

# Journée d'information et de sensibilisation

Maisons exposées à la sécheresse et au phénomène de RGA

*Blois, lundi 10 octobre 2022*

## Prévention et nouvelles solutions d'adaptation des maisons exposées au RGA

Lamine IGHIL AMEUR



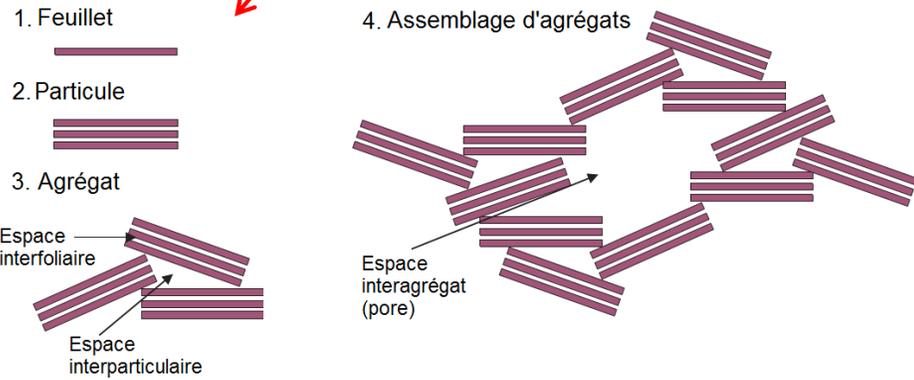
1. Introduction au phénomène de RGA et ses conséquences
2. Sécheresse & RGA : exposition en France métropolitaine
3. Impacts du RGA sur les maisons et effets de l'environnement proche
4. Solutions classiques existantes (techniques courantes)
5. Nouvelles solutions de stabilisation et d'adaptation au changement climatique
6. Conclusions et perspectives

# 1. Introduction au phénomène de RGA et ses conséquences

# 1. Introduction au phénomène de RGA et ses conséquences

- Minéralogie et organisation structurale des argiles : exemples de la Kaolinite et la Smectite

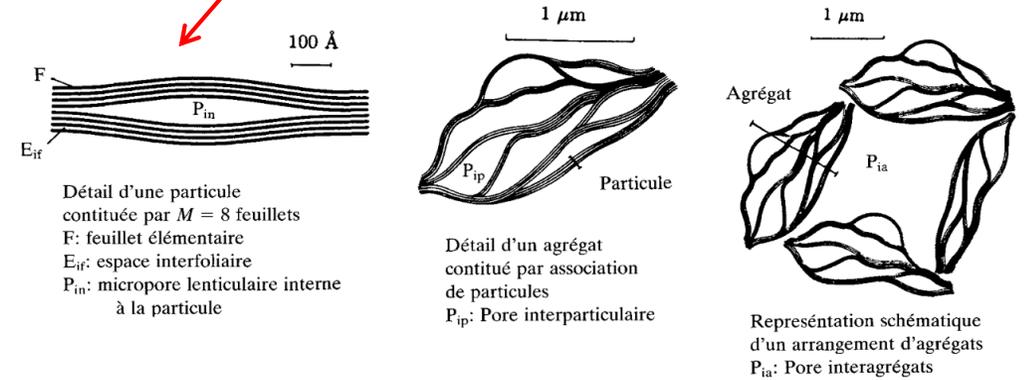
## Argiles très peu gonflantes : exemple Kaolinite



Bergaya and Lagaly (2006)



## Argiles très gonflantes : exemple Smectite

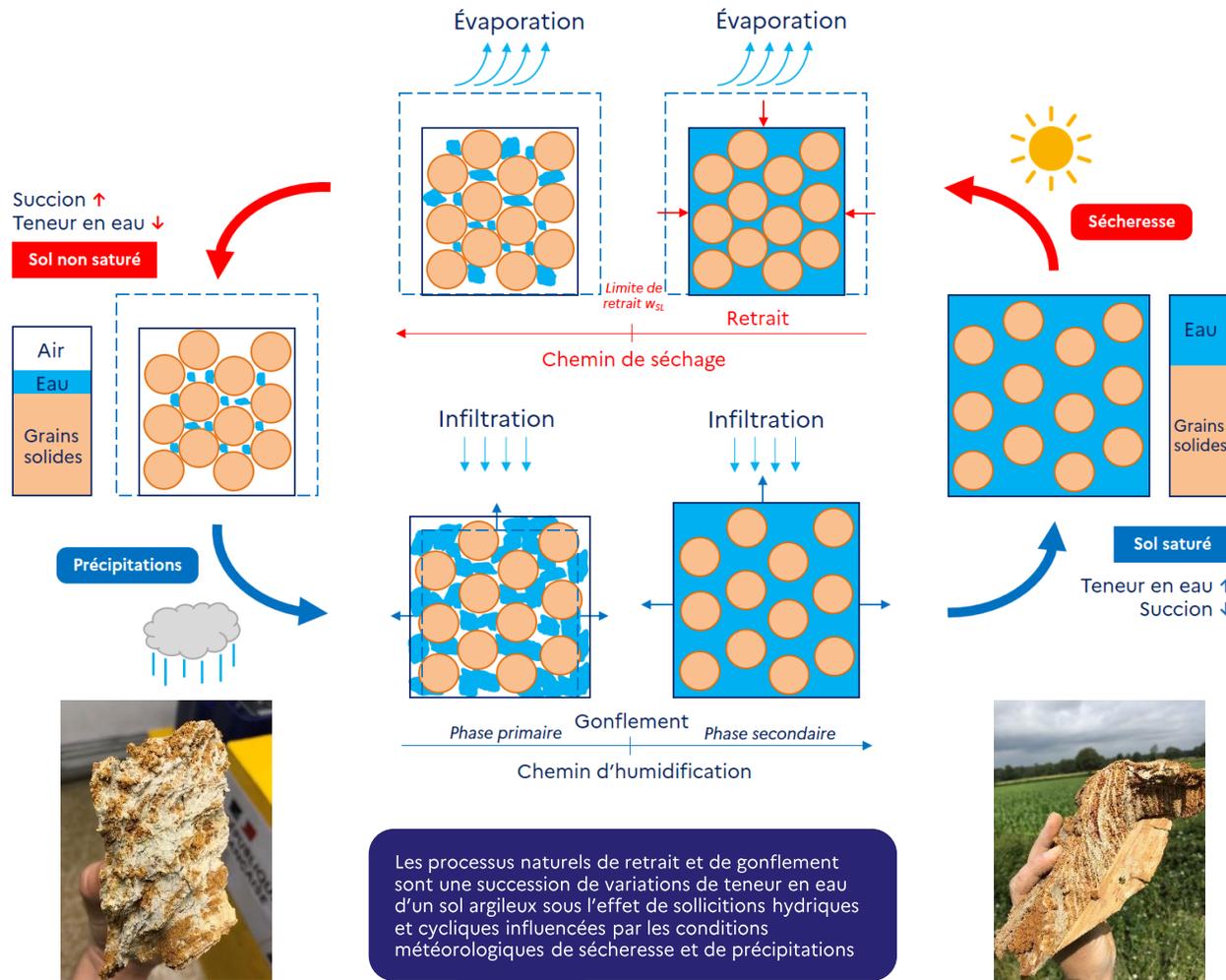


Touret et al. (1990)

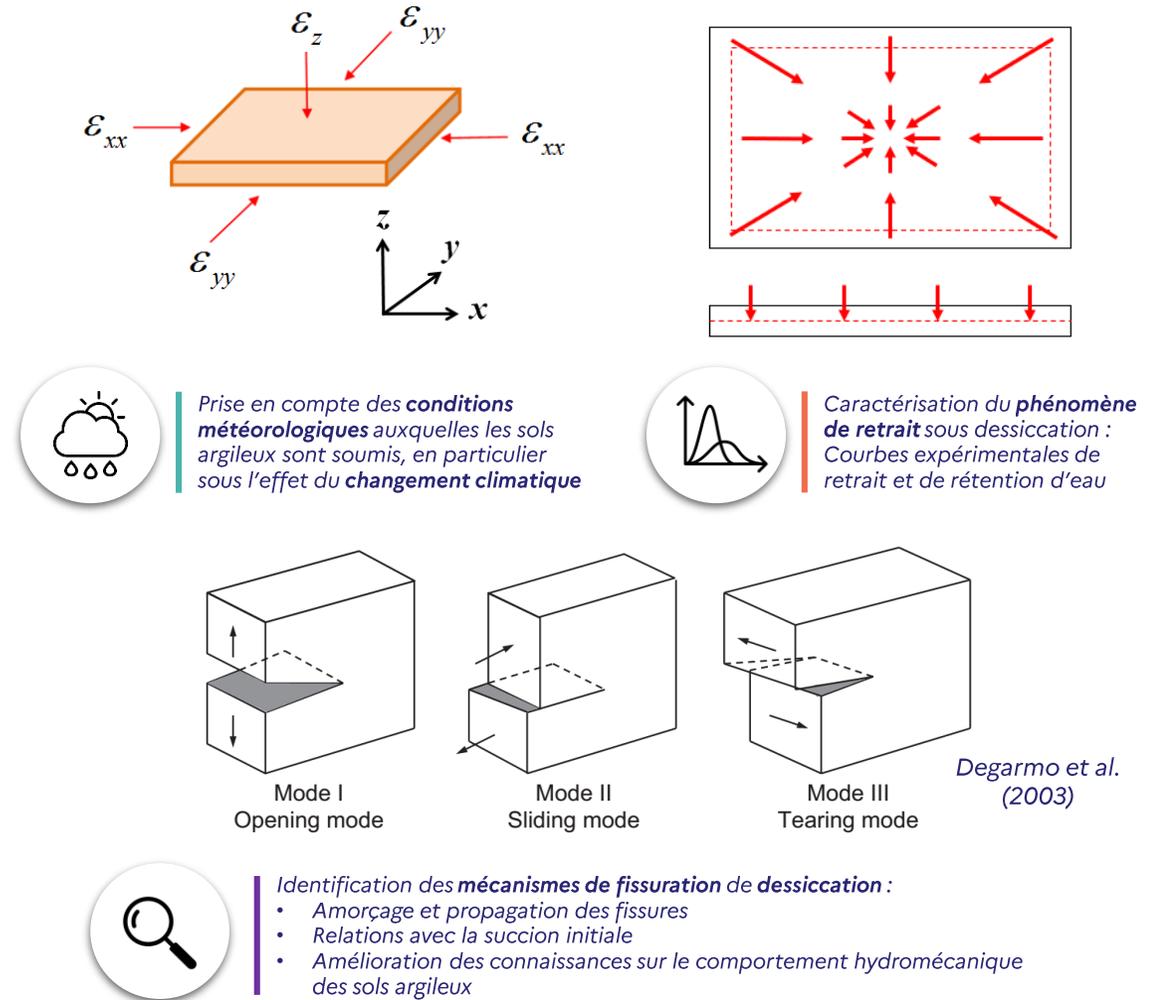
# 1. Introduction au phénomène de RGA et ses conséquences

- Évolution du RGA sous l'effet du changement climatique

## Dérèglement des cycles de séchage-humidification (élément idéalisé d'un sol)



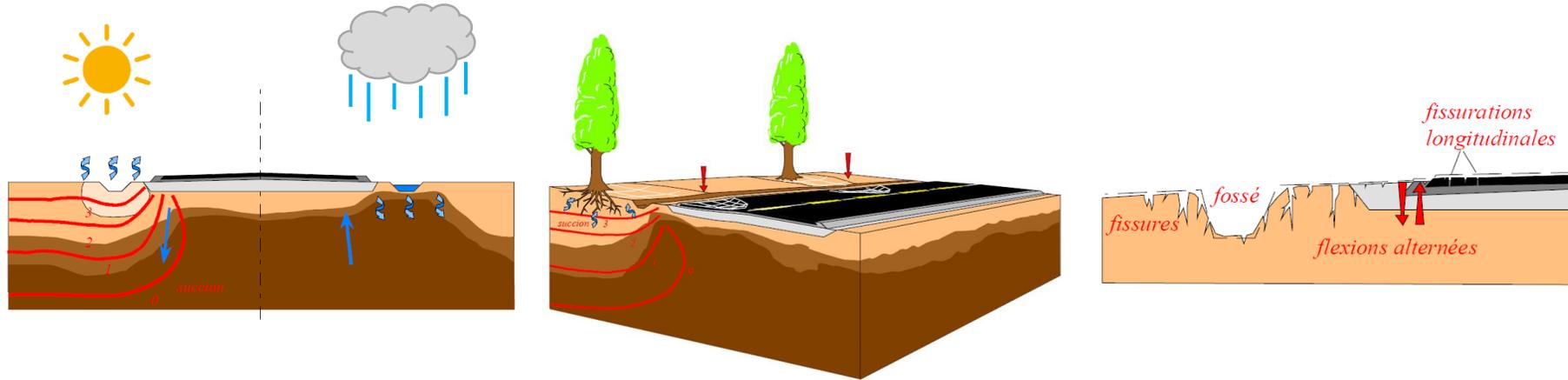
## Caractérisation du phénomène de fissuration par dessiccation



# 1. Introduction au phénomène de RGA et ses conséquences

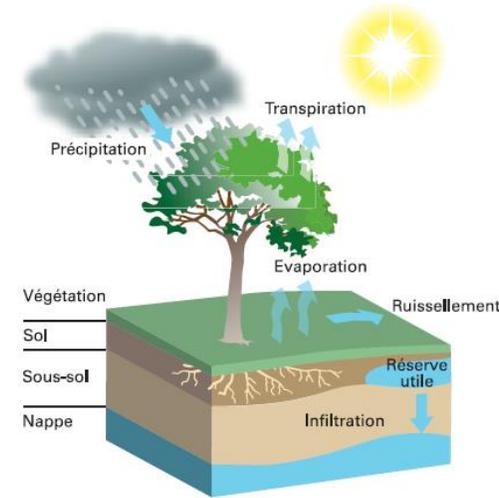
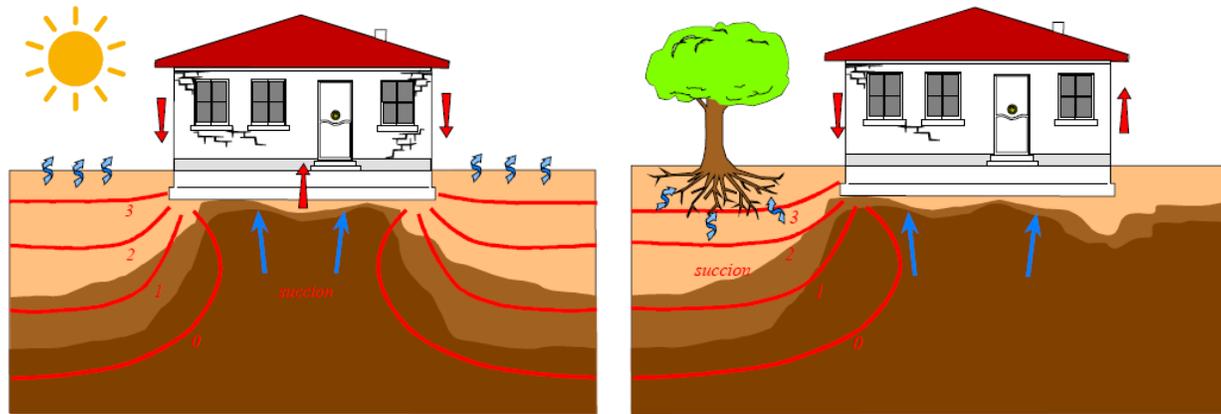
- Impacts du RGA sur les structures (routes et maisons) et effets de l'environnement proche

## Impacts sur les routes



## Impacts sur les maisons

Reiffsteck (1999)



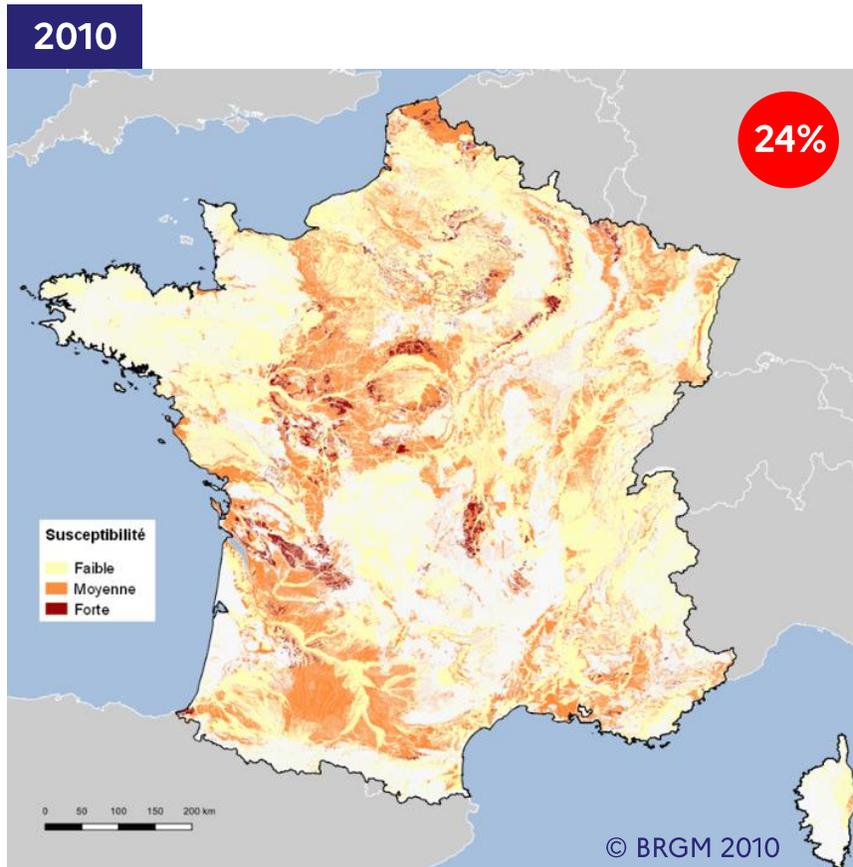
Béchade (2014)



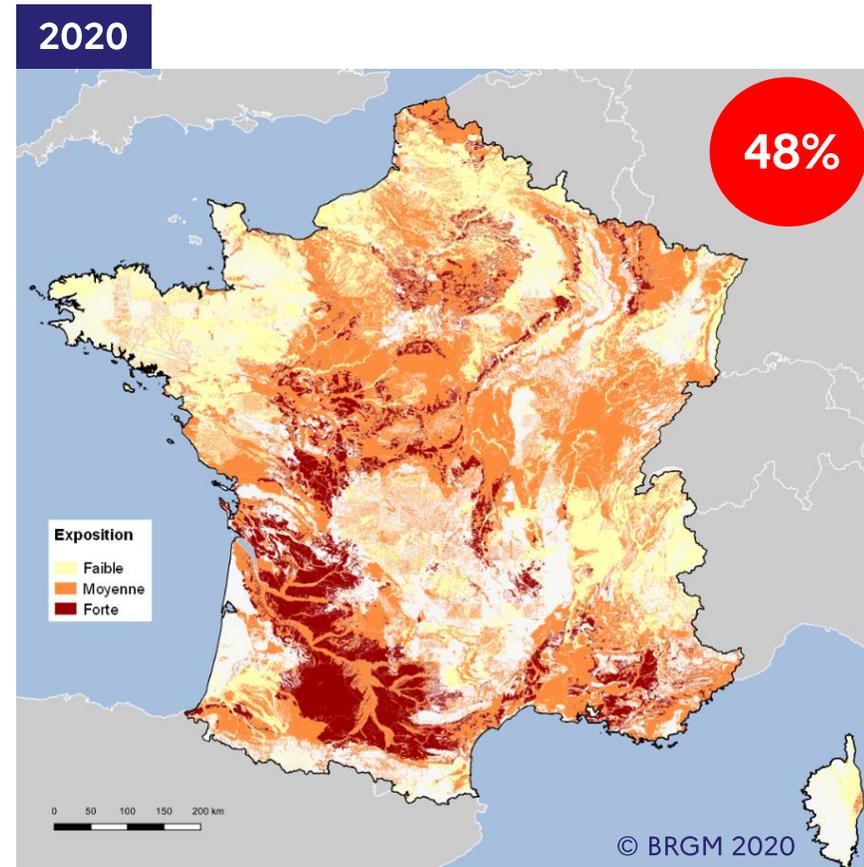
## 2. Sécheresse & RGA : exposition en France métropolitaine

## 2. Sécheresse & RGA : exposition en France métropolitaine

- Evolution de l'exposition au phénomène de RGA en France (source : BRGM)



Cartographie de la **susceptibilité** du territoire au phénomène de retrait gonflement : **24%** du territoire est en zone de susceptibilité moyenne ou forte



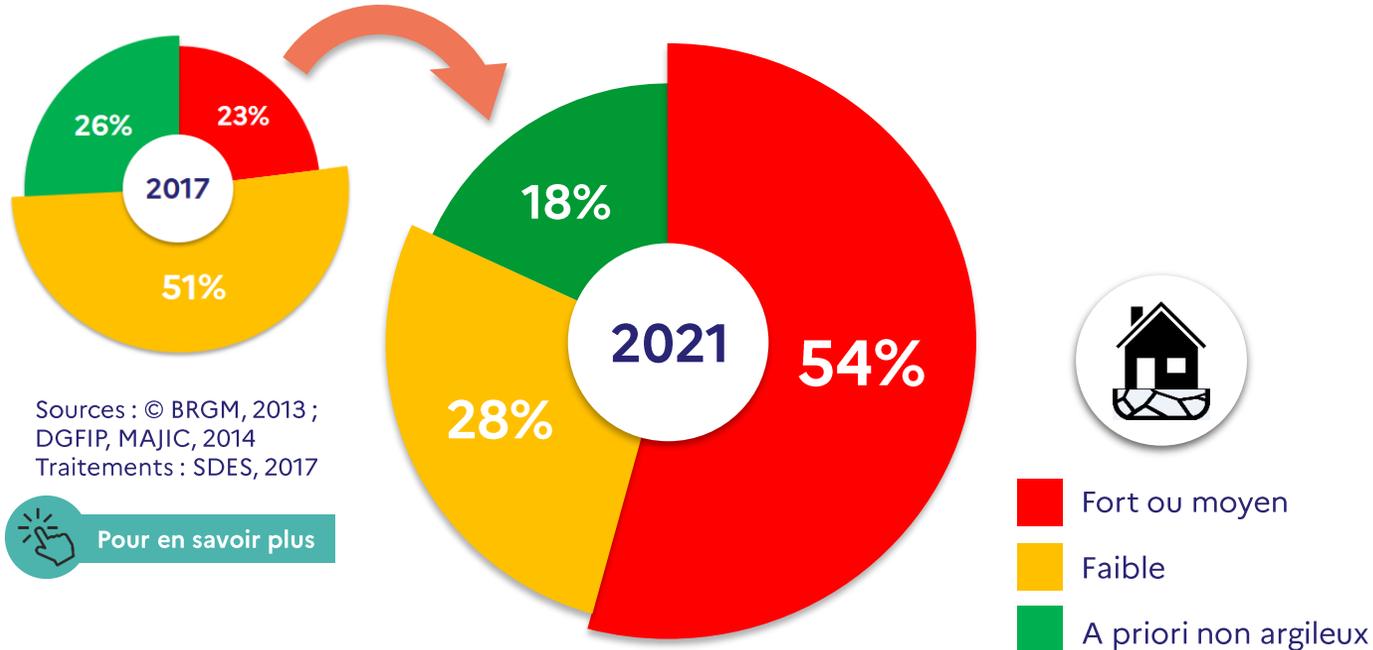
Cartographie de l'**exposition** du territoire au phénomène de retrait gonflement : **48%** du territoire est en zone d'exposition moyenne ou forte



## 2. Sécheresse & RGA : exposition en France métropolitaine

- Extension de l'exposition du bâti au phénomène de RGA en France

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



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

 Pour en savoir plus

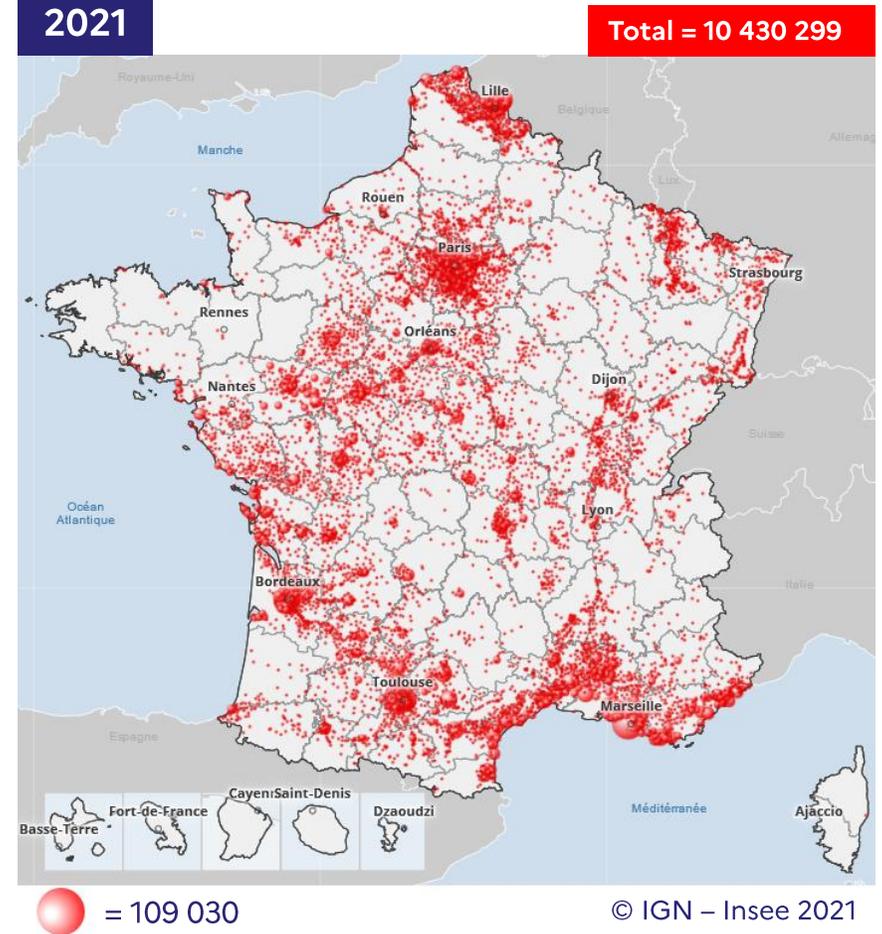
Sources : © BRGM, 2019 ; Fideli, 2017  
Traitements : SDES, 2021

 Pour en savoir plus

- Fort ou moyen
- Faible
- A priori non argileux

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**



Data source : SDES 2021

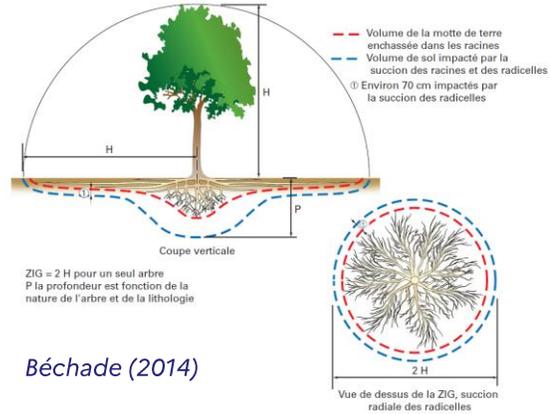


### 3. Impacts du RGA sur les maisons et effets de l'environnement proche

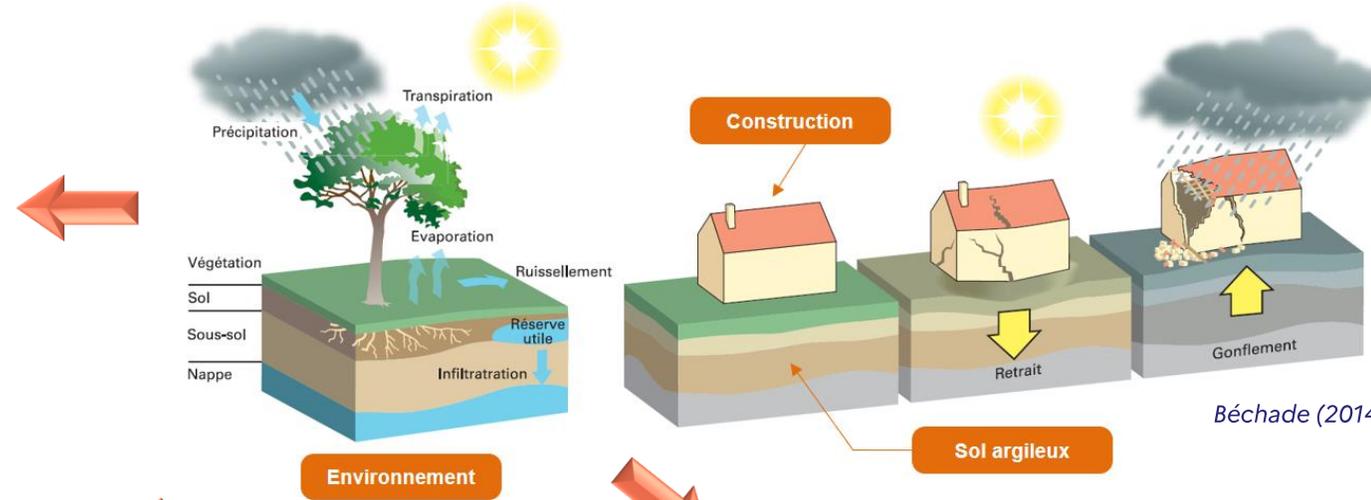
### 3. Impacts du RGA sur les maisons et effets de l'environnement proche

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

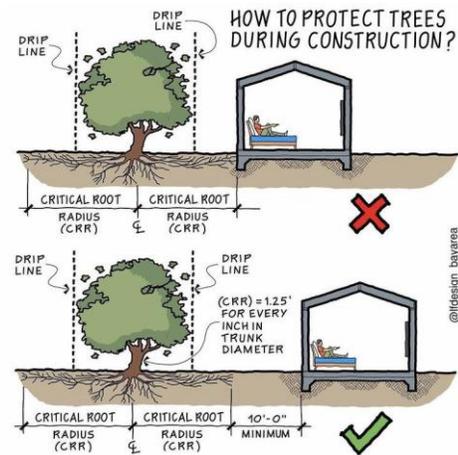
#### Influence de la végétation



Béchade (2014)



Béchade (2014)



Crédit photo : Luis Furushio © LF Design

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. Impacts du RGA sur les maisons et effets de l'environnement proche

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

#### Présence de la végétation



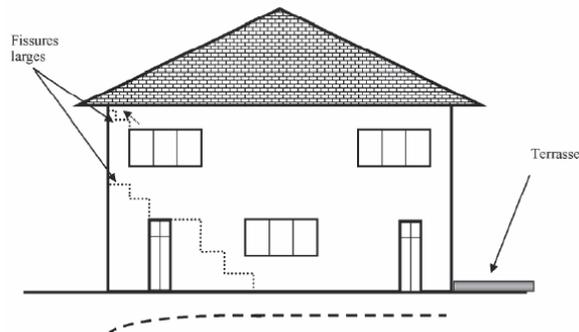
#### Défauts de construction



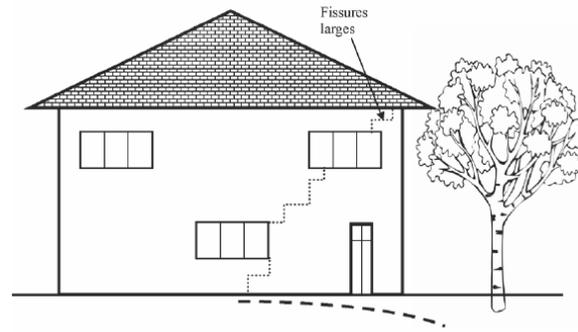
#### Mauvaise gestion des eaux de pluie



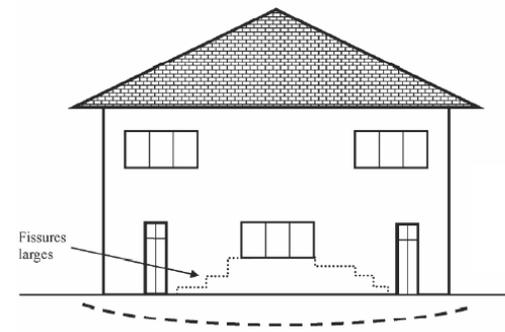
#### Mécanismes d'apparition des fissures



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 et Ineris (2017)



### 3. Impacts du RGA sur les maisons et effets de l'environnement proche

- Exemple : impact de l'environnement proche d'une maison sinistrée dans la commune de Dhuizon (L. Ouerdi, 2021)



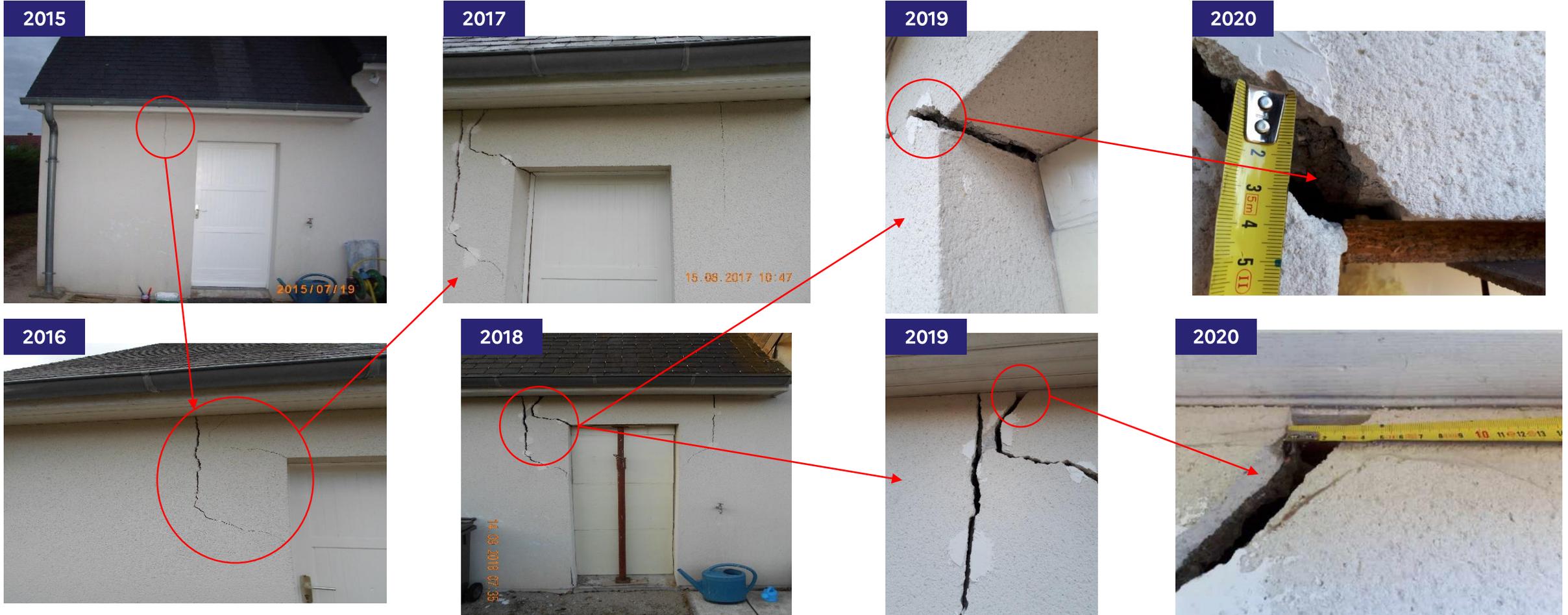
### 3. Impacts du RGA sur les maisons et effets de l'environnement proche

- Focus sur l'aggravation de la fissuration d'une maison à Cour-Cheverny sous l'effet des sécheresses de 2015 à 2020



#### Fissuration et dommages (Photos : © N. Debenne)

Exemple d'une maison de la commune de Cour-Cheverny, construite en 1998 et achetée par sa propriétaire actuelle en 2010 : les premières fissures se sont développées en 2015 et se sont aggravées durant les six années de sécheresses récurrentes et intenses jusqu'en 2020



## 4. Solutions classiques existantes (techniques courantes)

## 4. Solutions classiques existantes (techniques courantes)

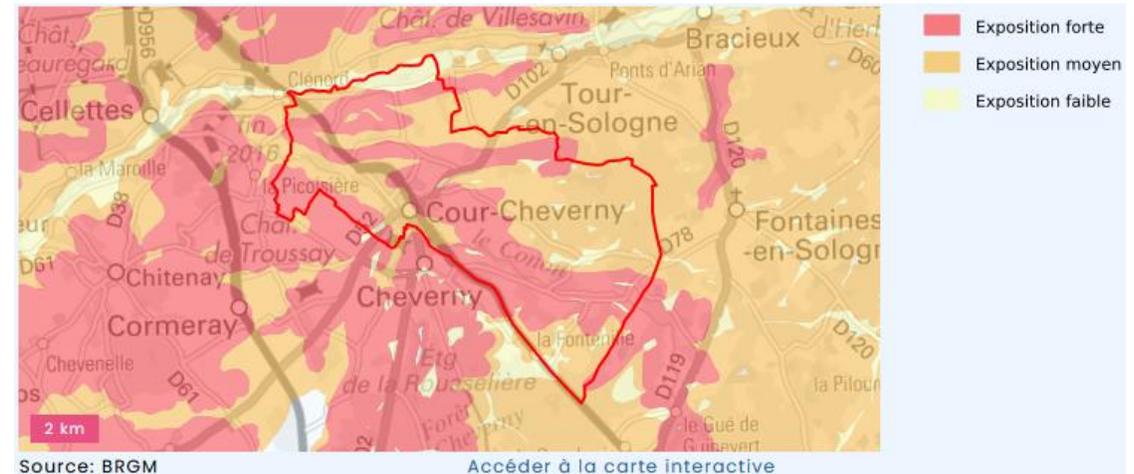
- Mieux connaître les risques près de chez soi : Géorisques



 Pour en savoir plus



Exposition RGA



Nombre de maisons individuelles exposées à l'aléa RGA (Nbr total de logements : 1349)

1300		Fort ou moyen
49		Faible
0		A priori non argileux

Data source : SDES 2021



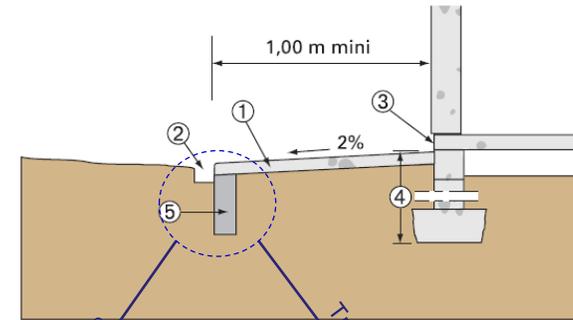
## 4. Solutions classiques existantes (techniques courantes)

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

### Trottoir et drainage périphériques

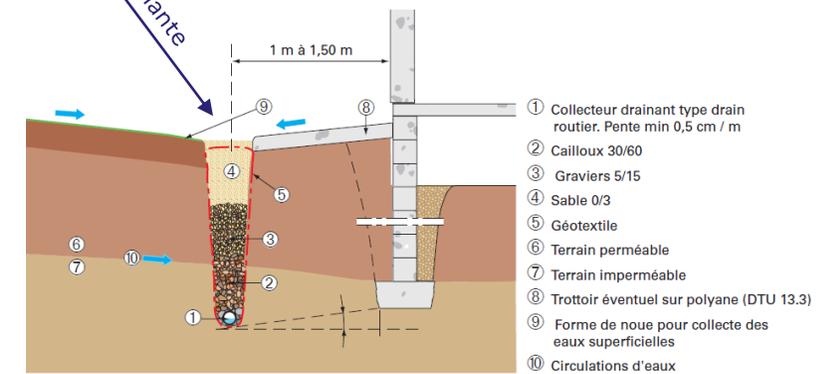
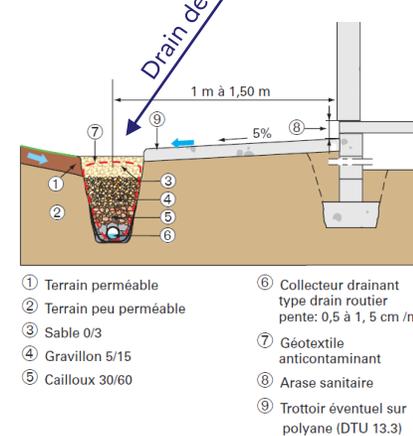
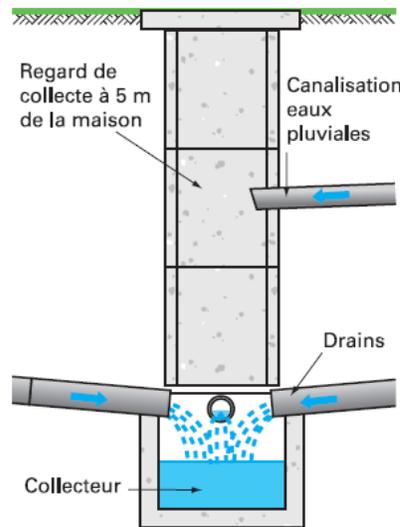
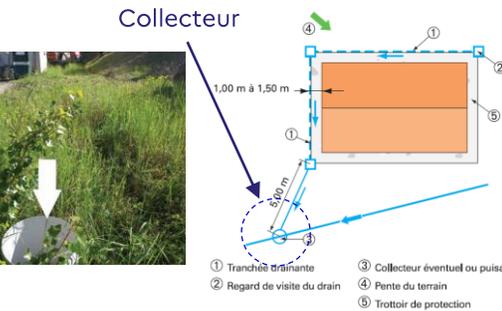
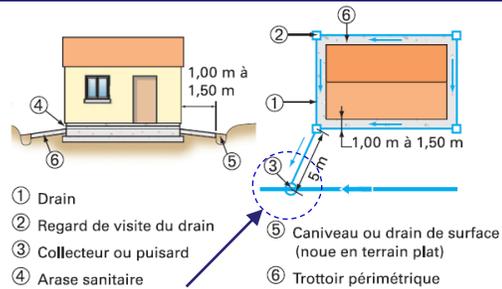


### Trottoir périphérique en béton avec caniveau



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

### Collecteur commun des eaux de drainage



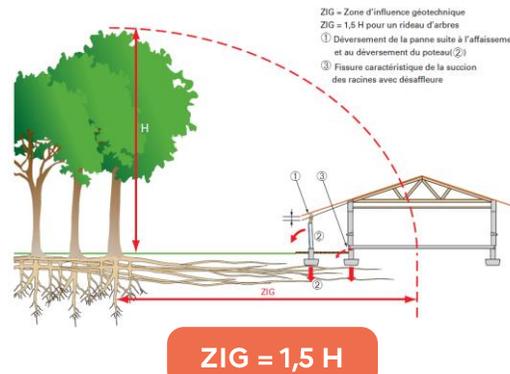
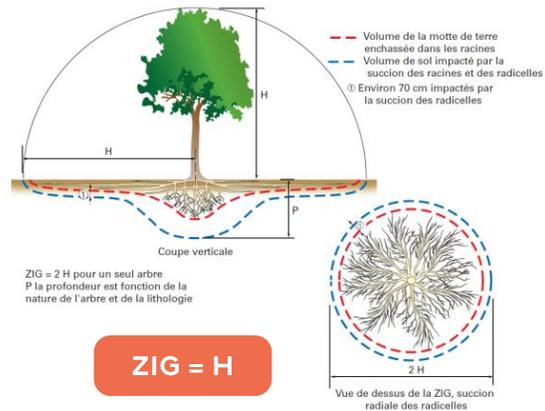
Béchade (2014)



## 4. Solutions classiques existantes (techniques courantes)

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

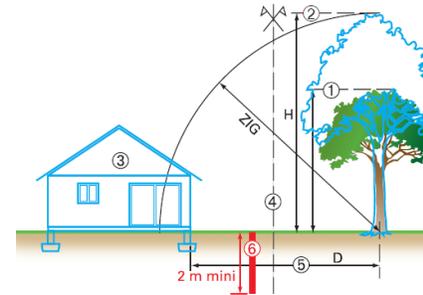
### Zone d'influence géotechnique (ZIG) des arbres



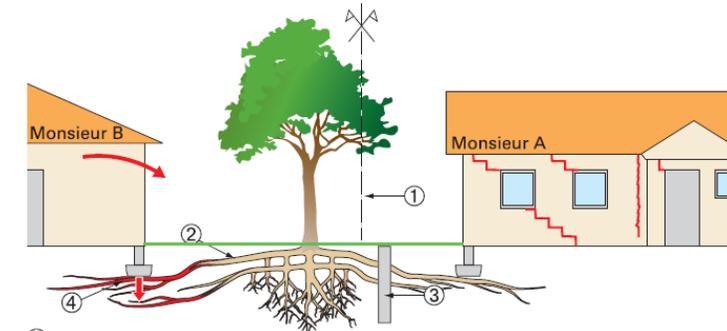
Béchade (2014)



### Techniques d'implantation des écrans anti-racines



- 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



- Limite de propriété
- Etat des racines lors de la réalisation de l'écran chez Monsieur A
- Ecran anti racines béton de 2 m de profondeur
- Développement des racines en 2 étés



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

## 5. Nouvelles solutions de stabilisation et d'adaptation au changement climatique

## 5. Nouvelles solutions de remédiation et d'adaptation au changement climatique

- MACH : première expérimentation à l'échelle 1 (2016 – 2020)

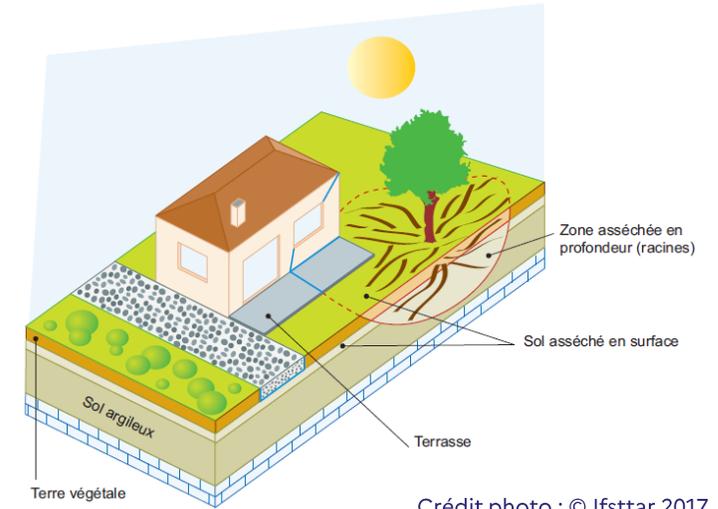


Crédit photo : © KONRAD K./SIPA

Sécheresse &  
RGA



Fissuration et  
désordres



Crédit photo : © Ifsttar 2017

**Solution MACH**  
**MAison Confortée par Humidification**

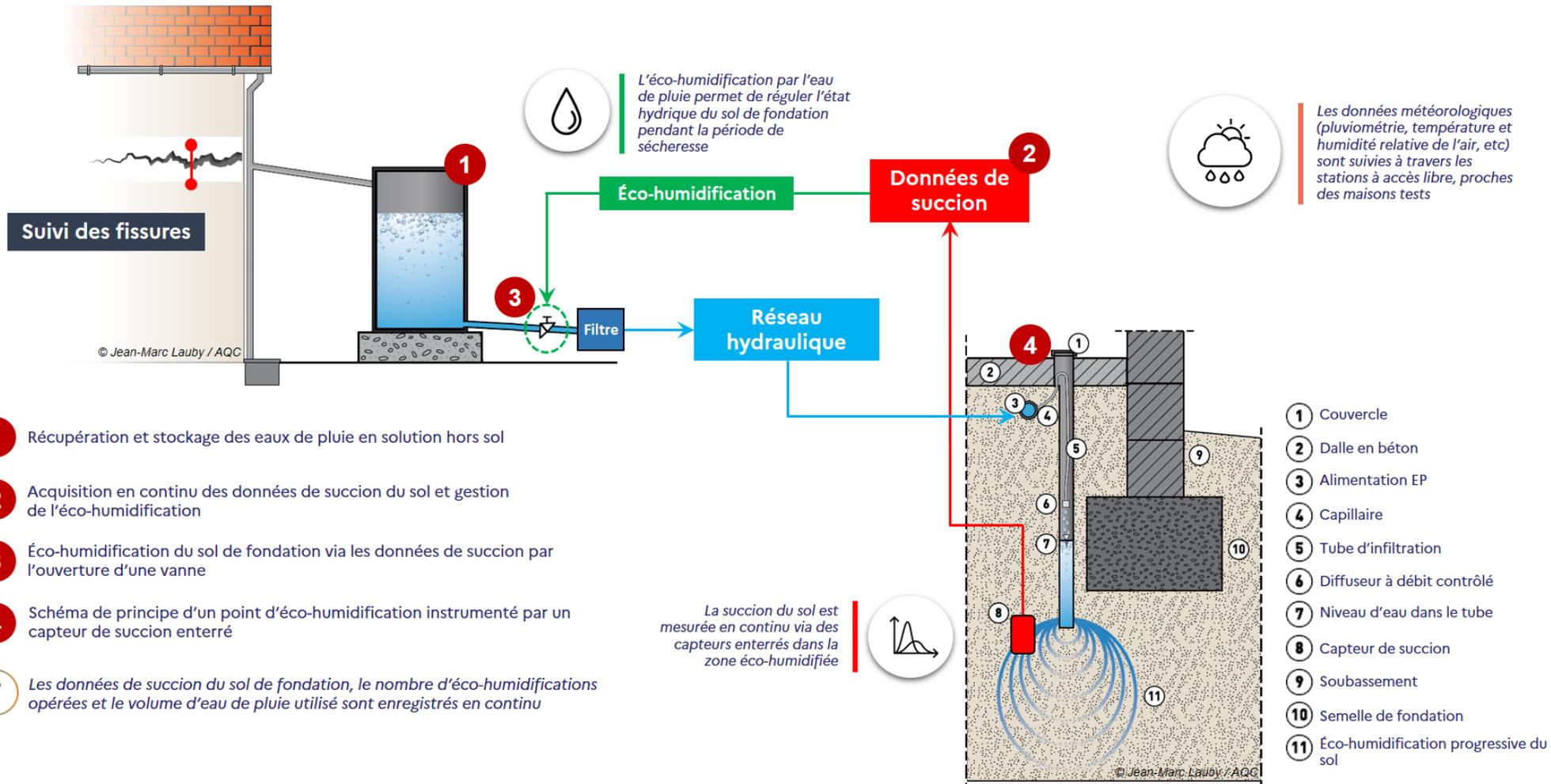
Signature de la convention  
08/11/2016

Fin de la convention  
07/11/2020



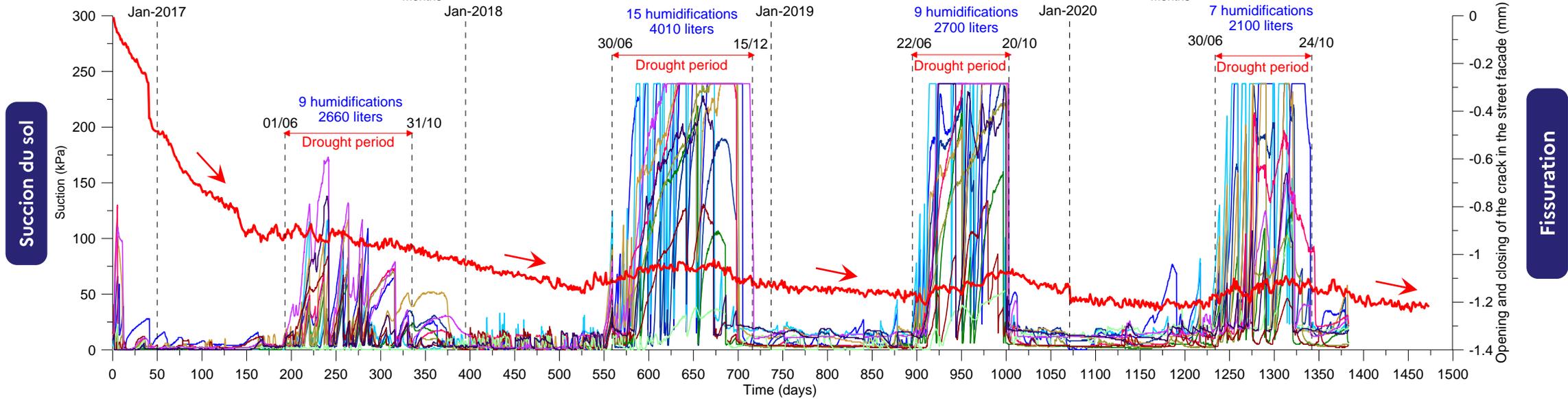
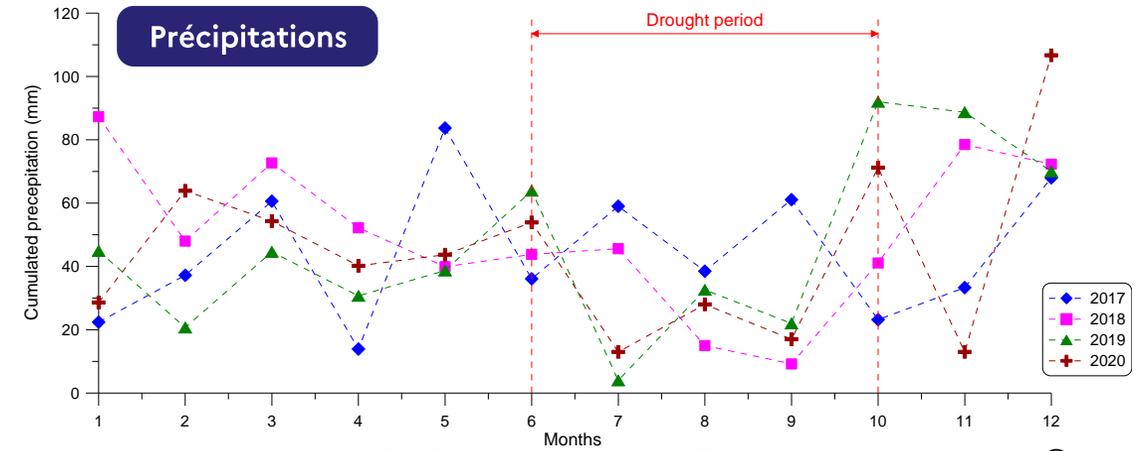
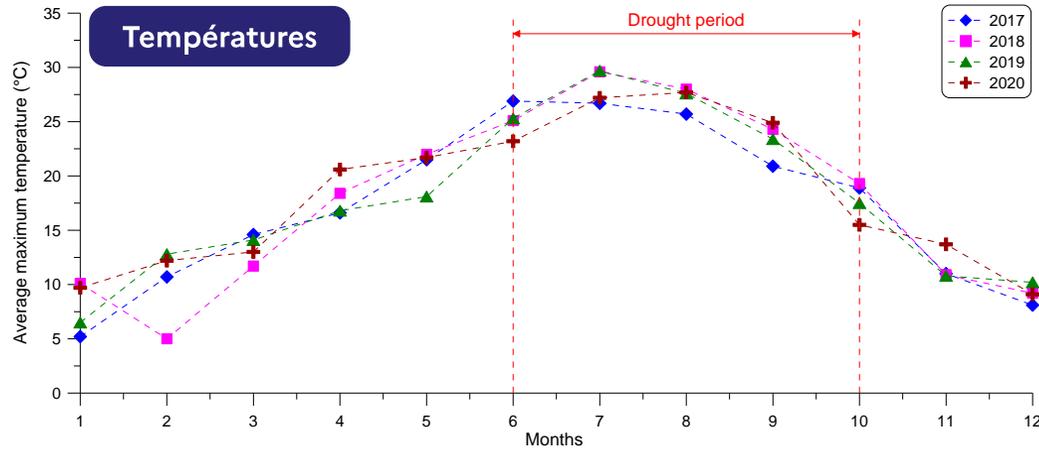
## 5. Nouvelles solutions de remédiation et d'adaptation au changement climatique

- Schéma de principe du procédé MACH



## 5. Nouvelles solutions de remédiation et d'adaptation au changement climatique

- Synthèse des résultats obtenus grâce au procédé MACH (2017 – 2020)

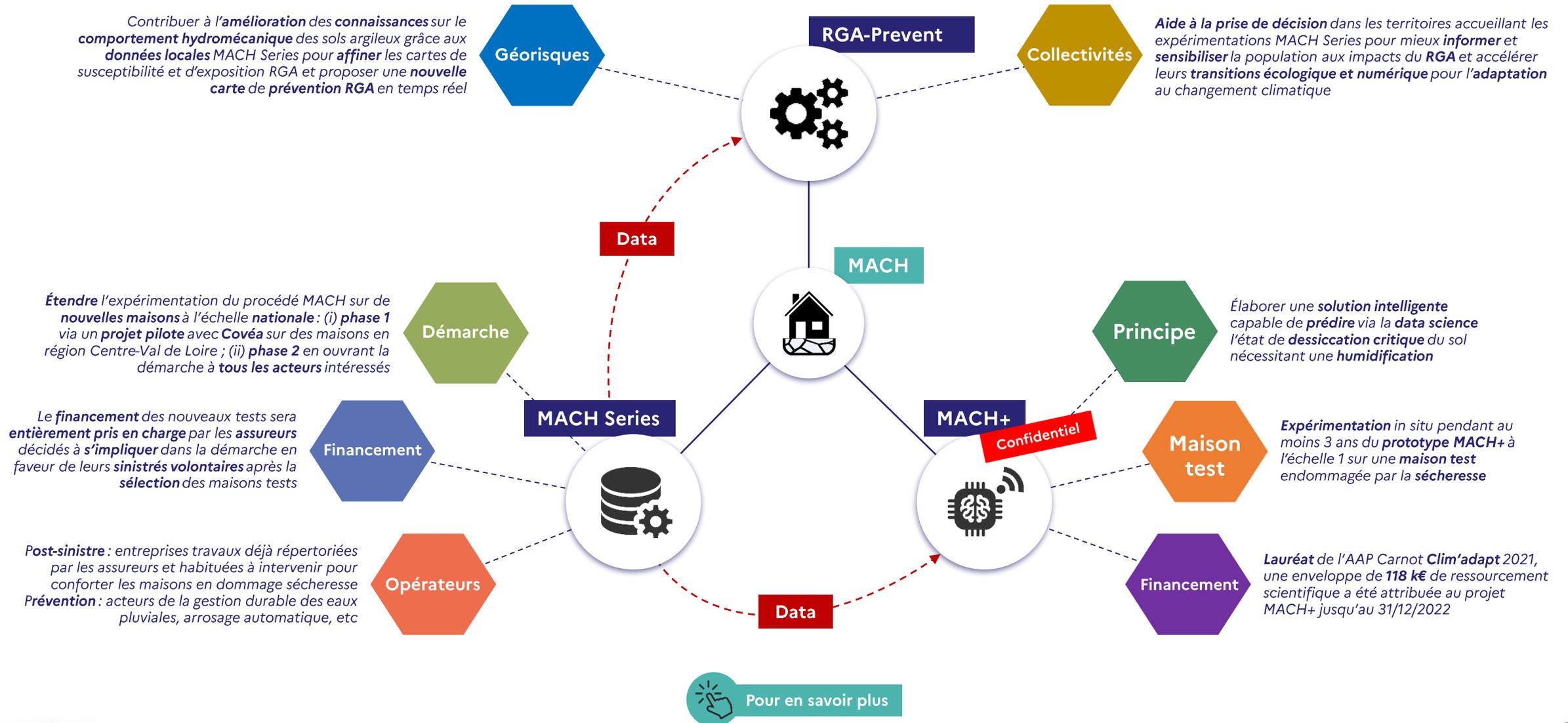


Succion du sol

Fissuration

## 5. Nouvelles solutions de remédiation et d'adaptation au changement climatique

- Cartographie des axes de développement de la solution MACH : MACH+, MACH Series et RGA-Prevent



## 5. Nouvelles solutions de remédiation et d'adaptation au changement climatique

- Projet MACH Series : vérification de la reproductibilité du procédé MACH à horizon 2025



### Projet pilote avec le groupe Covéa

- Démarrage prévu fin 2022
- Expérimentation du dispositif MACH sur quelques dizaines de maisons en région Centre-Val de Loire



### Installation et instrumentation

- Travaux d'instrumentation des maisons sélectionnées et démarrage de l'acquisition des data (suction du sol et paramètres météo)



### Extension des expérimentations

- Courant 2023 et en parallèle au projet pilote, élargissement à l'échelle nationale du projet MACH Series en partenariat avec tous les acteurs socio-économiques intéressés



### Certification

- Début 2025, passage devant la C2P (Commission Prévention Produits) pour obtenir la certification de la solution MACH Series comme technique courante



### Commercialisation

- Fin 2025, commercialiser la solution MACH Series avec un coût accessible à tous les sinistrés pour contribuer à l'adaptation du bâti exposé au RGA, selon la compatibilité requise pour la mise en œuvre

## 5. Nouvelles solutions de remédiation et d'adaptation au changement climatique

- Projet de recherche MACH+ : intégrer l'intelligence artificielle pour simplifier le procédé MACH



### Projet financé par l'Institut Carnot Clim'adapt

- Projet de recherche MACH+ lauréat de l'appel à projets Carnot Clim'adapt 2021 avec une enveloppe de 118 k€ de ressource scientifique



### Instrumentation d'une maison test

- De novembre 2021 à septembre 2022, réalisation des travaux d'expérimentation in situ du prototype MACH+ à l'échelle 1 sur une maison endommagée par la sécheresse



### Data & Machine Learning

- Début 2023, élaborer une ébauche de l'algorithme de Machine Learning sur la base des données météo et de succion du sol issues de l'instrumentation MACH+



### Conception et développement

- Jusqu'en 2025, concevoir les variantes finales de la solution intelligente MACH+ adaptable aux diverses configurations de maisons à conforter



### Commercialisation

- Fin 2025, passage devant la C2P pour commercialiser les variantes de la solution MACH+ avec un coût accessible à tous les sinistrés pour contribuer à l'adaptation du bâti exposé au RGA, selon la compatibilité requise pour la mise en œuvre

## 5. Nouvelles solutions de remédiation et d'adaptation au changement climatique

- Projet RGA-Prevent : améliorer les connaissances sur le RGA et développer un nouvel outil de prévention



### Information et prévention

- Poursuivre la diffusion d'information et des recommandations de prévention auprès du grand public afin de réduire la vulnérabilité du bâti exposé



### Sensibilisation des acteurs concernés

- Dès 2023, fédérer les services de l'Etat (Géorisques) et les collectivités autour de cette démarche inédite



### Cartographie

- Dès 2024, lancement du transfert des data vers les outils de visualisation (Géorisques, par exemple) et d'information locale (bases de données) existants et nouveaux



### Mise en service de l'outil « RGA-Prevent »

- Courant 2025, mise en service de l'outil « RGA-Prevent » pour accompagner les acteurs locaux et nationaux dans leur stratégie d'adaptation du bâti face au changement climatique

## 5. Nouvelles solutions de remédiation et d'adaptation au changement climatique

- Focus sur la nouvelle instrumentation d'une maison test : projet de recherche MACH+



### Description du bâtiment

- Maison pavillonnaire R+0
- Année de construction : 1969
- Surface habitable de 105 m<sup>2</sup> sur une parcelle de 1616 m<sup>2</sup>
- Année d'achat par la propriétaire actuelle : 2020
- Localisation : **Loir-et-Cher**
- Exposition RGA (Géorisques) : **forte**
- Profondeur des fondations : 50 cm



### Dommmages et fissuration

- Des fissures ont été recensées sur toutes les façades de la maison avec pour certaines des opérations de d'agrafage ont été réalisées
- L'intérieur de la maison n'est pas épargné, des fissures sont également visibles sur les murs



### Environnement proche

Des travaux de remise en état de l'assainissement et le retrait de la végétation proche des façades de la maison test ont été entrepris par la propriétaire début 2021



### Reconnaisances géotechniques initiales

- 2 sondages pressiométriques et 2 sondages carottés (tests labo)
- Une série de sondages à la tarière pour identifier le toit de la couche d'argile très plastiques autour de la maison
- Des échantillons de sol ont été prélevés in situ pour les mesures de teneur en eau en laboratoire



### Installation et instrumentation (Novembre 2021 – Juillet 2022)

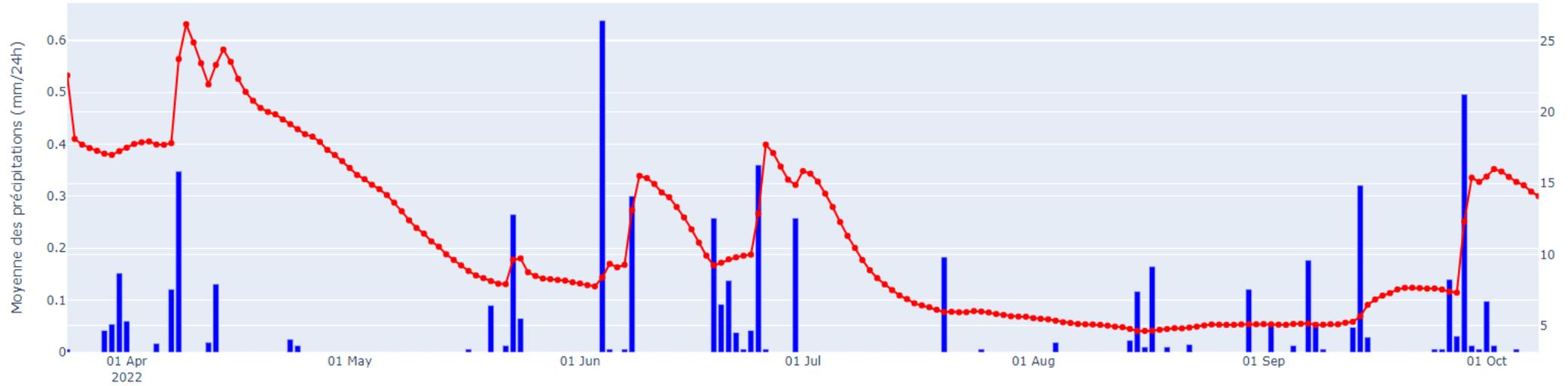
- Pose du dispositif de récupération et de stockage des EP
- Mise en place du réseau hydraulique permettant d'alimenter les différents points d'humidification, implantés autour des façades fissurées
- Pose des capteurs de succion et des fissuromètres
- Installation d'une station météo équipée

## 5. Nouvelles solutions de remédiation et d'adaptation au changement climatique

- Focus sur la nouvelle instrumentation d'une maison test MACH+ : bilan des suivis

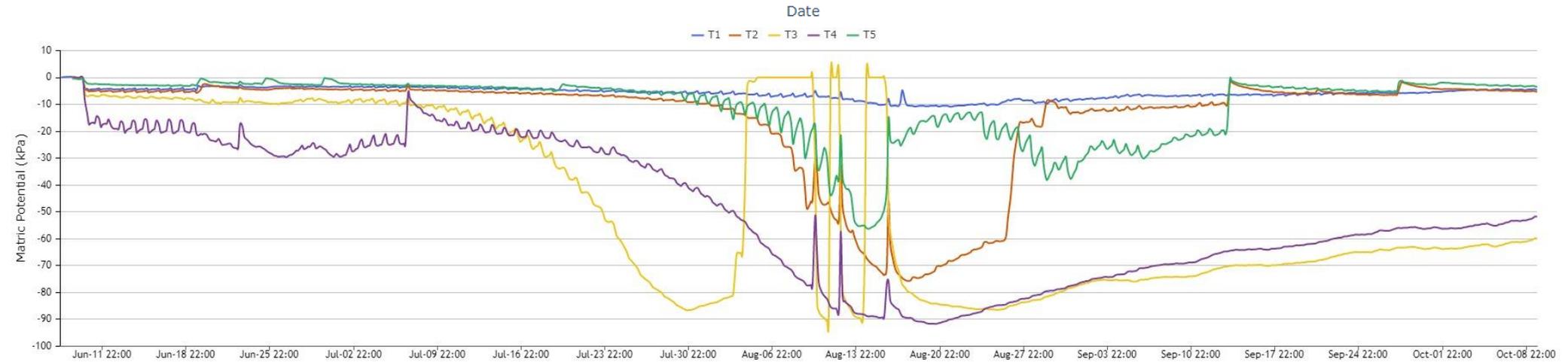
Suivi station météo MACH+

 Précipitations  
 Teneur en eau



Précipitations

Teneur en eau



Potentiel matriciel

## 5. Nouvelles solutions de remédiation et d'adaptation au changement climatique

- Exemples de conception en laboratoire de nouvelles solutions de remédiation RGA

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

Agir sur les relations physico-chimiques du sol argileux pour réduire son potentiel de gonflement et le rendre moins sensible aux variations de teneur en eau



### Limiter l'évaporation du sol argileux par ajout d'huile végétale recyclée

Incorporation d'huile végétale usagée dans le sol argileux pour réduire l'évaporation de l'eau durant les périodes de fortes chaleurs



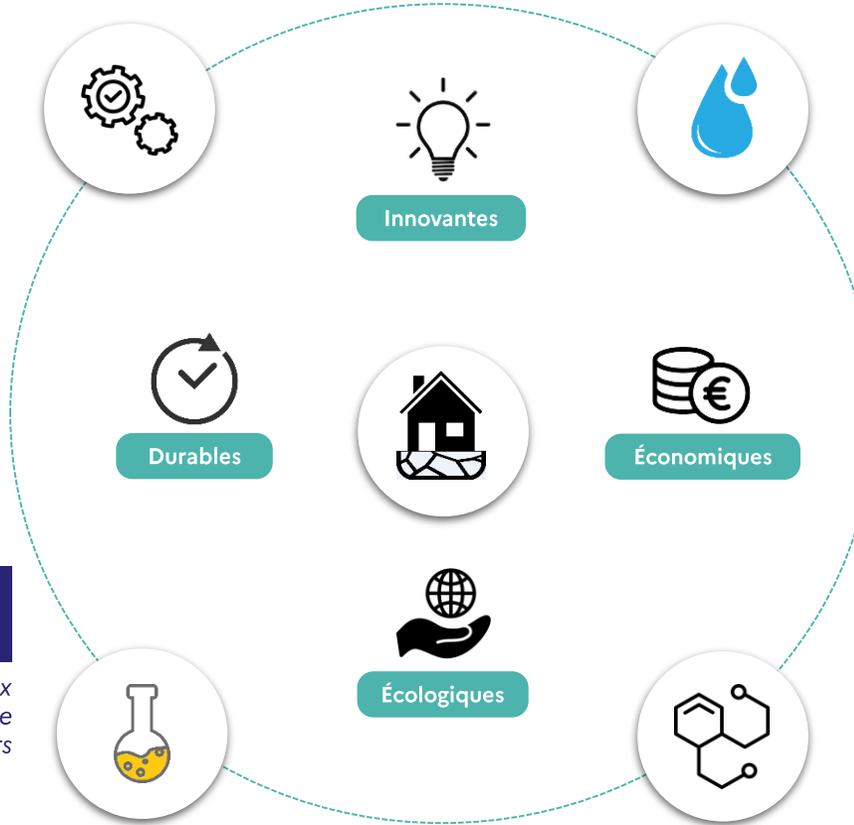
### Réhumidification du sol de fondation par la filtration des eaux usées domestiques

Conception d'un filtre écologique à base de matériaux recyclés pour pouvoir utiliser les eaux usées domestiques comme ressource en eau pour ré-humidifier le sol de fondation (procédé MACH)



### Stabilisation chimique du sol argileux par ajout de lait de chaux

Agir sur les relations physico-chimiques du sol argileux pour réduire son potentiel de gonflement et le rendre moins sensible aux variations de teneur en eau



## 6. Conclusions et perspectives

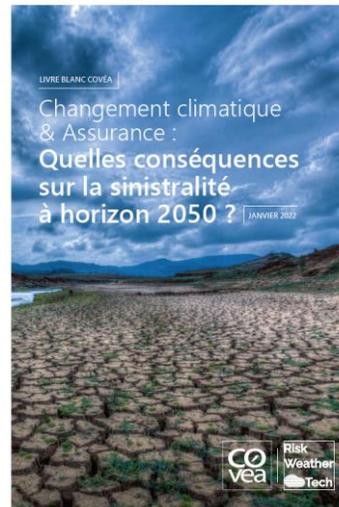
- Les **sécheresses**, devenues de plus en plus fréquentes et intenses, subies ces 6 dernières années en France ont considérablement contribué à la **dégradation** des structures en surface (routes, maisons individuelles, etc)
- Ces ouvrages, construits sur des **soils sensibles au RGA**, sont affectés par des **fissures** de dessiccation accentuées par les facteurs 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 météorologiques extrêmes
- Le Cerema, en partenariat avec les acteurs socio-économiques, mène actuellement divers **projets de recherche** sur le phénomène RGA et son évolution sous l'effet du changement climatique pour la **résilience** et la **réduction des vulnérabilités** des ouvrages exposés
- La conception et le développement des **nouvelles solutions de remédiation** RGA pour les routes et les maisons nécessitent une phase d'expérimentation prévue jusqu'en 2025 et une étude de leur **modèle économique** dans la perspective in fine de les **commercialiser**



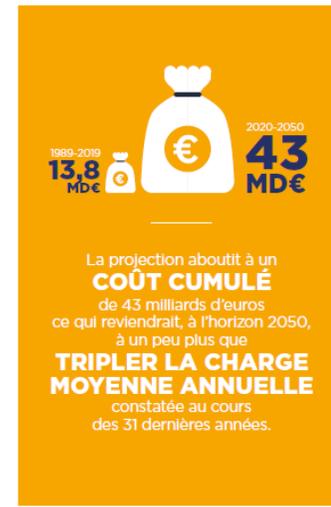
MERCI POUR VOTRE ATTENTION



**Livre blanc Covéa**  
Covéa a publié le 3 février 2022 avec Risk Weather Tech un **livre blanc** consacré au changement climatique et à son impact sur la sinistralité en France métropolitaine  
Pour en savoir plus : [cliquer ici](#)



**Rapport de la Cour des comptes sur le RGA**  
La **Cour des comptes** a publié le 15 février 2022 son rapport sur le **RGA** intitulé "Sols argileux et catastrophes naturelles : des dommages en forte progression, un régime de prévention et d'indemnisation inadapté"  
Pour en savoir plus : [cliquer ici](#)



**CINQ DÉPARTEMENTS** concentrent à eux seuls deux tiers de la hausse de la sinistralité. Les départements qui contribuent le plus à cette hausse sont la Haute-Garonne (23%), la Gironde (19%), les Landes (18%), les Pyrénées-Atlantiques (18%) et le Tarn-et-Garonne (18%).

L'étude conduit à une **TENDANCE HAUSSIÈRE FORTE** du périclé de sécheresse pour ce qui est des **DÉGÂTS INDEMNISÉS PAR LES ASSUREURS.**

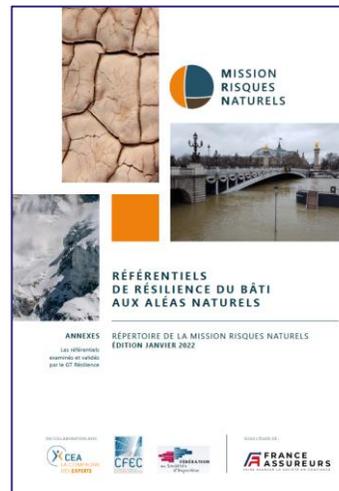
La part de l'effet « **CHANGEMENT CLIMATIQUE** » dans cette évolution est conséquente : **À UN PEU PLUS DE 17 Md€**, cet effet représente **LE 1<sup>ER</sup> FACTEUR INFLATIONNISTE.**

**Impact du changement climatique**

France Assureurs a publié le 28/10/2021 une nouvelle version de son rapport 2015 sur l'impact du changement climatique sur l'assurance  
Pour la **sécheresse**, on passe de 8 Md€ initialement imputables au changement climatique entre 2014-2039 à **17,2 Md€** entre 2020-2050  
Pour en savoir plus : [cliquer ici](#)



**Avis du Conseil économique social et environnemental (CESE)**  
Le CESE a publié le 13 avril 2022 un **nouvel avis** portant sur "**Climat, cyber, pandémie : le modèle assurantiel français mis au défi des risques systémiques**". Comme il est question de climat, le risque **sécheresse** et le phénomène de **RGA** (retrait-gonflement des sols argileux) ont bien été abordés à travers ces travaux du CESE (pages 22-23 entre autres)  
Pour en savoir plus : [cliquer ici](#)



**Répertoire des référentiels de résilience du bâti aux aléas naturels**  
La MRN a publié en janvier 2022 une nouvelle édition de son **répertoire de référentiels** de résilience du bâti aux aléas naturels qui passe en revue différents documents ayant valeur de référence en matière de résilience  
Pour télécharger le répertoire et en savoir plus : [cliquer ici](#)

**Construire en terrain argileux, la plaquette com' de la DHUP**  
En novembre 2021, la DHUP a publié une nouvelle version de sa **plaquette de communication** à destination du public sur la nouvelle réglementation (art. 68 de la loi ELAN et ses 3 arrêtés d'application) et les bonnes pratiques pour construire en terrain argileux sensible au phénomène RGA  
Pour télécharger la plaquette et en savoir plus sur le sujet : [cliquer ici](#)





**Mouvement de terrain = Risque**

plus ou moins importants en fonction de l'endroit où l'on se trouve.

### 1 | Pourquoi adapter les constructions aux mouvements de terrains ?

Relate le contexte et les constats en fournissant des chiffres clefs et des définitions. C'est également l'occasion d'aborder les rapports du GIEC et les très probables problématiques futures face au changement climatique. Il en ressort un besoin d'adaptation vis-à-vis de l'augmentation des coûts et des dommages causés par les mouvements de terrains.

Séisme ?  
Retrait-gonflement ?  
Affaissement ?  
Eboulement ?  
Glissement ?  
Effondrement ?

notamment les mouvements de terrain auxquels le projet sera exposé,

### 2 | Comment savoir si un projet de construction ou de rénovation est concerné par les mouvements de terrains ?

Explique pourquoi ces phénomènes ont lieu et donne de multiples sources d'informations pour connaître la vulnérabilité de son projet aux mouvements de terrains et pouvoir anticiper son adaptation.

Eau  
Radier  
Pieux

et en créant un obstacle à l'écoulement naturel de l'eau.

### 3 | Comment adapter mon projet de construction ou de rénovation aux mouvements de terrains ?

Cette dernière vidéo donne des éléments techniques pour adapter le logement mais également le cadre réglementaire avec les récentes modifications de la Loi Élan de 2018.



Pour visionner les 3 vidéos et en savoir plus

## Contact

Lamine **IGHIL AMEUR**



Docteur en Mécanique des Sols



Me contacter   [lamine.ighil-ameur@cerema.fr](mailto:lamine.ighil-ameur@cerema.fr)