation accentuées par l'environnement proche
- Les sécheresses climatiques successives connues ces dernières années ont considérablement contribué à la dégradation des maisons individuelles
- MACH : les humidifications par l'eau de pluie effectuées ont une incidence directe sur la chute de la tension du sol et permettent de stabiliser l'ouverture des fissures pendant la sécheresse
- En partenariat avec les assureurs de la MRN, étendre l'application de la solution MACH Series sur d'autres configurations de sites
- Poursuivre le développement via le projet MACH + pour aboutir à une solution clé en mains
- Développer de nouvelles solutions de remédiation pour le confortement des maisons individuelles exposées à la sécheresse : projet SPISol-RGA (en cours)

RESSOURCES BIBLIOGRAPHIQUES

Cliquer sur les images



Pour en savoir plus encore :

- [1] [cliquer ici](#)
- [2] [cliquer ici](#)



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

Merci pour votre attention



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Cerema
CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN



Lamine IGHIL AMEUR

Chercheur en mécanique des sols 

Responsable du Laboratoire de Mécanique des Sols

*Chef de projets recherche appliquée en mécanique des sols
et adaptation au changement climatique*

Me contacter   lamine.ighil-ameur@cerema.fr



Crédits photos : Ighil Ameur © Cerema 2021

