

# Journées Techniques Risques et Territoires

*Aix-en-Provence, le mardi 27 septembre 2022*

## Maisons exposées à la sécheresse et au phénomène de RGA : impacts et recherche de solutions innovantes pour leur adaptation face au changement climatique

### Lamine IGHIL AMEUR



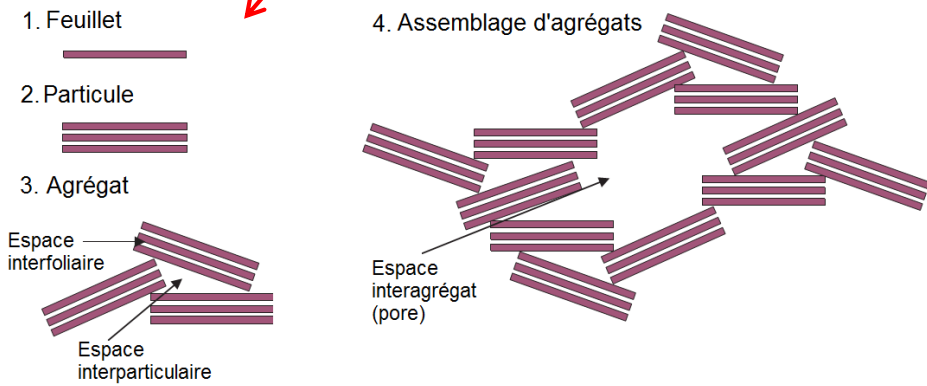
1. Introduction au phénomène de RGA et ses conséquences
2. Sécheresse & RGA : exposition en France métropolitaine
3. Impacts du RGA sur les maisons et effets de l'environnement proche
4. Solutions classiques existantes (techniques courantes)
5. Nouvelles solutions de stabilisation et d'adaptation au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

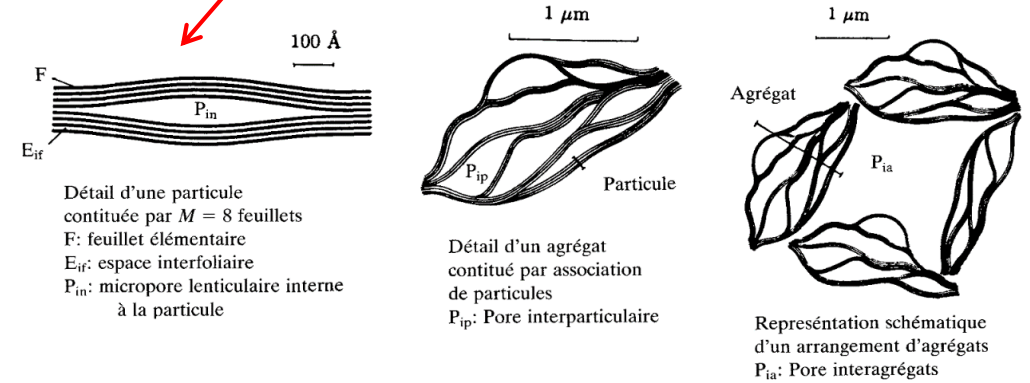
## Argiles très peu gonflantes : exemple Kaolinite



Bergaya and Lagaly (2006)



## Argiles très gonflantes : exemple Smectite

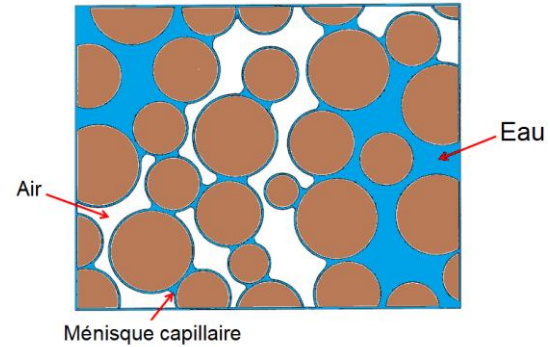


Touret et al. (1990)

# 1. Introduction au phénomène de RGA et ses conséquences

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

## Modèle élémentaire d'un sol

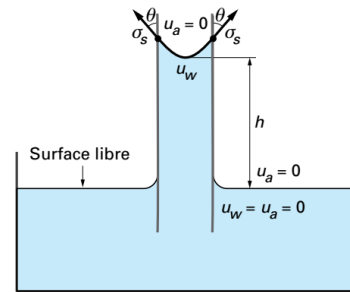
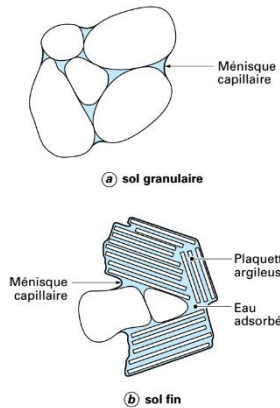
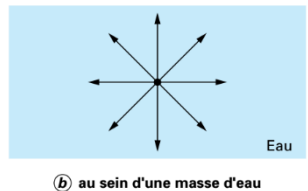
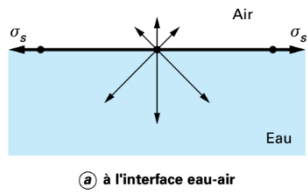


Volumes		Poids	
V <sub>a</sub>	Air	W <sub>a</sub> =0	} Vides
V <sub>w</sub>	Eau	W <sub>w</sub>	
V <sub>s</sub>	Grains solides	W <sub>s</sub>	

➤ Teneur en eau

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

## Capillarité et calcul de la succion

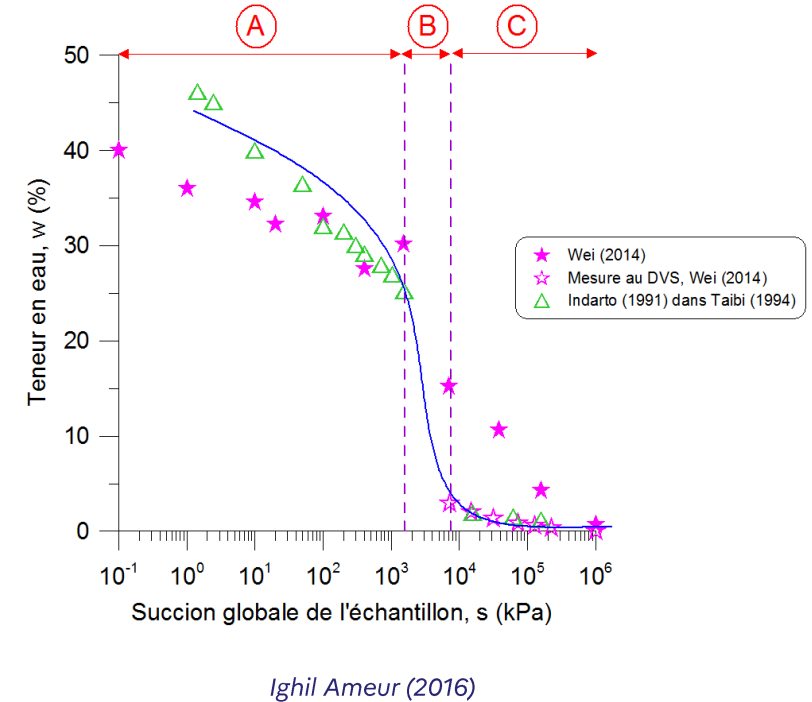


Delage et Cui (2000)

➤ Succion

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

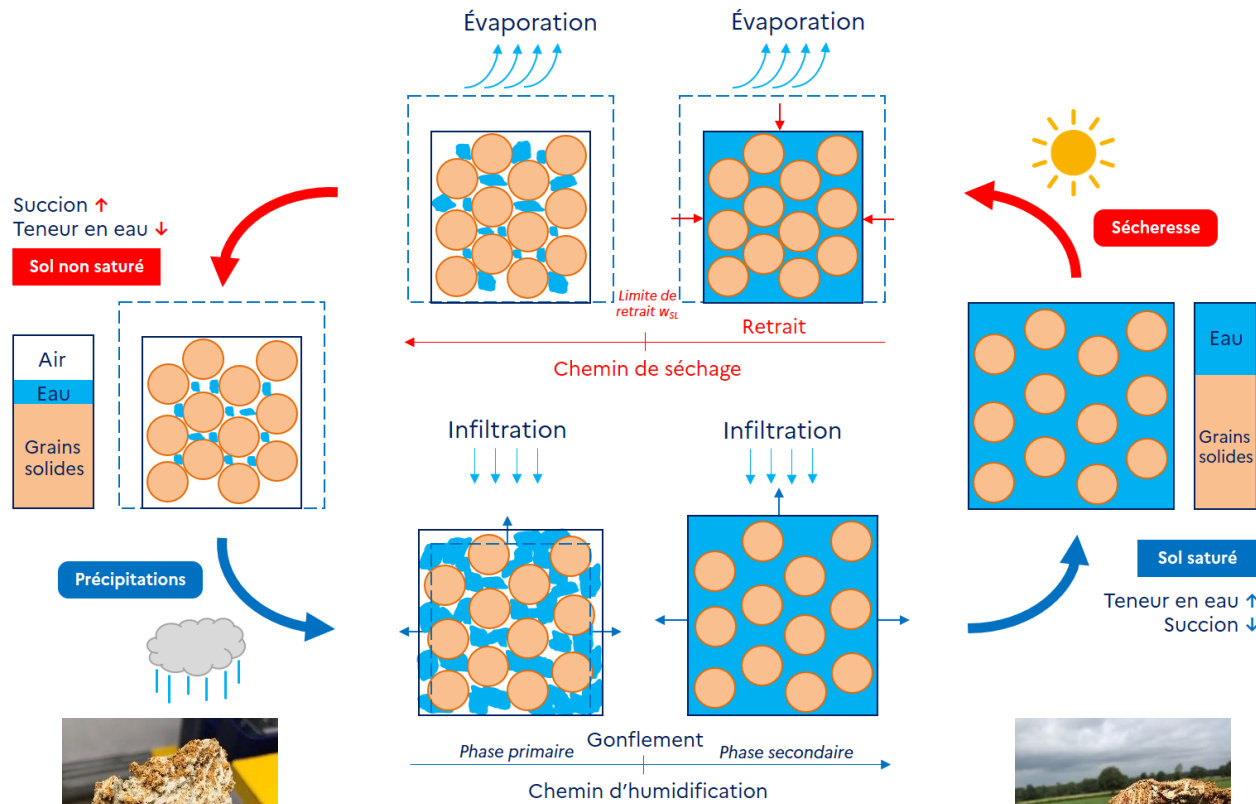
## Relation entre la teneur en eau « w » et la succion du sol « s » : SWCC



# 1. Introduction au phénomène de RGA et ses conséquences

- Évolution du RGA sous l'effet du changement climatique

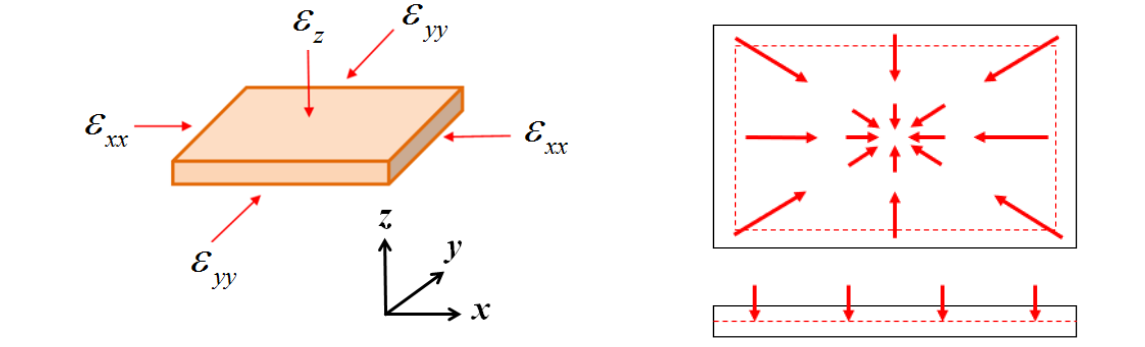
## Dérèglement des cycles de séchage-humidification (élément idéalisé d'un sol)



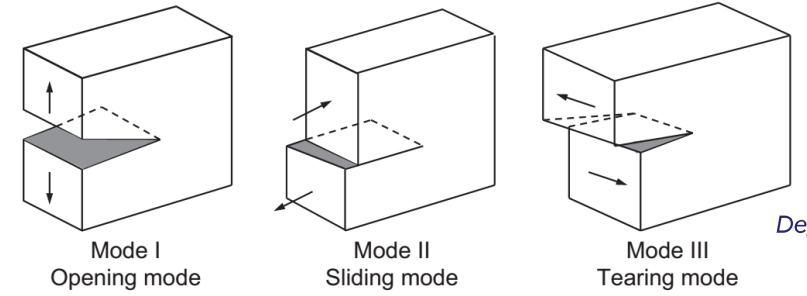
Les processus naturels de retrait et de gonflement sont une succession de variations de teneur en eau d'un sol argileux sous l'effet de sollicitations hydriques et cycliques influencées par les conditions météorologiques de sécheresse et de précipitations



## Caractérisation du phénomène de fissuration par dessiccation



Prise en compte des **conditions météorologiques** auxquelles les sols argileux sont soumis, en particulier sous l'effet du **changement climatique**



Degarmo et al. (2003)



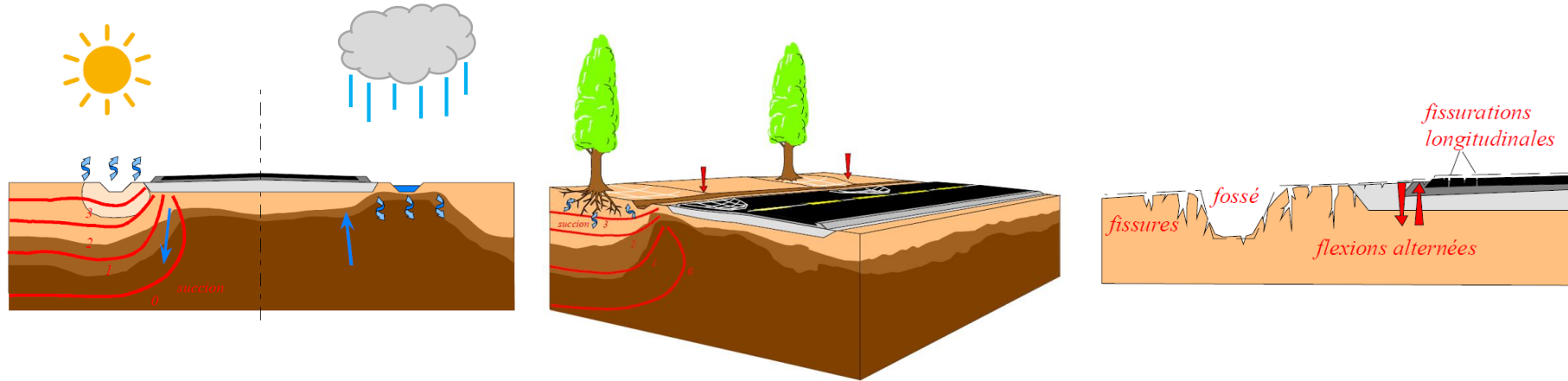
Identification des **mécanismes de fissuration de dessiccation** :

- Amorçage et propagation des fissures
- Relations avec la succion initiale
- Amélioration des connaissances sur le comportement hydromécanique des sols argileux

# 1. Introduction au phénomène de RGA et ses conséquences

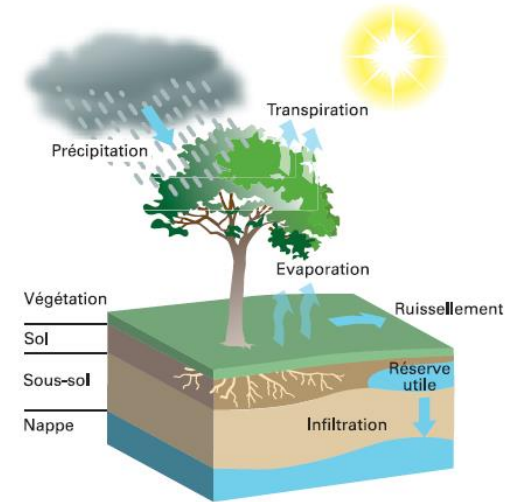
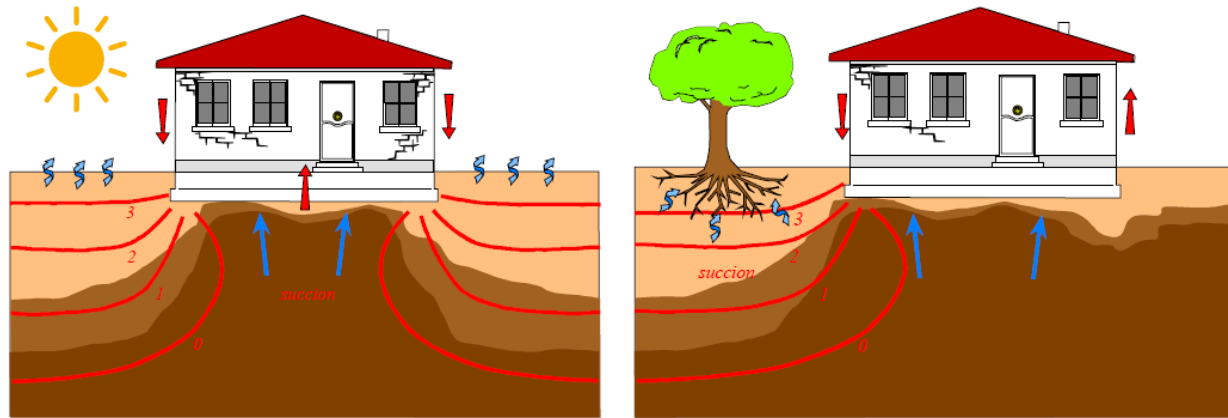
- Impacts du RGA sur les structures (routes et maisons) et effets de l'environnement proche

## Impacts sur les routes



## Impacts sur les maisons

Reiffsteck (1999)



Béchade (2014)



# 1. Introduction au phénomène de RGA et ses conséquences

- Impacts du RGA sur les personnes (propriétaires sinistrés)

## Impact psychologique sur les premiers concernés : les sinistrés



## Actions d'information et de sensibilisation et mise en avant des préoccupations des sinistrés



Crédit photo : © Mairie Azay-sur-Cher 2020

### Information et sensibilisation sur le RGA en réunion publique

Intervention lors d'une **réunion publique** pour informer et sensibiliser les habitants sinistrés sur le risque sécheresse et ses conséquences sur les maisons en termes de dommages et les nouvelles solutions de remédiation et d'adaptation au changement climatique

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



Réunion publique à la mairie de Cheverny (05/07/2021)

### Enquêtes de terrain auprès des sinistrés

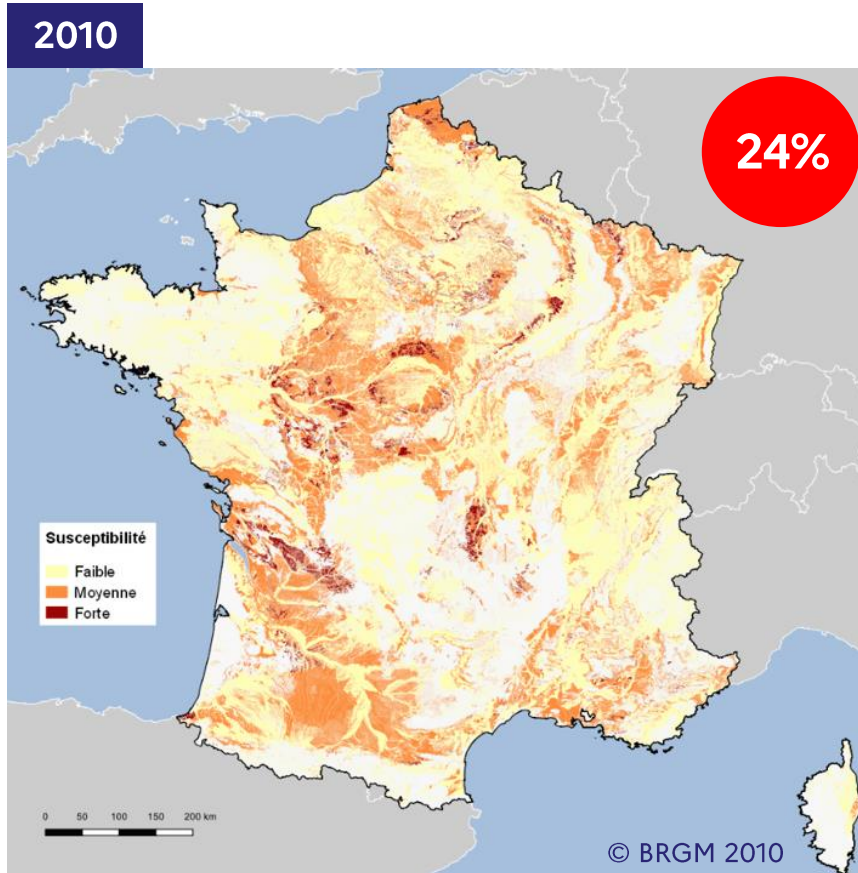
Dans le cadre du projet SPISoI-RGA\* du Cerema, réaliser des enquêtes de terrain auprès des sinistrés de la sécheresse pour recueillir leurs préoccupations et les remonter à l'occasion de nos contributions aux récents rapports traitant du sujet RGA à l'échelle nationale



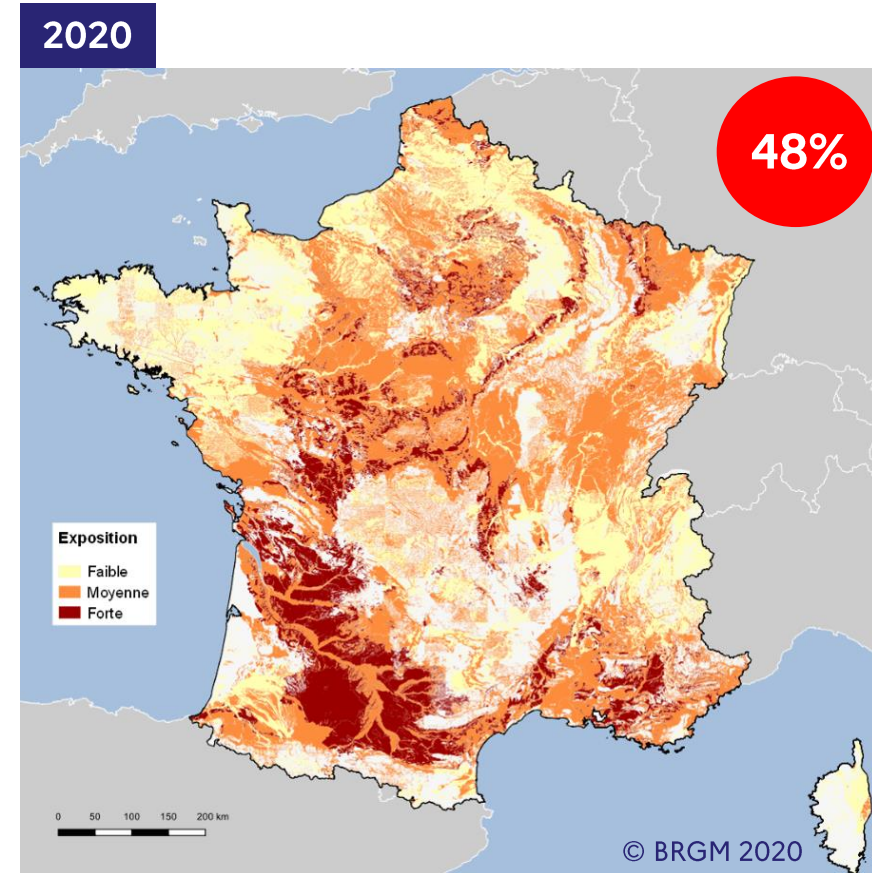
## 2. Sécheresse & RGA : exposition en France métropolitaine

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

- Evolution de l'exposition au phénomène de RGA en France



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



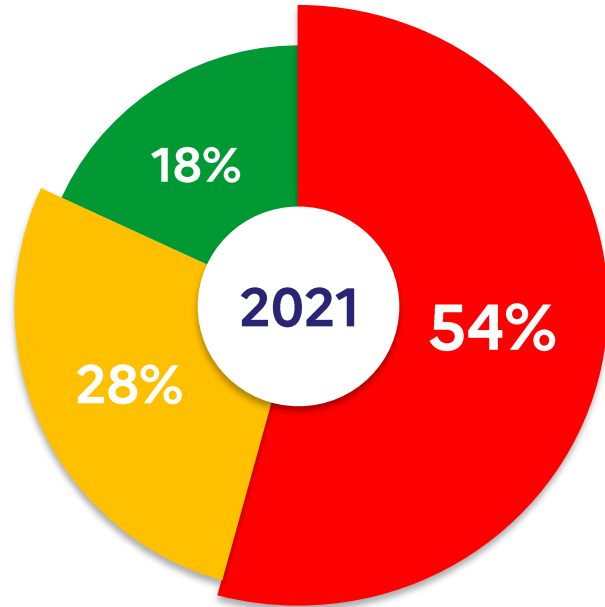
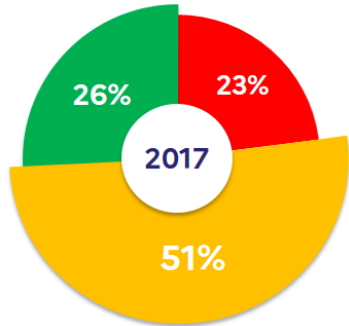
Cartographie de l'**exposition** du territoire au phénomène de retrait gonflement : **48%** du territoire est en zone d'exposition moyenne ou forte



## 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 %)



- Fort ou moyen
- Faible
- A priori non argileux

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

Pour en savoir plus

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

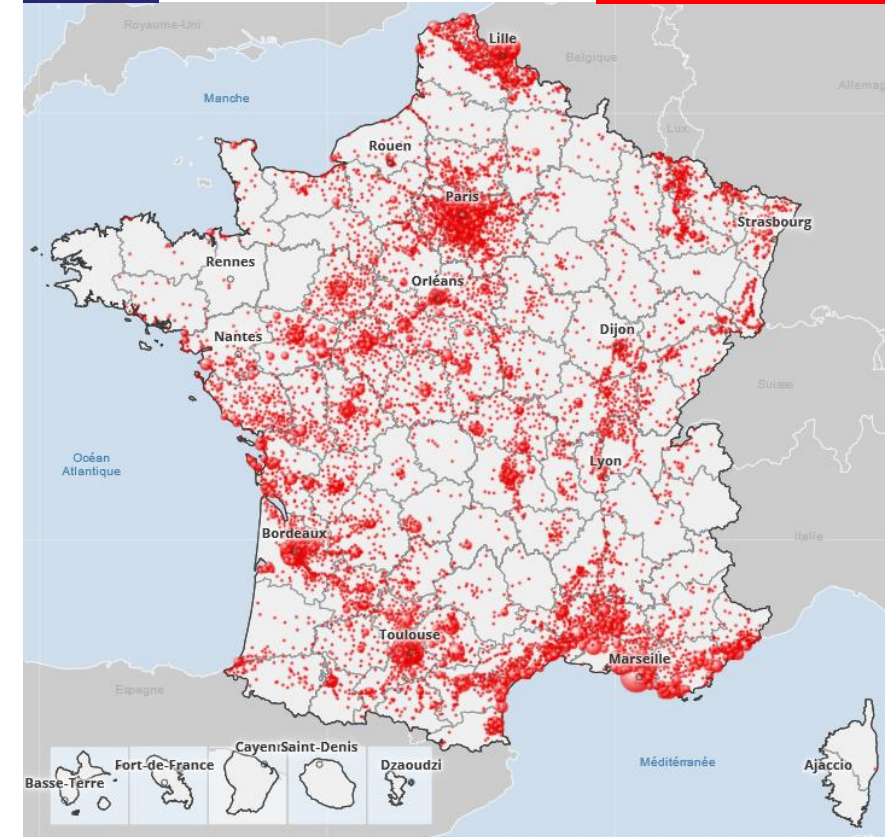
Pour en savoir plus

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**

2021

Total = 10 430 299



● = 109 030

© IGN – Insee 2021

Data source : SDES 2021

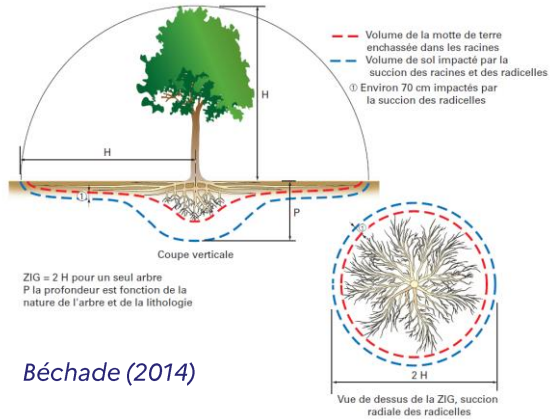


### 3. Impacts du RGA sur les maisons et effets de l'environnement proche

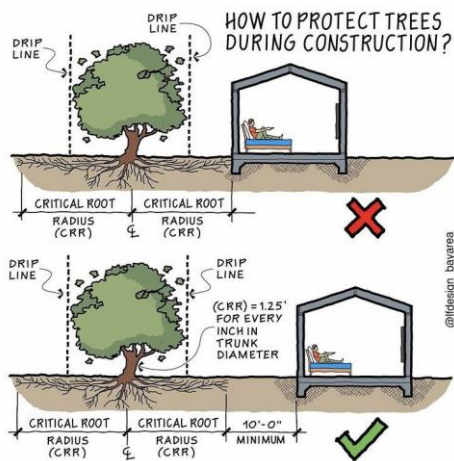
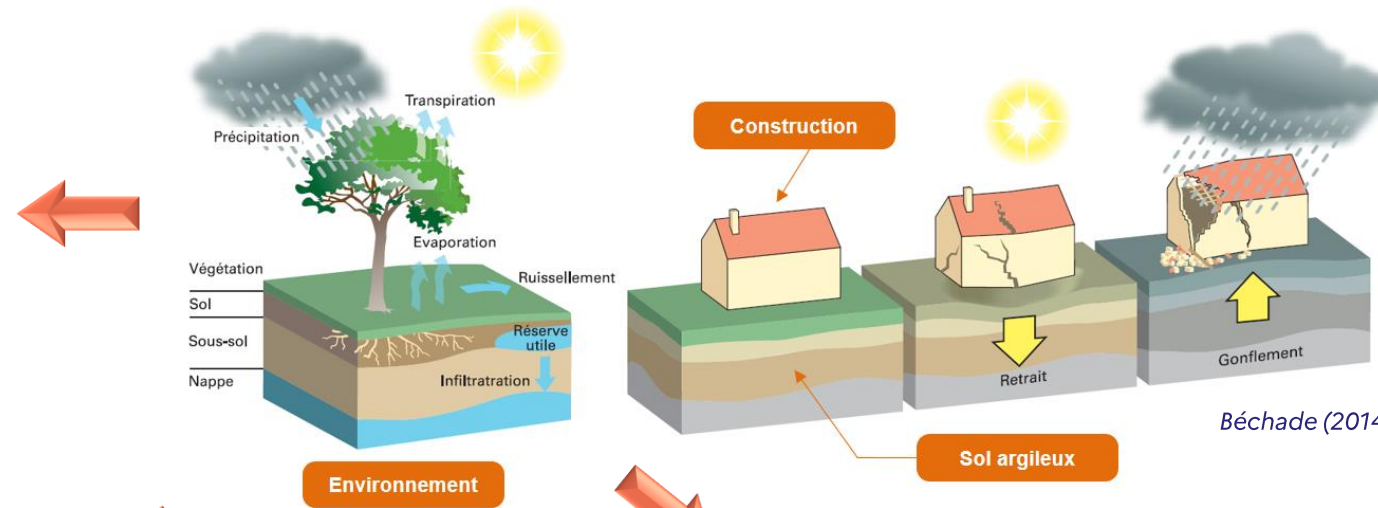
### 3. Impacts du RGA sur les maisons et effets de l'environnement proche

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

#### Influence de la végétation

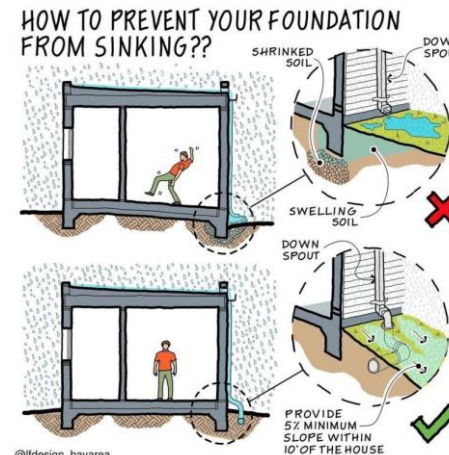


Béchade (2014)



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

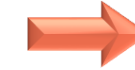
#### Présence de la végétation



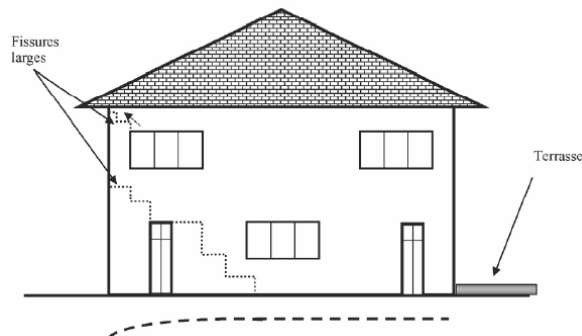
#### Défauts de construction



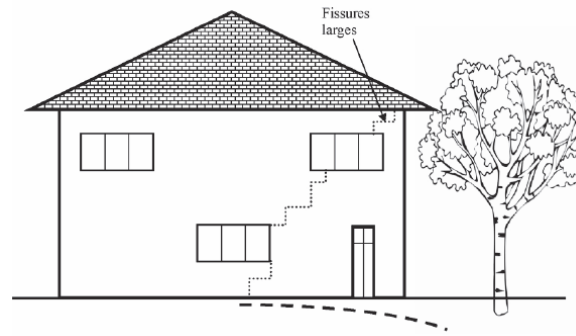
#### Mauvaise gestion des eaux de pluie



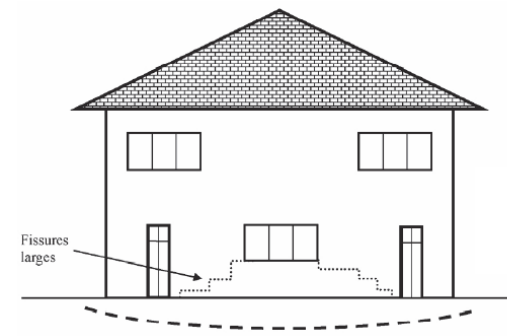
#### Mécanismes d'apparition des fissures



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)



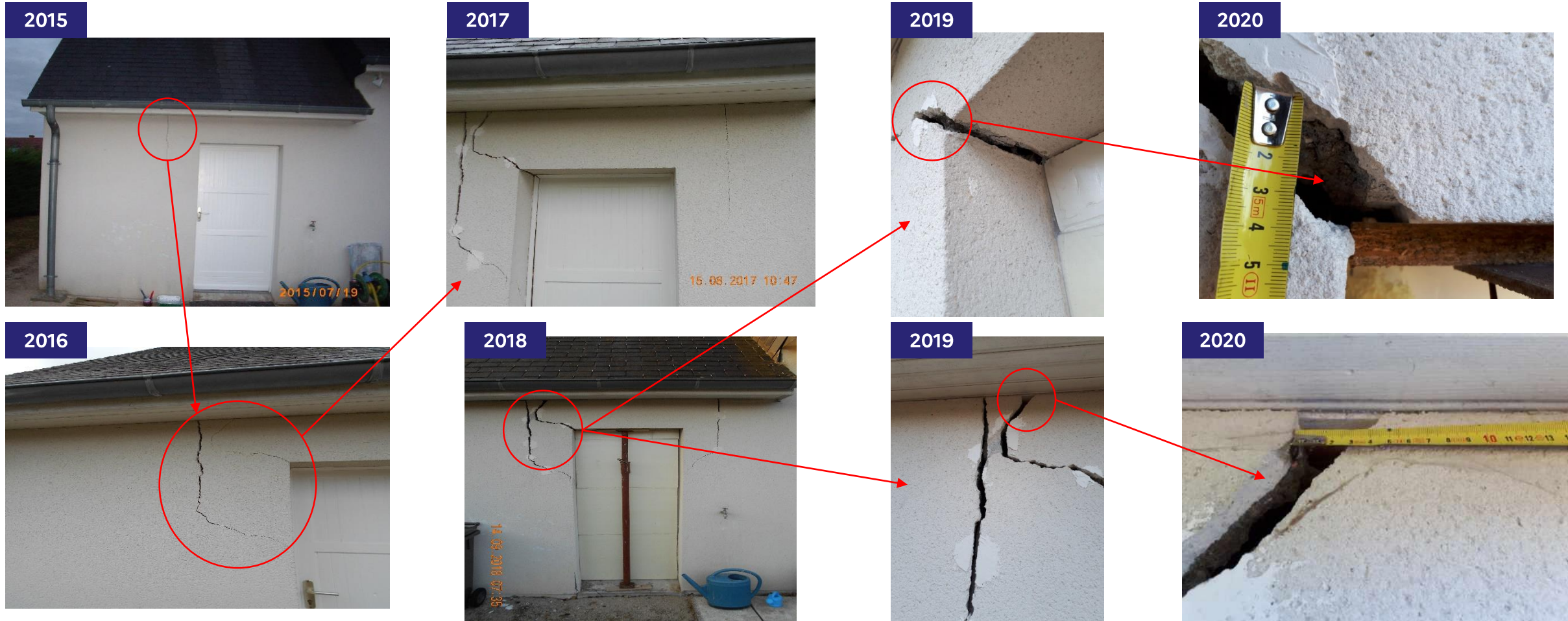
### 3. Impacts du RGA sur les maisons et effets de l'environnement proche

- 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)

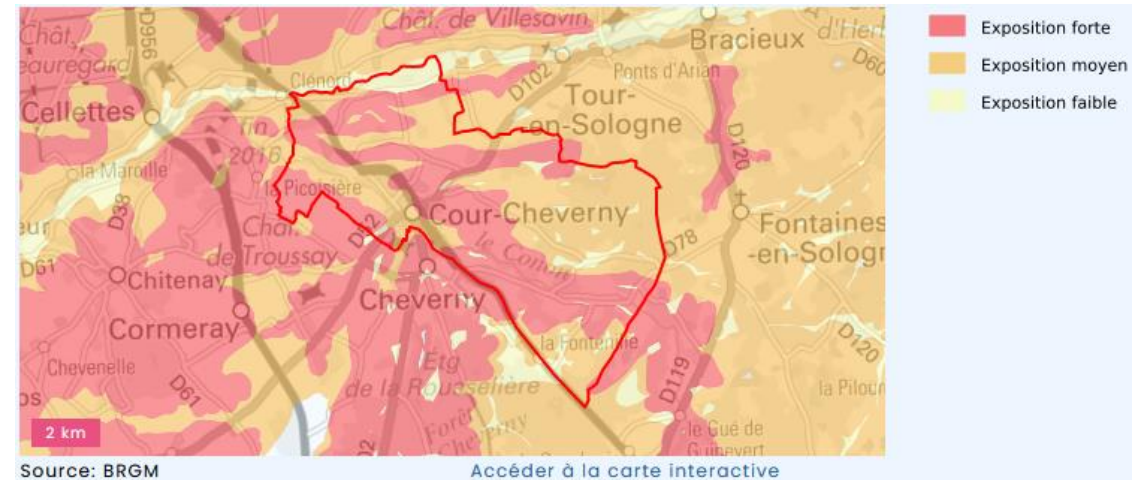
- Mieux connaître les risques près de chez soi : Géorisques



 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



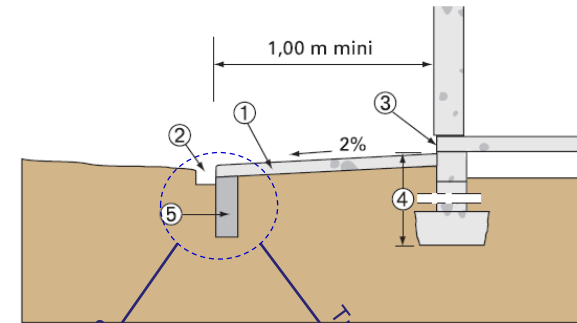
## 4. Solutions classiques existantes (techniques courantes)

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

### Trottoir et drainage périphériques

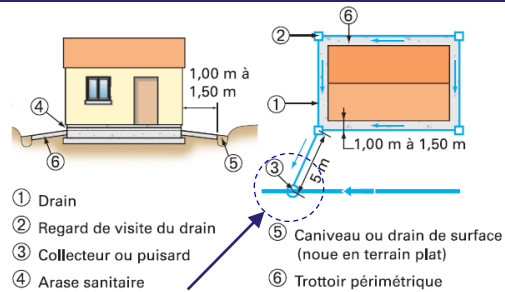


### Trottoir périphérique en béton avec caniveau



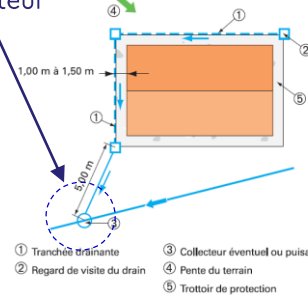
- Trottoir en béton armé sur polyane
- Caniveau ou drain superficiel éventuel
- Arase sanitaire et coupure capillaire
- Ancrage inférieur à l'ancrage forfaitaire RGA
- Bèche éventuelle

### Collecteur commun des eaux de drainage

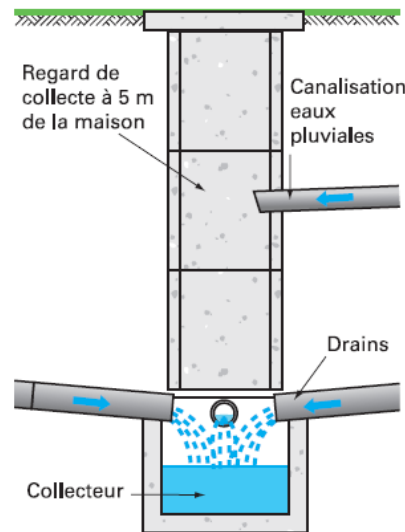


- Drain
- Regard de visite du drain
- Collecteur ou puisard
- Arase sanitaire
- Caniveau ou drain de surface (noe en terrain plat)
- Trottoir périmétrique

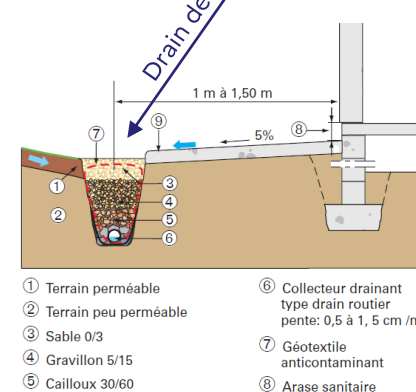
#### Collecteur



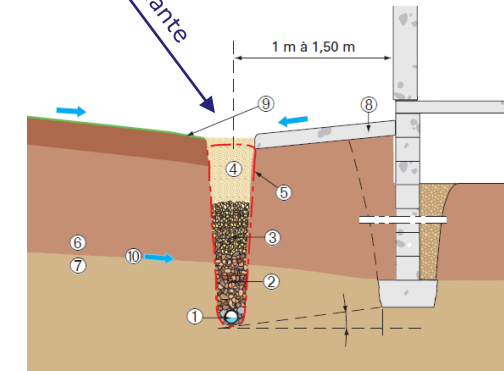
- Tranchée drainante
- Regard de visite du drain
- Collecteur éventuel ou puisard
- Pente du terrain
- Trottoir de protection



- Regard de collecte à 5 m de la maison
- Canalisation eaux pluviales
- Drains
- Collecteur



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



- Collecteur drainant type drain routier. Pente min 0,5 cm / m
- Cailloux 30/60
- Graviers 5/15
- Sable 0/3
- Géotextile
- Terrain perméable
- Terrain imperméable
- Trottoir éventuel sur polyane (DTU 13.3)
- Forme de noe pour collecte des eaux superficielles
- Circulations d'eaux

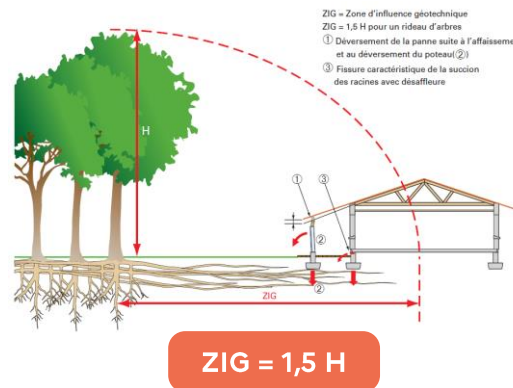
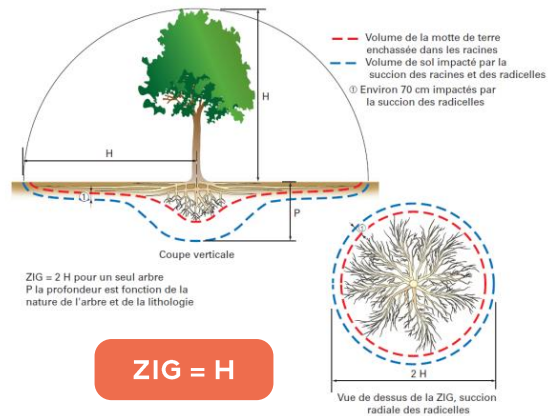
Béchade (2014)



## 4. Solutions classiques existantes (techniques courantes)

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

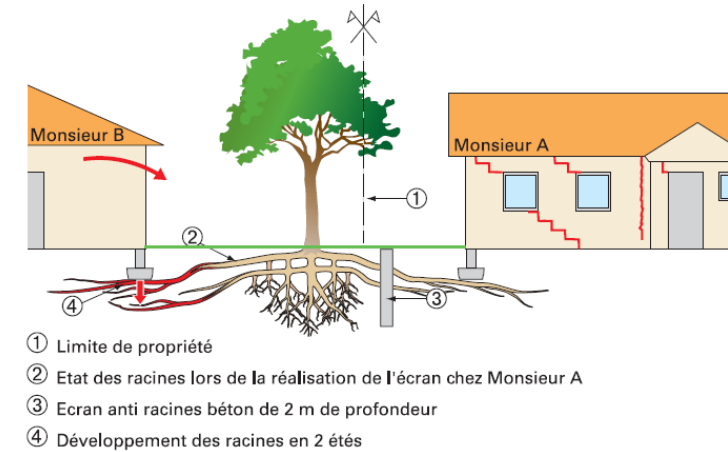
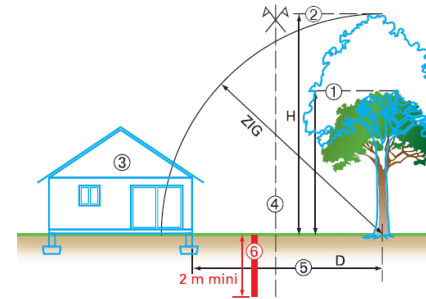
### Zone d'influence géotechnique (ZIG) des arbres



Béchade (2014)



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



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)

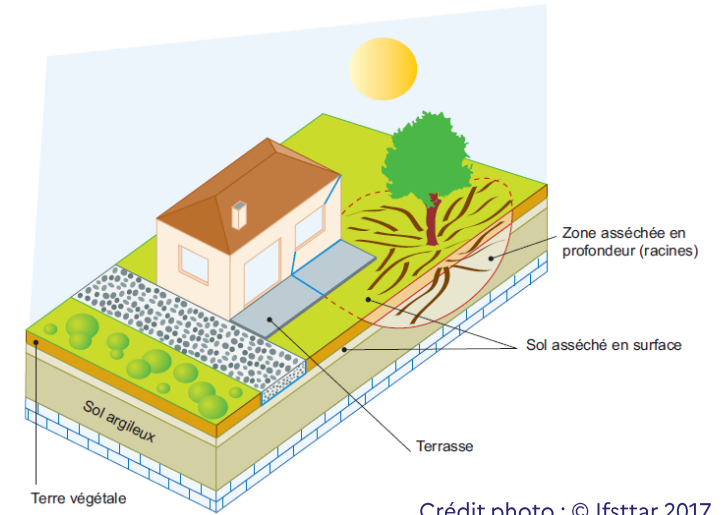


Crédit photo : © KONRAD K./SIPA

Sécheresse &  
RGA



Fissuration et  
désordres

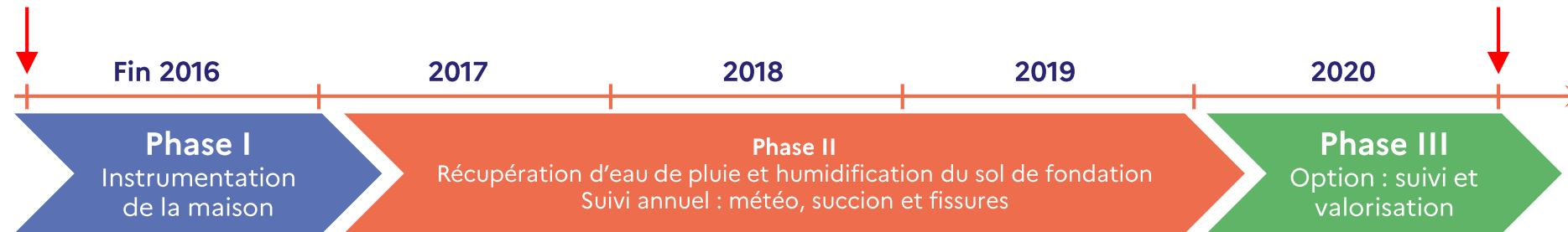


Crédit photo : © Ifsttar 2017

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

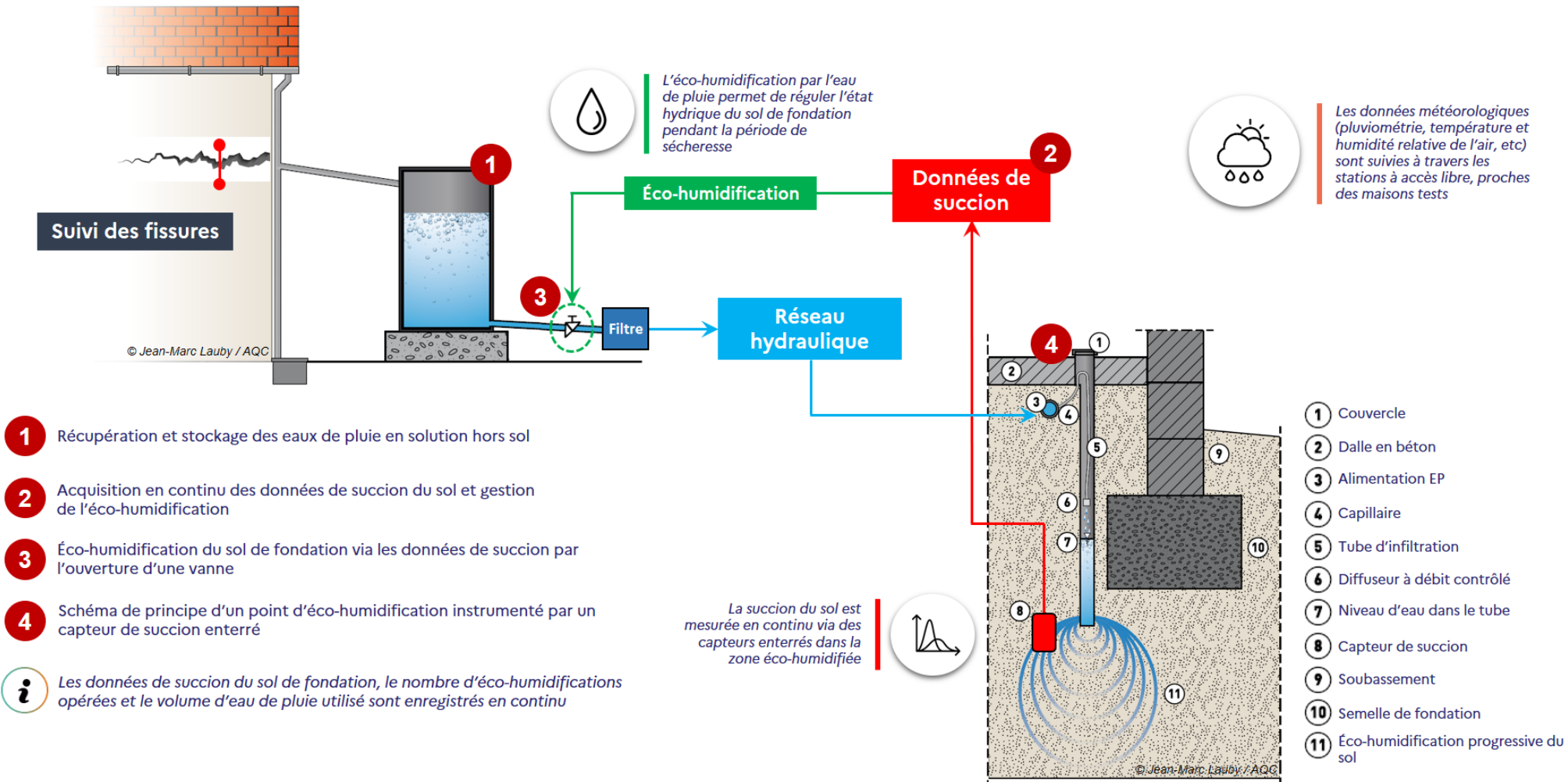
Signature de la convention  
08/11/2016

Fin de la convention  
07/11/2020



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

- Schéma de principe du procédé MACH



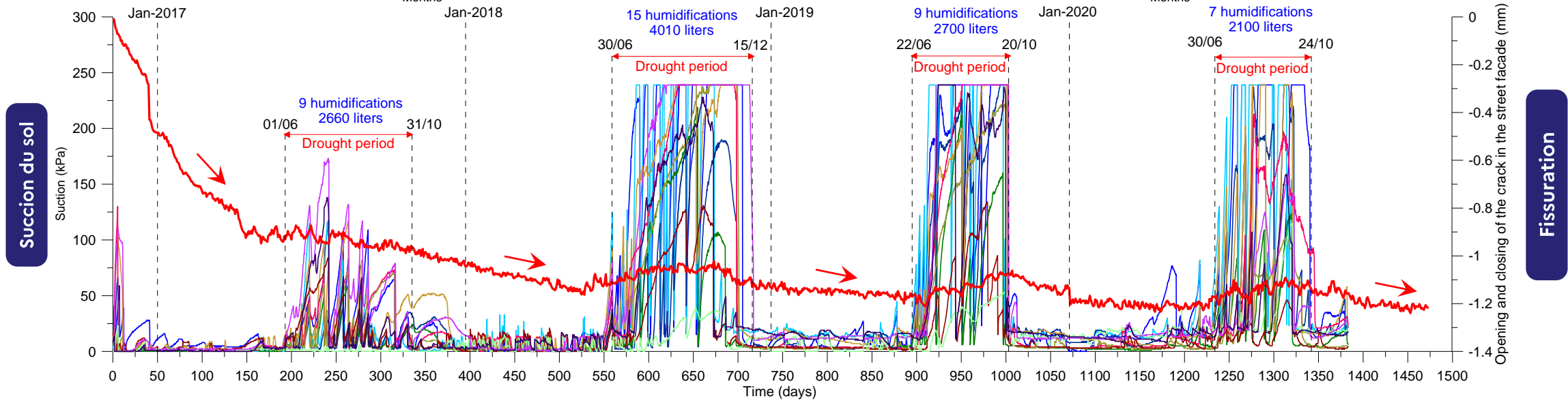
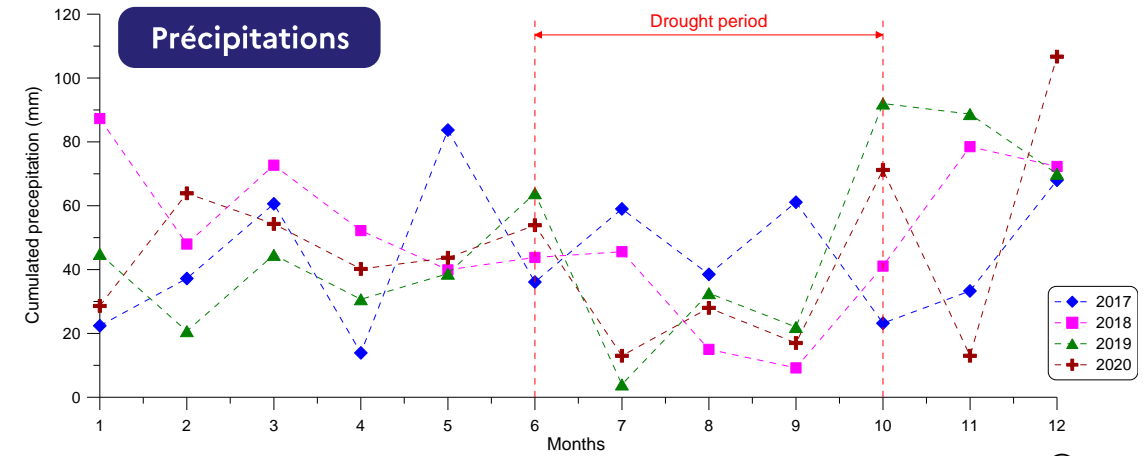
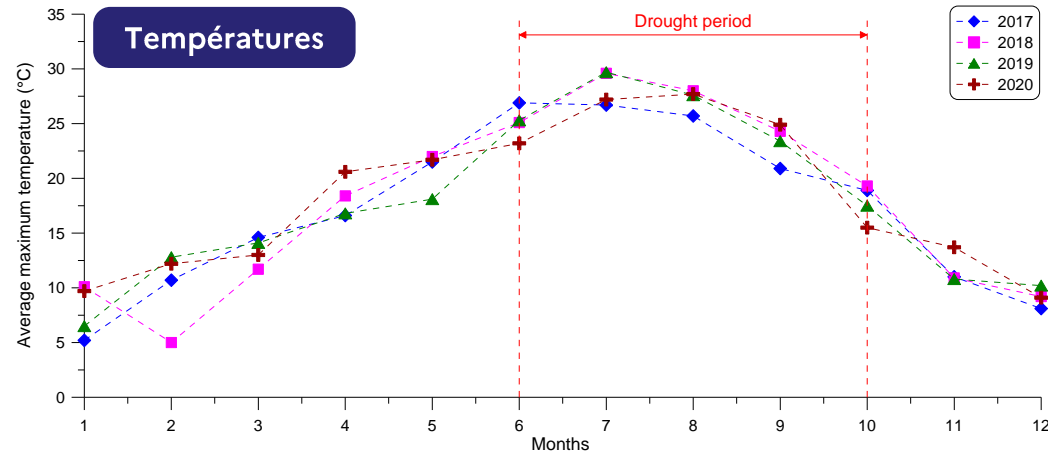
**Pour en savoir plus**



**Pour en savoir plus**

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

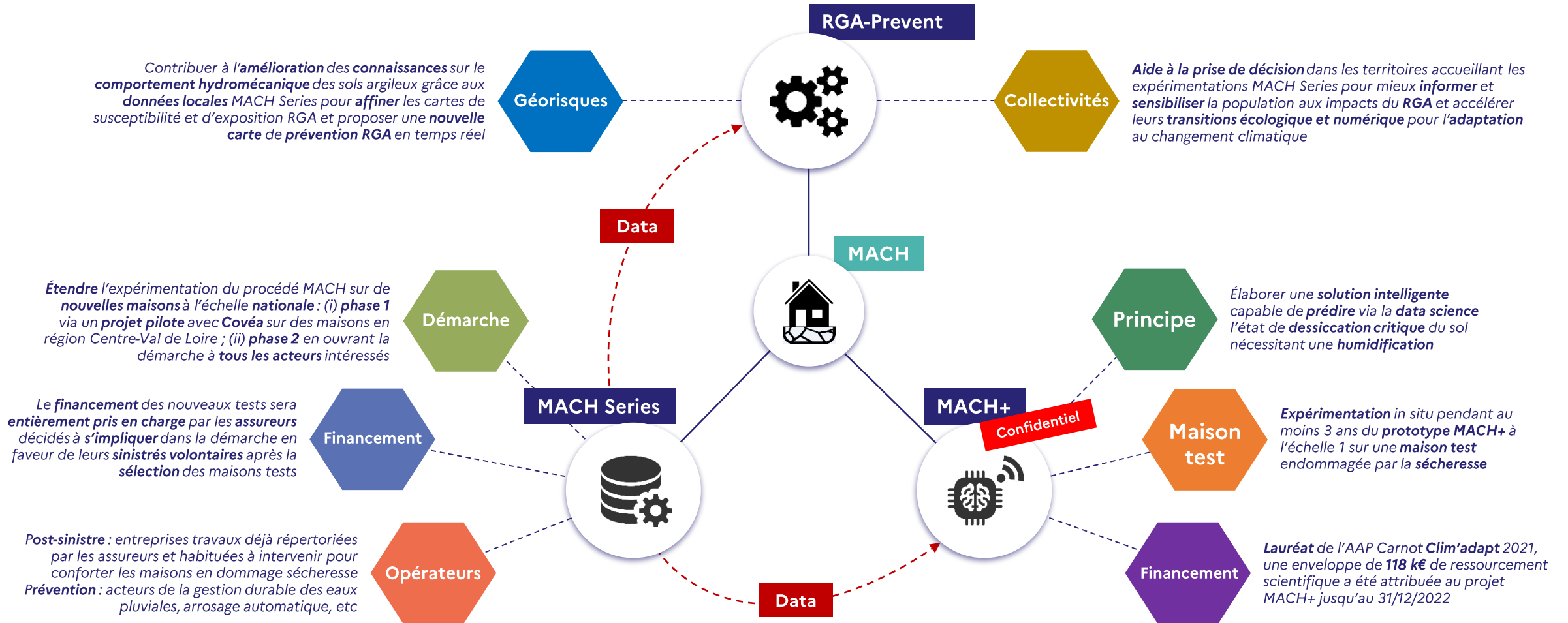
- Synthèse des résultats obtenus grâce au procédé MACH (2017 – 2020)





## 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

- 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

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

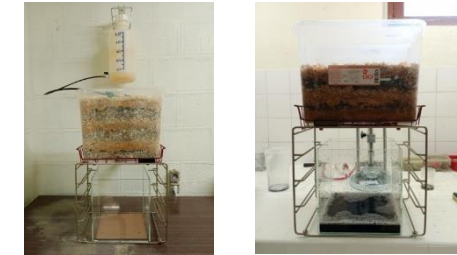
### Stabilisation physico-chimique du sol argileux par ajout de sable et de sel

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



### 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)



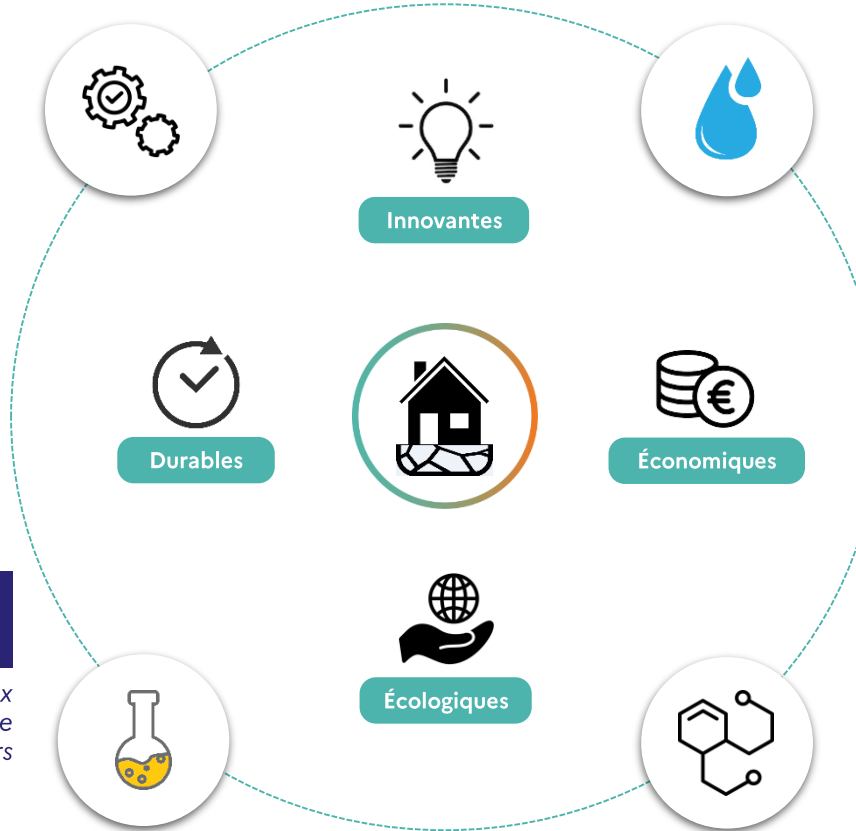
### Limiter l'évaporation du sol argileux par ajout d'huile végétale recyclée

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



### 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



Innovantes

Durables

Économiques

Écologiques

## 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

Cour des comptes

**SOLS ARGILEUX ET CATASTROPHES NATURELLES**

Des dommages en forte progression, un régime de prévention et d'indemnisation inadapté

Communication au Comité d'évaluation et de contrôle des politiques publiques de l'Assemblée nationale

Février 2022

**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](#)

LIVRE BLANC COVÉA

Changement climatique & Assurance : Quelles conséquences sur la sinistralité à horizon 2050 ? JANVIER 2022

co véa Risk Weather Tech

1989-2019 13,8 Mds €

2020-2050 43 Mds €

La projection aboutit à un **COÛT CUMULÉ** de 43 milliards d'euros ce qui reviendrait, à l'horizon 2050, à un peu plus que **TRIPLER LA CHARGE MOYENNE ANNUELLE** constatée au cours des 31 dernières années.

**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 Bouches-du-Rhône, le Tarn-et-Garonne et le Tarn (8%).

L'étude conduit à une **TENDANCE HAUSSIÈRE FORTE** du périclé 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 Mds €**, cet effet représentera **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 Mds€ initialement imputables au changement climatique entre 2014-2039 à **17,2 Mds€** entre **2020-2050**

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

AVIS CONSEIL ÉCONOMIQUE SOCIAL ET ENVIRONNEMENTAL

**Climat, cyber, pandémie : le modèle assurantiel français mis au défi des risques systémiques**

Avril 2022

Le Conseil Économique Social et Environnemental

**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](#)

MISSION RISQUES NATURELS

**RÉFÉRENTIELS DE RÉSILIENCE DU BÂTI AUX ALÉAS NATURELS**

ANNEXES Les référentiels normalisés de résilience par le CT Natursécurité

RÉPERTOIRE DE LA MISSION RISQUES NATURELS ÉDITION JANVIER 2022

CEA CFEC ARANCE ASSUREURS

**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](#)

CONSTRUCTION

**Construire en terrain argileux**

La réglementation et les bonnes pratiques

Novembre 2021



**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



SAVE The DATE

LUNDI

10  
octobre  
2022



## JOURNÉE D'INFORMATION ET DE SENSIBILISATION

### Maisons exposées à la sécheresse et au phénomène de RGA : *impacts, sensibilisation, recherche et innovation pour leur adaptation face au changement climatique*

Blois | Salle Champion

En France métropolitaine, plus de 10,4 millions de maisons individuelles sont potentiellement très exposées au phénomène de retrait-gonflement des sols argileux (RGA), dont près de la moitié bâtie après 1976. Selon le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), le nouveau zonage national montre que l'exposition forte ou moyenne au RGA concerne désormais 48% des sols métropolitains. Ainsi, trois-quarts des communes ont plus de 50% de maisons exposées selon les derniers chiffres de la Mission Risques Naturels (MRN).

Dans ce contexte, le Cerema, Institut Carnot Clim'adapt, organise le lundi 10 octobre 2022 à Blois une journée d'information et de sensibilisation sur les maisons exposées au RGA et fissurées par la sécheresse pour évoquer avec l'ensemble des acteurs socio-économiques concernés les divers impacts, la sensibilisation au sens large et les travaux de recherche et d'innovation en cours pour la réduction des vulnérabilités et l'adaptation du bâti au changement climatique.

Cette journée de mobilisation s'inscrit dans le cadre de l'appel à projets pour la journée nationale « Tous résilients face aux risques » du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires.

**Contact :** Lamine IGHIL AMEUR | [lamine.ighil-ameur@cerema.fr](mailto:lamine.ighil-ameur@cerema.fr)

Les inscriptions en lignes pour participer à cette journée sont ouvertes : [cliquer ici](#)



[www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)



@CeremaCom



@cerema

## Contact

Lamine **IGHIL AMEUR**



Docteur en Mécanique des Sols



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