



Risque sécheresse : retrait et gonflement des sols argileux

Club Risque





Nature du phénomène

Mouvements de terrain différentiels provoqués par des variations de volume de certains minéraux de la phase argileuse, soumis à des variations de teneur en eau

- > Concerne uniquement des sols dits argileux, avec une ampleur particulière en présence de minéraux gonflants (smectites, certains interstratifiés)
- > En climat tempéré, phénomène consécutif surtout aux périodes de sécheresse (lié à l'évapotranspiration)
- > Se manifeste surtout sur des constructions individuelles légères, fondées sur semelles continues et ancrées peu profondément (tranche superficielle du sol)

Nature du phénomène

>Facteurs de prédisposition

- Ils déterminent la susceptibilité, la répartition spatiale du phénomène. Leur présence est indispensable mais pas suffisante pour déterminer l'apparition du phénomène
- essentiellement la nature du sol :
 - lithologie
 - géométrie (épaisseur, continuité, etc.)
 - minéralogie

Nature du phénomène

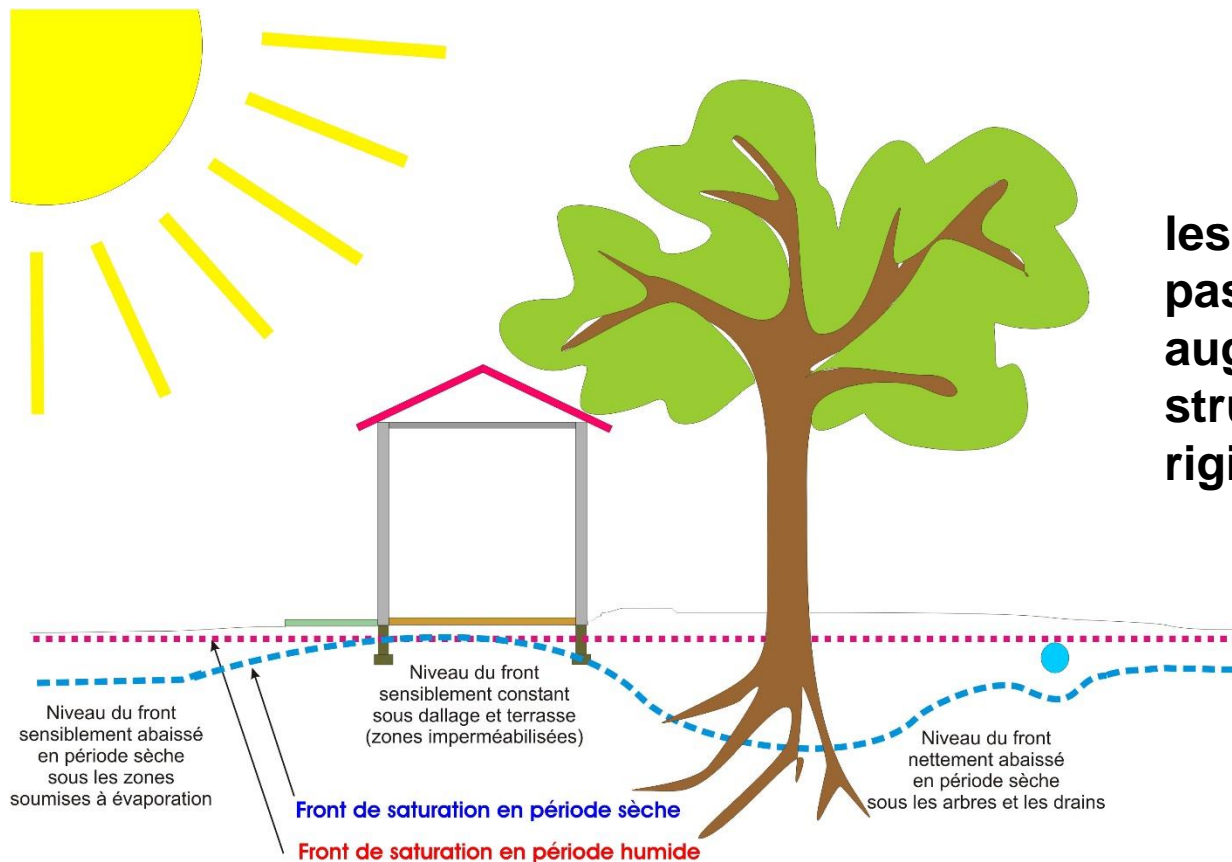
➤ Facteurs déclenchant et/ou aggravant

- Ils déterminent l'aléa, c'est à dire l'occurrence du phénomène

- Végétation
- Hydrogéologie
- Topographie (pente, exposition)
- Défaut de fondation
- Facteurs climatiques
 - précipitations,
 - évapotranspiration
 - réserve utile du sol
- Actions anthropiques :
 - modification des écoulements
 - imperméabilisation des sols
 - drainage ou fuite de réseaux
 - pompages
 - sources de chaleur enterrées
 - plantations d'arbres

Mécanisme du retrait-gonflement

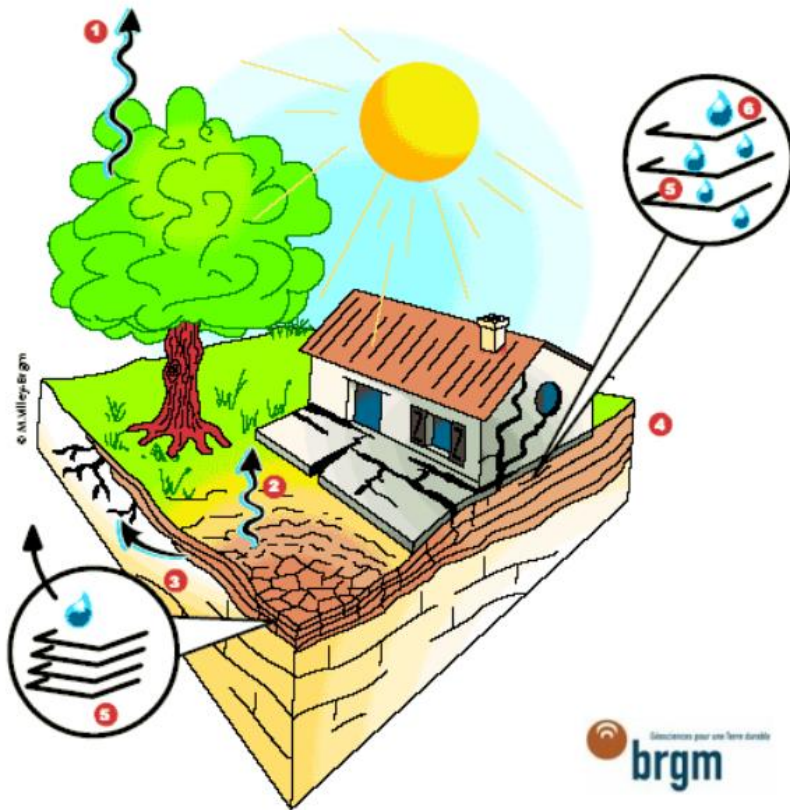
Sous une maison, l'évaporation ne peut se produire qu'en périphérie. Il apparaît un gradient entre le centre du bâtiment (équilibre hydrique) et les façades, et par suite des mouvements différentiels.



les effets ne s'atténuent pas avec le temps mais augmentent quand la structure perd de sa rigidité.

Rôle de la végétation

- Les racines d'arbres soutirent l'eau du sol
- Les racines peuvent s'étendre jusqu'à 1 à 1,5 fois la hauteur de l'arbre, en direction préférentielle des zones plus humides (sous les bâtiments)
- En période climatique normale, l'influence des arbres se fait jusque vers 3 m de profondeur. En période sèche, elle peut descendre à 4 ou 5 m.
- En période estivale, un saule consomme jusqu'à 300 l d'eau par jour...

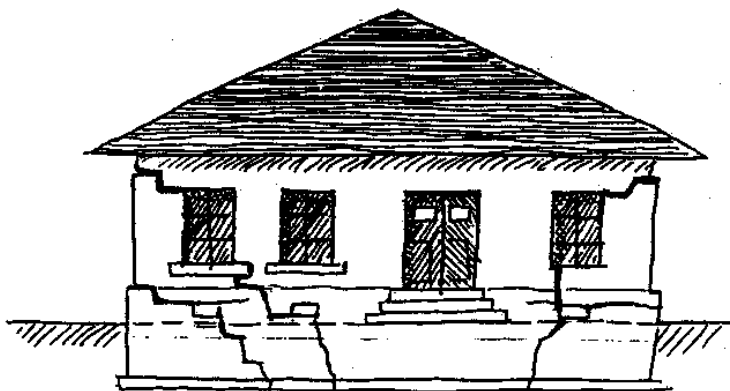


Légende du dessin :

- (1) Evapotranspiration
- (2) Evaporation
- (3) Absorption par les racines
- (4) Couches argileuses
- (5) Feuillets argileux
- (6) Eau interstitielle

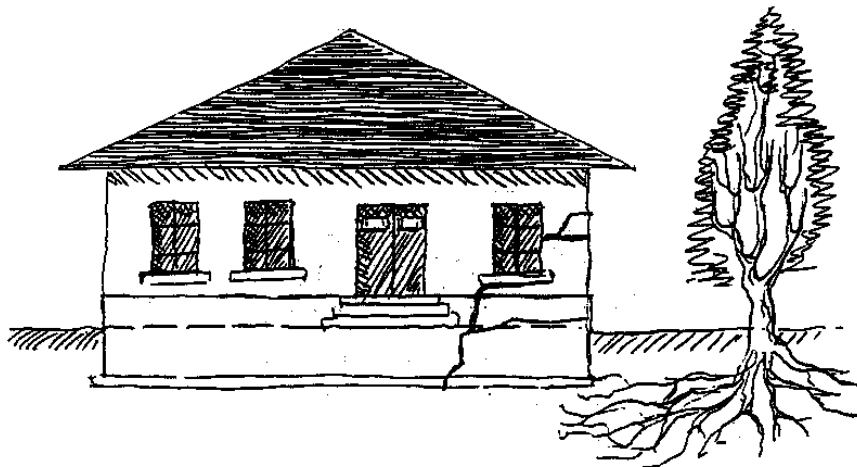
Manifestation des désordres

> Concerne surtout les maisons individuelles



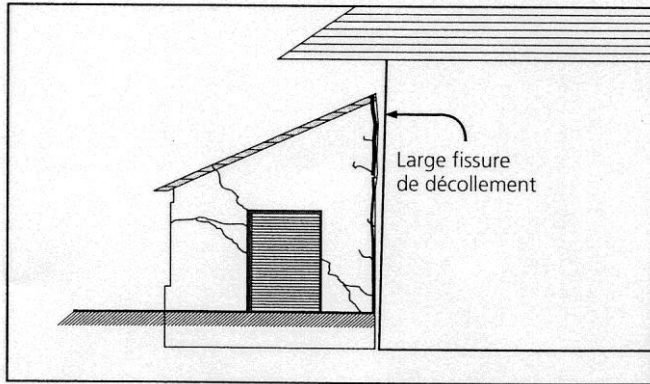
- constructions légères de plain-pied
- dallage sur terre-plein
- fondations continues peu profondes (< 80 cm)
- arbres à proximité

> Désordres observés

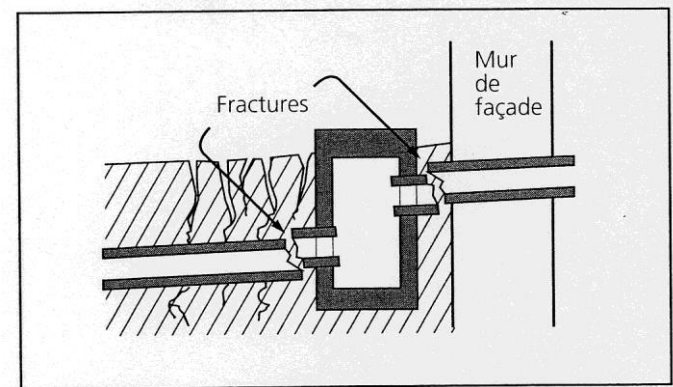


- fissuration des structures
- distorsion des ouvertures
- rupture de canalisations
- décollement des bâtiments annexes
- etc...

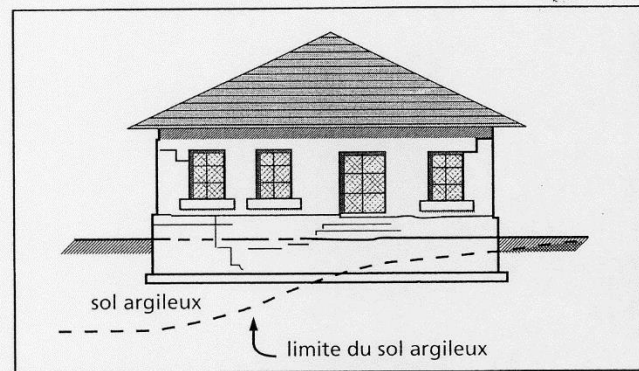
Manifestation des désordres



Décollement bâtiment annexe



Rupture de canalisation



> Fissuration souvent asymétrique

- hétérogénéité des sols de fondation,
- présence de sous-sol partiel,
- présence de dallage périphérique partiel (un seul côté de la maison),
- fuite localisée de réseaux,
- végétation arborée localisée, etc...

Manifestation des désordres

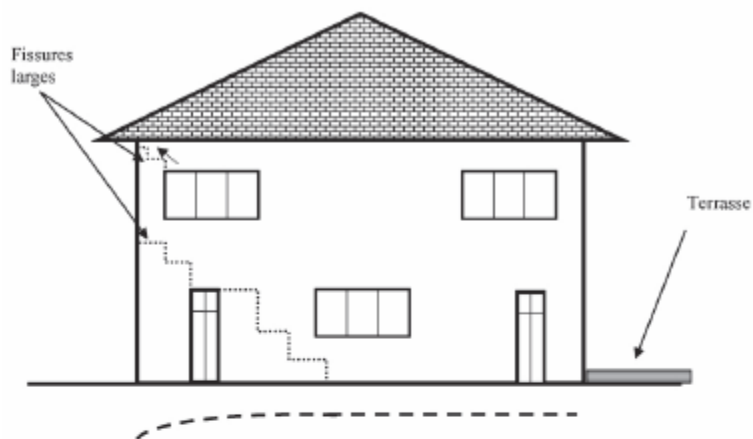


Figure 3
Mode de déformation provoqué par un retrait périphérique du sol sous la maison

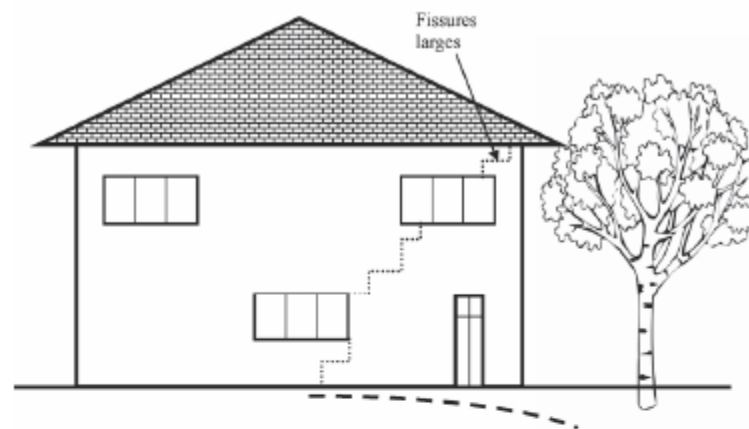


Figure 4
Mode de déformation provoqué par un retrait localisé du sol induit par la présence d'un arbre

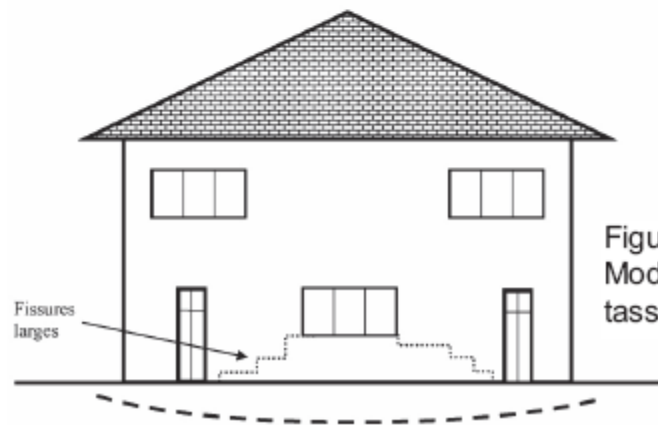


Figure 5
Mode de déformation provoqué par le tassement d'un mur de façade

Manifestation des désordres



Fissuration oblique dans l'angle d'une façade (maison sinistrée dans le Var)



Décollement du seuil suite à l'affaissement du dallage périphérique (maison sinistrée dans les Bouches-du-Rhône)

Manifestation des désordres



Figure 14
Défaut de gestion des eaux pluviales
(Source Socabat)



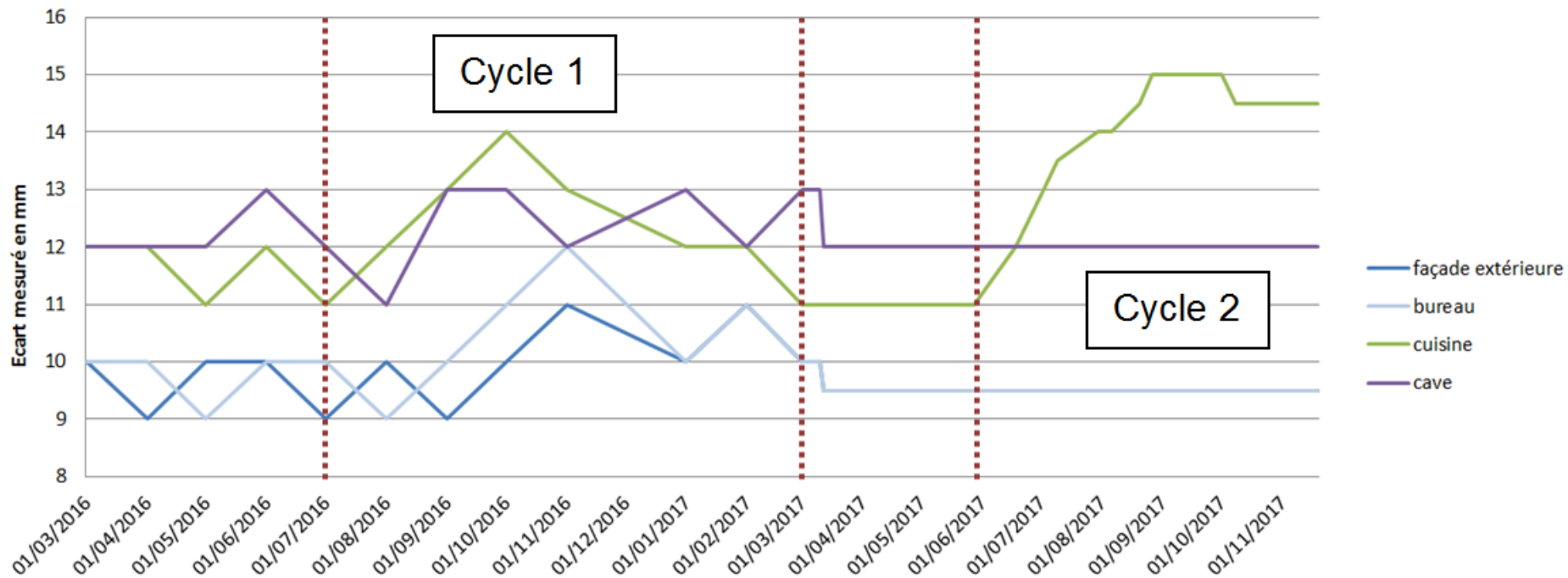
Figure 15
Fissures traitées provoquées par la présence
d'un arbre
(Source Socabat)

Comment diagnostiquer un sinistre lié au retrait-gonflement ?

Observations et données à recueillir

- Caractéristique géologique du site : nature du sol de fondation (sondages avec prélèvements)
- Identification des sols : V_b ou I_p , granulométrie, profils de teneur en eau
- Analyse du site (végétation, pente, exposition, eaux de ruissellement, canalisations enterrées, drains, etc.)
- Relevé et analyse des désordres (gros-œuvre et second-œuvre) - notamment orientation, densité, ouverture, évolution des fissures
- Essais in situ pour évaluation capacité portante du sol
- Analyse climatologique (déficit hydrique)

Suivi des déformations

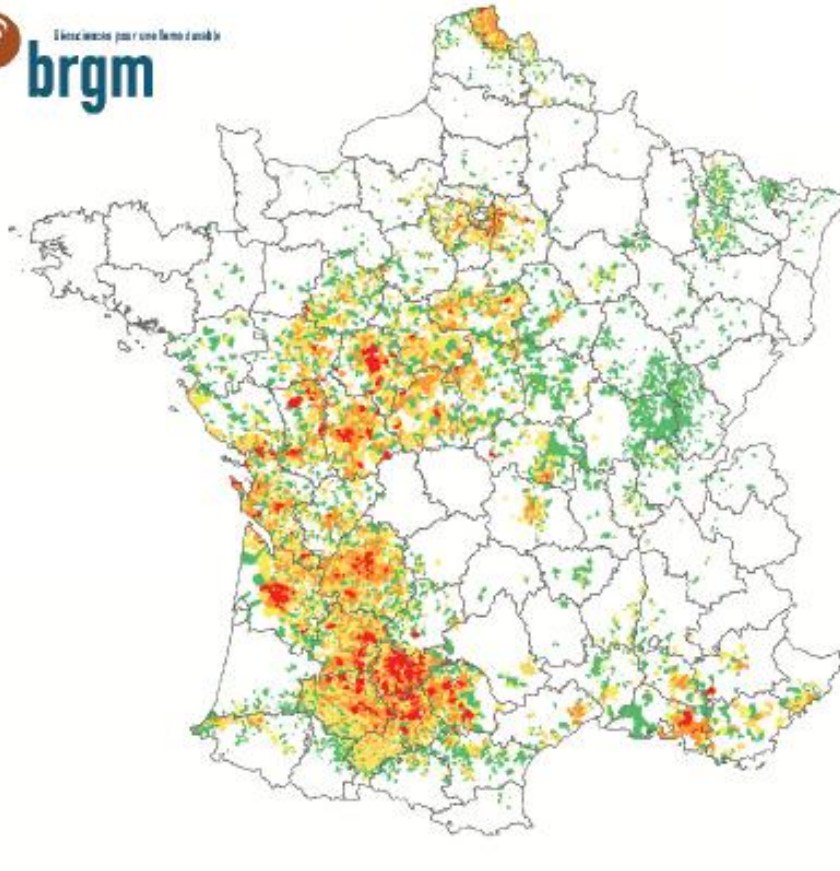


période d'ouverture et de fermeture

Il convient de procéder à une expertise technique pour déterminer si les fissures s'accompagnent d'une déformation excessive de la structure et compromettent la stabilité de l'habitation (effet de fatigue liée en particulier aux déformations cycliques).

Répartition géographique en France

Nombre d'arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle (2016)



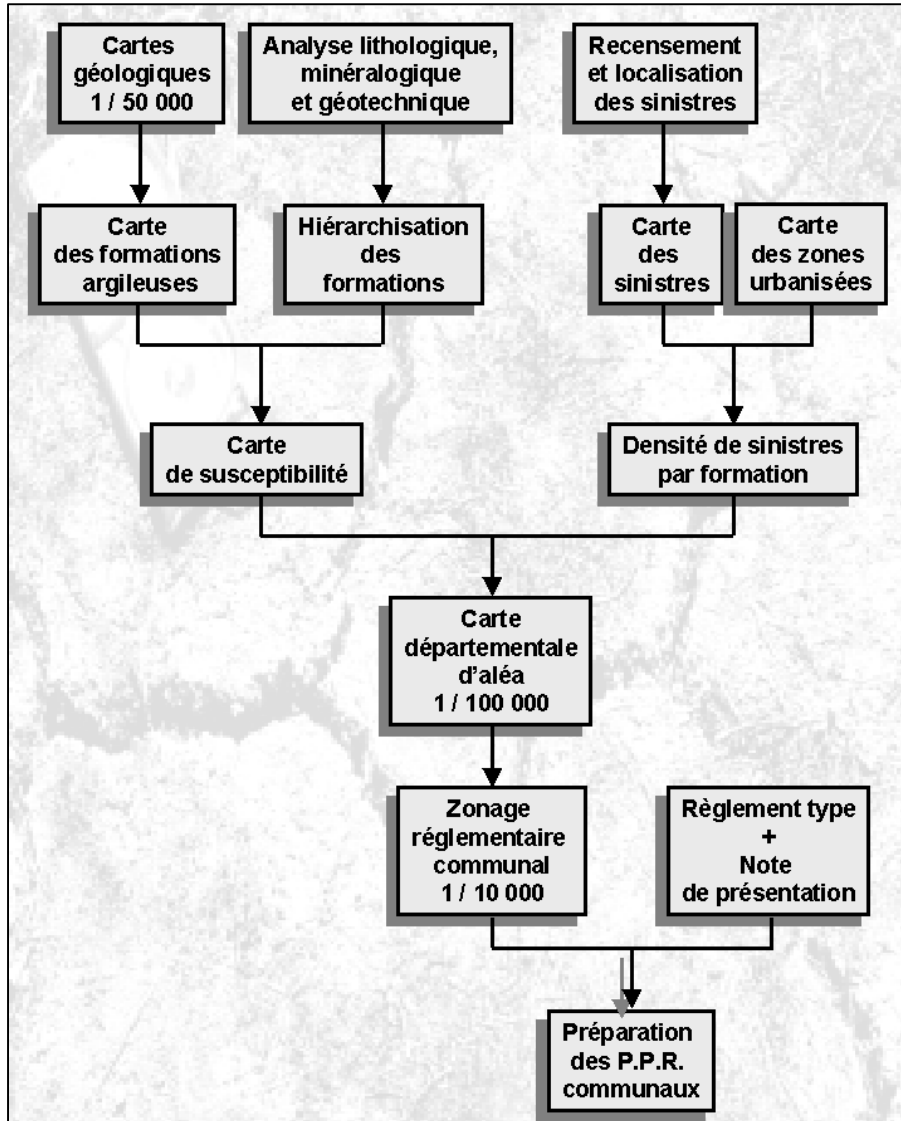
Mouvements de terrains différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols

Nombre d'arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pris par une commune à la date du 30 août 2016



- > Secteurs les plus touchés : sud-ouest, centre, ile de France et département du Nord
- > Bonne corrélation avec la carte géologique

Etude départementale d'aléa

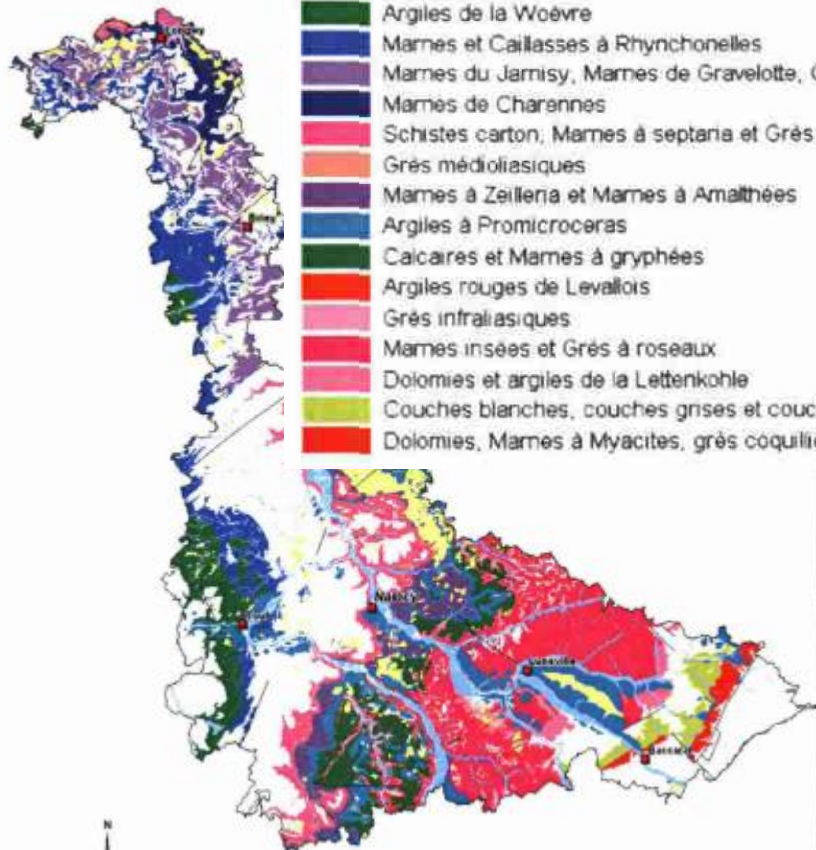


- 1- Identification et cartographie des formations argileuses du département
- 2- Caractérisation lithologique
- 3- Caractérisation minéralogique
- 4- Caractérisation géotechnique
- 5- Carte de susceptibilité
- 6- Recensement et localisation des sinistres
- 7- Carte d'aléa

Carte géologique départementale synthétique

Formations argilo-marneuses

- Aluvions récents
- Formations de versant et Grouines
- Aluvions anciens
- Limons des plateaux
- Argiles de la Woëvre
- Marnes et Caillasses à Rhynchonelles
- Marnes du Jarnisy, Marnes de Gravelotte, Calcaire de Vernéville
- Marnes de Chareennes
- Schistes carton; Marnes à septaria et Grès supraliasiques
- Grès médioliasiques
- Marnes à Zeilleria et Marnes à Amalthées
- Argiles à Promicroceras
- Calcaires et Marnes à gryphées
- Argiles rouges de Levallois
- Grès infraliasiques
- Marnes insées et Grès à roseaux
- Dolomies et argiles de la Lettenkohle
- Couches blanches, couches grises et couches rouges (Argiles de Pexonne)
- Dolomies, Marnes à Myacites, grès coquillier



- > Travail d'harmonisation entre coupures
- > Réinterprétation des formations superficielles
- > Actualisation de la connaissance
- > Regroupements de formations

Caractérisation lithologique et minéralogique

> Lithologie des formations

- Critère qualitatif
 - Proportion des termes argileux dans la formation
 - Epaisseur des bancs argileux
 - Continuité des bancs argileux (formation hétérogène : note minimale)
- Classement : note 1 à 4

Type de formation	Susceptibilité	Note lithologique
Formation non argileuse mais contenant localement des passées ou des poches argileuses (ex : alluvions avec lentilles argileuses, calcaire avec poches karstiques, ...)	faible	1
Formation présentant un terme argileux non prédominant de type calcaire argileux ou sable argileux	moyenne	2
Formation à dominante argileuse, présentant un terme ou une passée non argileuse (ex : alternance marno-calcaire ou sablo-argileuse) ou très mince (moins de 3 m)	forte	3
Formation essentiellement argileuse ou marneuse, d'épaisseur supérieure à 3 m et continue	très forte	4

Caractérisation lithologique et minéralogique

> Minéralogie de la phase argileuse

- Critère : % de minéraux gonflants (smectites + interstratifiés)
 - Détermination au laboratoire (critère ponctuel)
 - Données ponctuelles rapportée par formation
- Classement : note 1 à 4

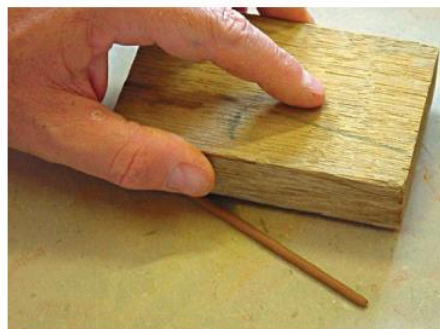
% moyen de minéraux gonflants	Susceptibilité	Note minéralogique
< 25 %	faible	1
25 à 50 %	moyenne	2
50 à 80 %	forte	3
> 80 %	très forte	4

Comportement géotechnique

> Indice de plasticité : I_p

- Met en évidence l'influence de la teneur en eau sur la consistance du matériau fin
- Correspond à la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité (= étendu du domaine plastique)
- Donne une indication sur l'aptitude du matériau argileux à acquérir de l'eau

Indice de plasticité	Susceptibilité	Note
$IP < 12$	faible	1
$12 \leq IP < 25$	moyenne	2
$25 \leq IP < 40$	forte	3
$IP \geq 40$	très forte	4



Essai de détermination de w_p
($w > w_p$ au moment de la photographie)



Essai de détermination de w_p
($w = w_p$ au moment de la photographie)

Figure 8
Détermination de la limite de plasticité (Source Cerema) **(guide IFSTTAR)**

Comportement géotechnique

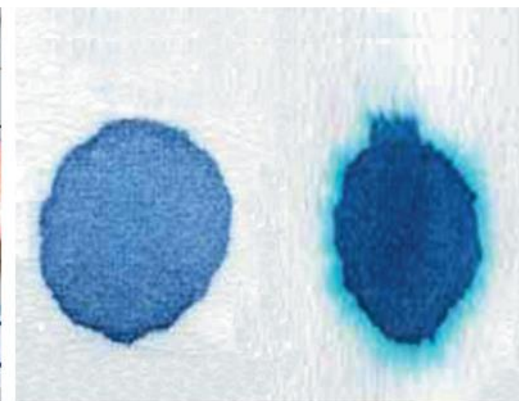
> Valeur de bleu de méthylène : V_b

- Traduit la capacité d'adsorption du sol
- Mesure la quantité du colorant nécessaire pour recouvrir la surface de toutes les particules argileuses

Valeur de bleu	Susceptibilité	Note
< 2,5	faible	1
2,5 à 6	moyenne	2
6 à 8	forte	3
> 8	très forte	4



Prélèvement d'une goutte de solution



Visualisation d'une tache de bleu sur papier filtre, (test positif à droite)

**Détermination de la valeur en bleu d'un sol
(source CEREMA issu de IFSTTAR)**

Comportement géotechnique

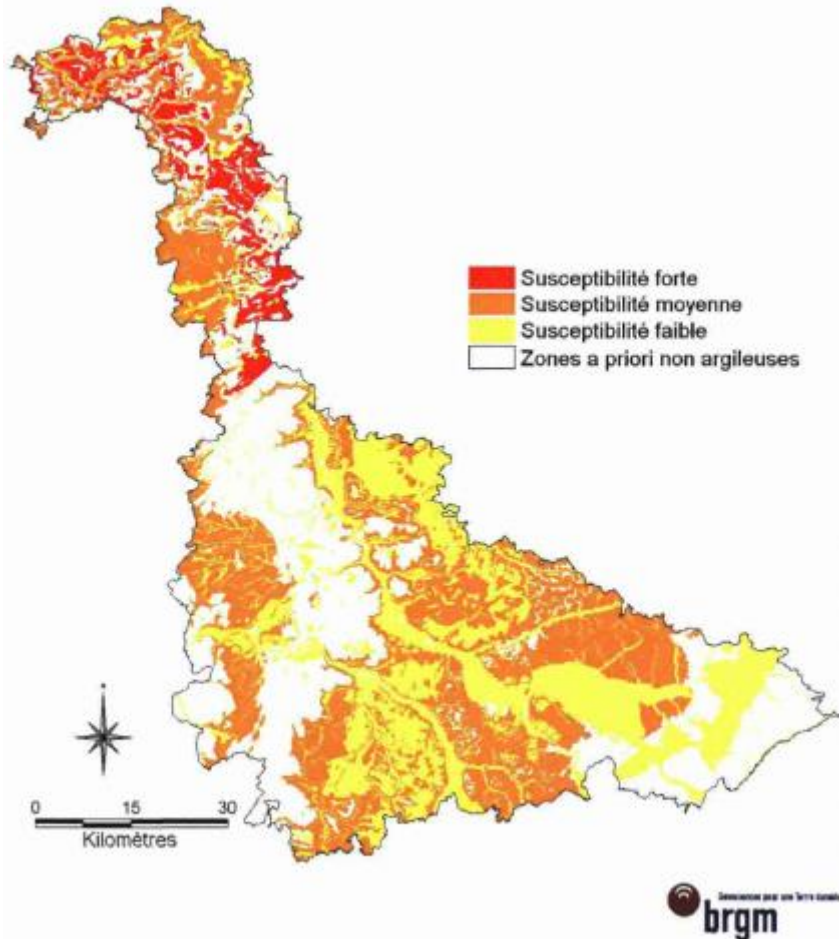
> Retrait linéaire : RI

- Indicateur de l'importance du retrait volumique possible d'un sol lors de son assèchement
- La limite de retrait correspond à la teneur en eau en dessous de laquelle le sol ne diminue plus de volume pour une perte d'eau

Retrait linéaire	Susceptibilité	Note
$RI < 0,4$	faible	1
$0,4 \leq RI < 0,65$	moyenne	2
$0,65 \leq RI < 0,75$	forte	3
$RI \geq 0,75$	très forte	4

Carte de susceptibilité

Hiérarchisation des formations basée sur la prise en compte de 3 caractéristiques quantifiables

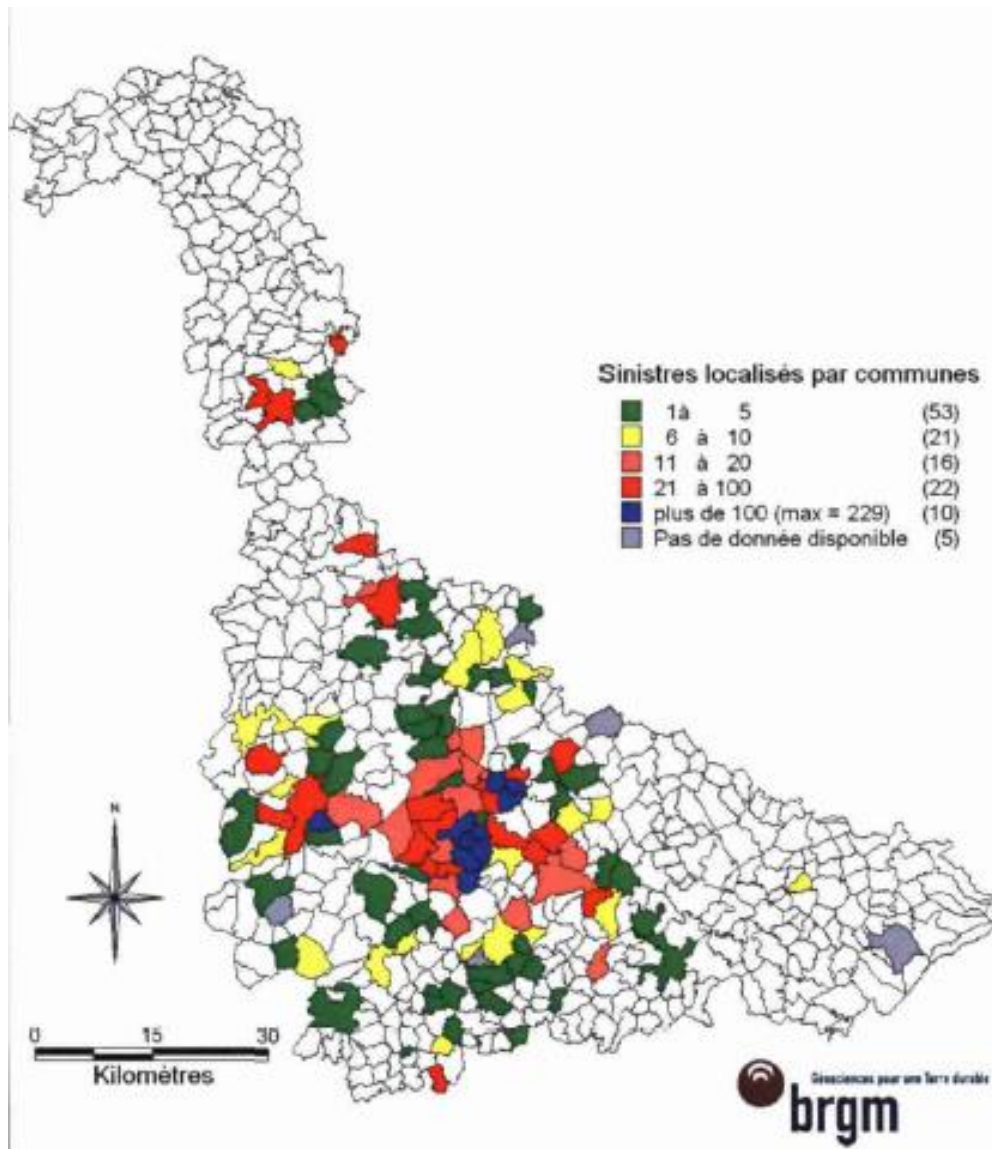


- > **Lithologie** : note **L** de 1 à 4
- > **Minéralogie** : note **M** de 1 à 4
- > **Géotechnique** : note **G** de 1 à 4

Indice de susceptibilité :
 $(L + M + G) / 3$

Carte de susceptibilité établie sur la base de cet indice avec 3 classes (faible, moyenne, forte)

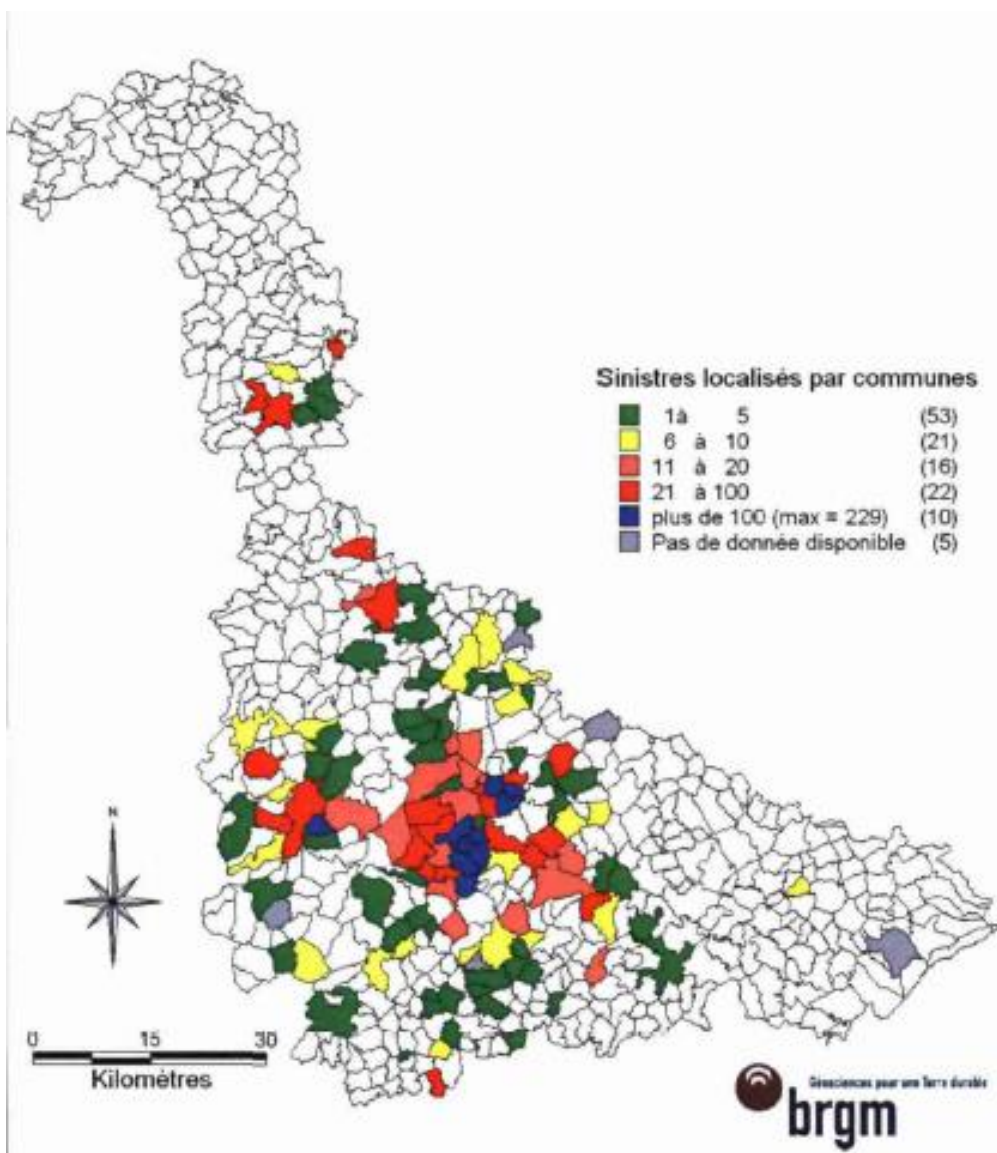
Recensement et localisation des sinistres



Source des données :

- Communes
- Dossiers cat nat
- Associations de sinistrés
- Mutuelles d'assurance
- Bureaux d'études

Recensement et localisation des sinistres



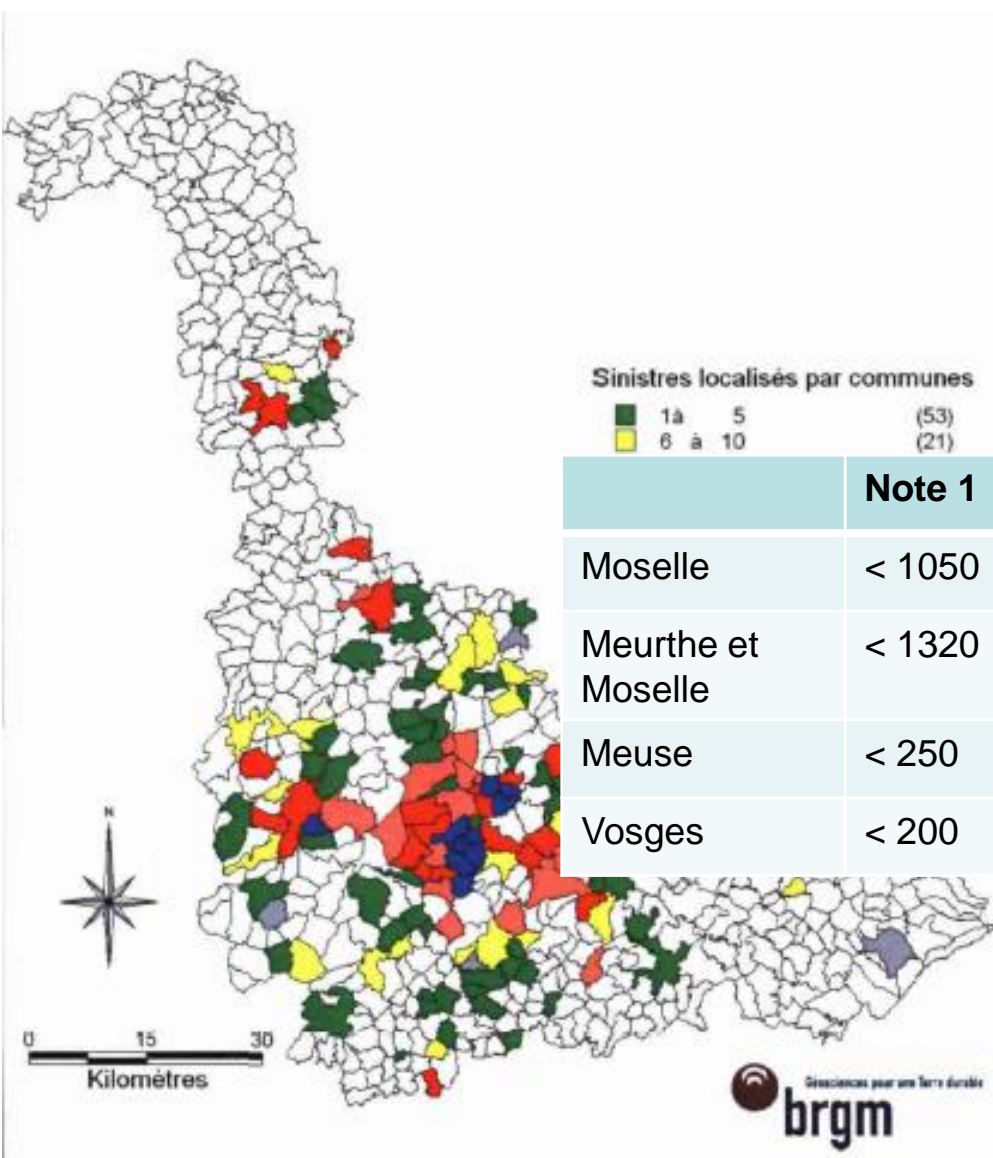
Densité de sinistre pris en compte dépend du département :

Note 1 : formation ayant une densité inf. à la moyenne des zones argileuses

Note 2 : formation ayant une densité sup. à la moyenne des zones argileuses et inf. à deux fois cette moyenne

Note 3 : formation ayant une densité sup. à deux fois la moyenne

Recensement et localisation des sinistres



Densité de sinistre pris en compte dépend du département :

Exemple (nombre sinistre pour 100 km² de surface urbanisée) :

	Note 1	Note 2	Note 3
Moselle	< 1050	1050 à 2100	> 2100
Meurthe et Moselle	< 1320	1320 à 2640	> 2640
Meuse	< 250	250 à 500	> 500
Vosges	< 200	200 à 1000	> 1000

Détermination de l'aléa

- > Cartographie issue des formations géologiques :
 - Permet de calculer des densités de sinistres par formation, pondérées en tenant compte de la surface urbanisée
 - Permet d'approcher la probabilité d'occurrence par formation

- > Combinaison de l'indice de susceptibilité et de la densité de sinistres par formation (ramenée à 100 km² de surface d'affleurement effectivement urbanisée)
 - Deux fois plus de poids à l'indice de susceptibilité

Indice d'aléa = note de densité de sinistre + 2 * note de susceptibilité

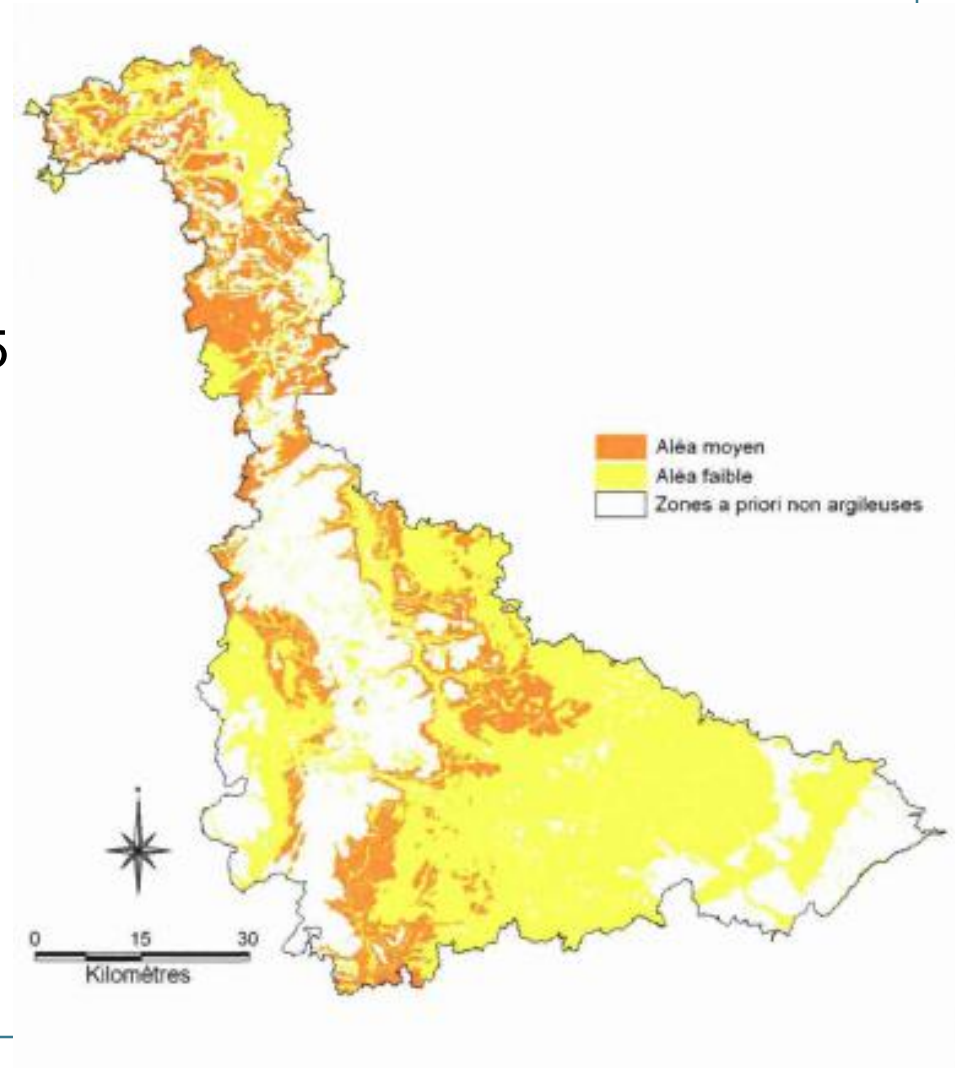
Indice d'aléa entre 3 et 9

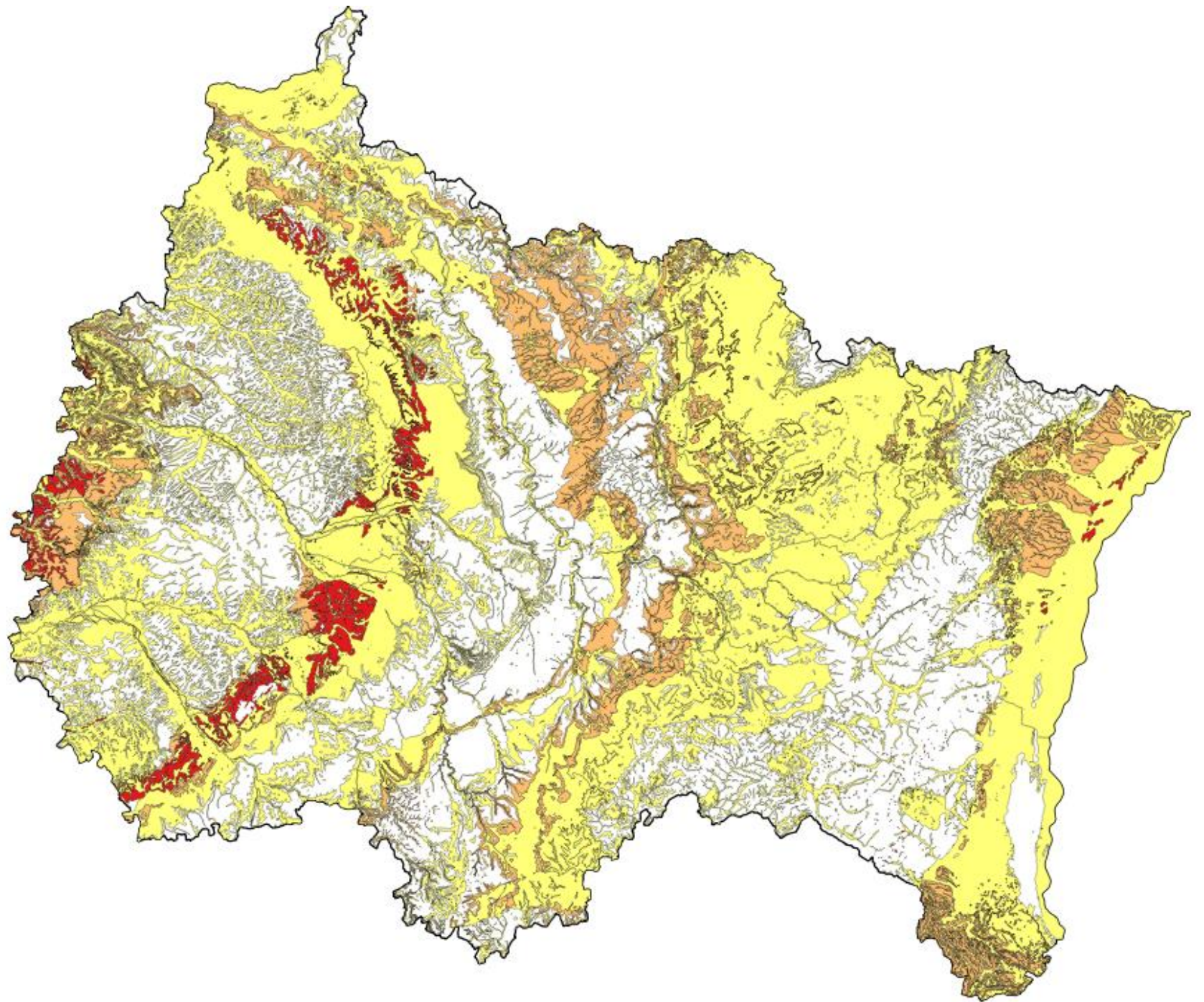
Détermination de l'aléa départemental

Aléa faible : indice égal à 3, 4 ou 5

Aléa moyen : indice égal à 6 ou 7

Aléa fort : indice égal à 8 ou 9





2019

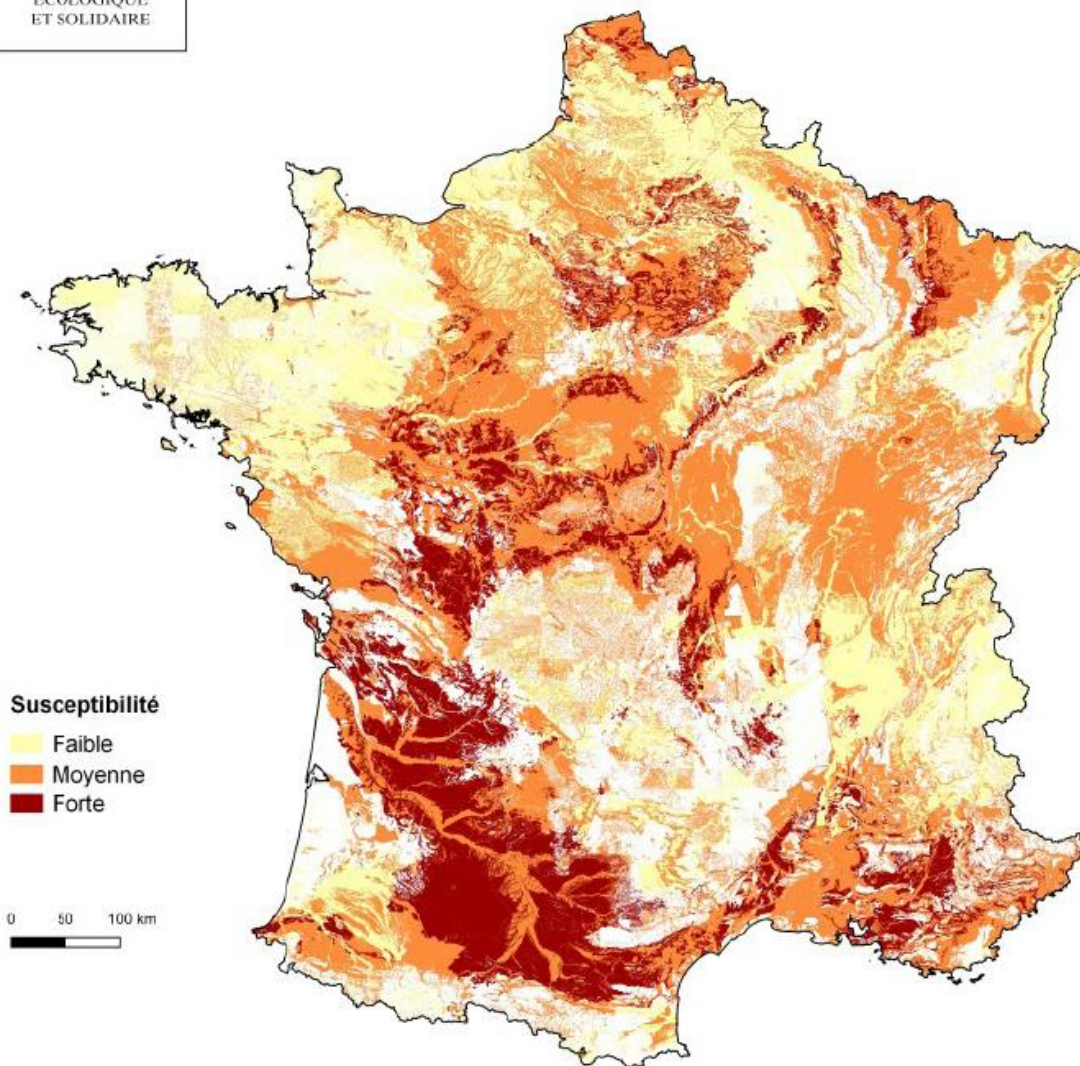
Révision de la carte d'exposition



Liberté • Égalité • Fraternité
REPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

Carte de susceptibilité des formations argileuses
au phénomène de mouvement de terrain différentiel
consécutif à la sécheresse et à la réhydratation des sols



Susceptibilité

- Faible
- Moyenne
- Forte

0 50 100 km



Révision de la carte d'exposition

Objectif

Les zones considérées comme exposées sont les zones dont l'exposition est moyenne ou forte. Objectif de régler ces zones

Application de la carte dans les examens de dossier Catnat

Révision de la carte d'exposition

➤ Constat :

- Présence de sinistres importants en zone faible et nul

➤ Révision :

- Travail statistique sur les bases de données sinistre en fonction des retours de Catnat
- Travail en association avec le Fond de Prévention des Risques Naturels majeur

➤ Application de la carte dès 2019

➤ Méthodologie détaillée en fin d'année

Révision de la carte d'exposition au phénomène

➤ Résultats :

- Cartographie de la susceptibilité dépendant de
 - Nature lithologique
 - Composition minéralogique
 - Comportement géotechnique

- Réévaluation de la densité de sinistre : Susceptibilité faible ou nulle augmente quand présence de sinistralité importante

- Ajout d'un critère de localisation : sinistre en zone faible ou nulle à moins de 100 m d'une zone moyen ou fort : le sinistre est rattaché à la formation la plus proche

Révision de la carte d'exposition au phénomène

➤ Résultats : définition des susceptibilités :

- forte :
 - formation essentiellement argileuses, épaisses et continues
 - minéraux argileux gonflants largement majoritaires
 - comportement géotechnique indique un matériau très sensible

- moyenne :
 - formations argileuses minces ou discontinues, présentant un terme argileux non prédominant
 - minéraux argileux gonflants en proportion équilibrée
 - comportement géotechnique indique un matériau moyennement sensible

- faible :
 - formations non argileuses mais contenant localement des passées ou des poches argileuses
 - minéraux argileux gonflants minoritaires
 - comportement géotechnique indique peu ou pas sensible au phénomène selon l'endroit où on le mesure

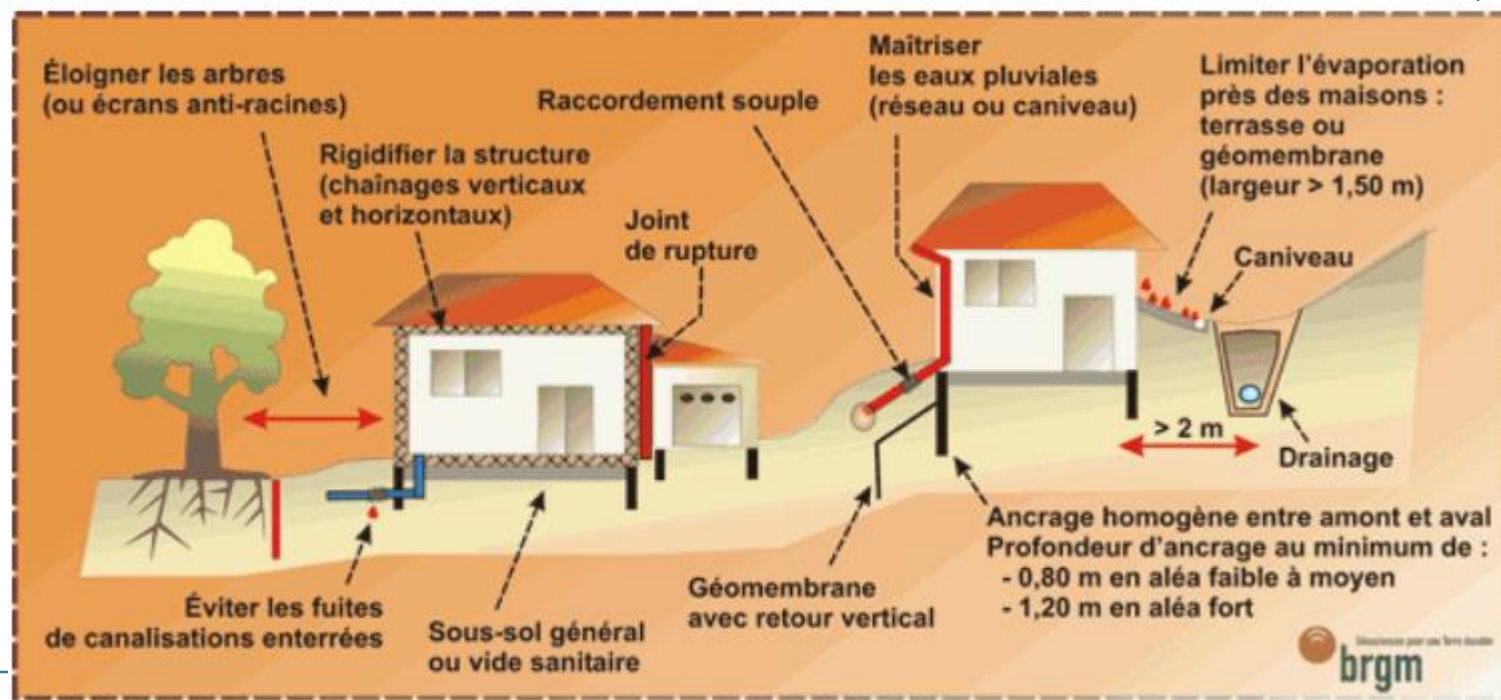
Techniques particulière de construction

LOI ELAN :
Adoptée fin 2018

Obligation d'une étude de sol en cas de vente d'un terrain exposé au phénomène

3 grands principes :

- Agir sur l'environnement
- Agir sur les fondations
- Agir sur la structure



Décret : techniques particulières de construction

> **Le constructeur est tenu :**

- Soit de suivre les recommandations de l'étude géotechnique
- Soit de respecter les techniques de construction définies dans le décret

> **Concerne :**

- Immeubles à usage d'habitation ou à usage professionnel en comportant pas plus de deux logements qui font l'objet d'un contrat de travaux de construction ou de maîtrise d'œuvre
- Immeubles situés en zone d'exposition moyenne ou forte

> **Applicable : dès le 1 janvier 2020**

Décret : techniques particulières de construction

> **Extrait Art. D 112-10 : le constructeur est tenu de :**

- Consolider les fondations pour limiter les déformations du bâtiment
- Renforcer la structure du bâtiment pour améliorer sa résistance
- Gérer les écoulement des eaux pour limiter la fragilisation
- Éviter une détérioration prématuré de l'ouvrage en choisissant des matériaux adaptés
- Limiter les échanges thermiques à la liaison entre sol et sous-sol
- Adapter le bâtiment aux contraintes de l'environnement

> **Un arrêté précise les moyens permettant de satisfaire aux objectifs**

Arrêté : techniques particulières de construction

> Article 1 : Le constructeur est tenu de consolider les fondations afin de limiter les déformations :

- Fondations en béton armé
- Profondeur fondations > 0,80 m en moyen et 1,20 m en fort (exception d'un sol dur non argileux)
- Homogénéité ancrage, sans dissymétrie sur tout le pourtour du bâtiment (aussi pour les terrains en pente ou pour les bâtiments à sous sol partiel)
- Fondations coulées en continues et chaînées
- Joint de rupture sur constructions mitoyennes (y compris fondations)

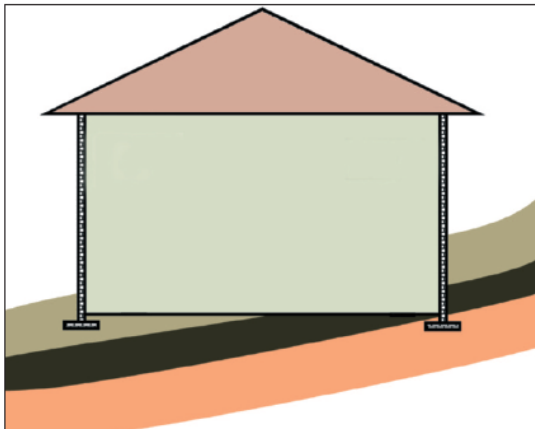


Figure 4
Dispositions constructives à éviter :
terrain en pente et fondations à la même cote

Arrêté : techniques particulières de construction

- Article 2 : le constructeur est tenu de rigidifier la structure du bâtiment afin de résister aux distorsions
 - Chainage horizontaux (haut et bas) et verticaux (poteaux d'angle)
 - Pose de linteaux au dessus des ouvertures

Arrêté : techniques particulières de construction

➤ Article 3 : le constructeur est tenu de s'assurer du bon drainage des eaux pluviales et sanitaires

- Eau usées domestiques : rejet au réseau collectif ou dispositif individuel de traitement des eaux usées (L.1331-1-14) – épandage en aval de la construction
- Eaux pluviales :
 - Les apports d'eau provenant des terrains environnants (eaux superficielles ou souterraines) sont détournées par un réseau de drainage
 - Les pieds de façade sont protégés de l'évaporation et éloignés des eaux de ruissellement. Ex : par un dispositif étanche venant ceinturer la construction
 - Les eaux de gouttière sont éloignées des pieds de façade avec un exutoire en aval
 - Les réservoirs de collecte des eaux pluviales sont équipés pour empêcher le déversement des eaux de trop plein dans le sol
- Protection et étanchéification des canalisations enterrées (utilisation de matériaux flexibles avec joints adaptés)

Arrêté : techniques particulières de construction

➤ Article 4 : le constructeur est tenu de s'assurer que les matériaux choisis présentent des performances de résistance durable

- Béton :
 - caractéristique minimale à la compression à 28 jours de 25 Mpa

- Armature pour béton armé :
 - aciers à haute adhérence
 - Aciers avec un allongement garanti sous charge maximale d'au moins 5 %

- Éléments de maçonnerie :
 - possibilité qu'ils soient plein ou creux

Arrêté : techniques particulières de construction

- Article 5 : le constructeur est tenu de limiter les échanges thermiques à travers les parois en cas de source de chaleur en sous-sol (ex : chaudière)
 - Ex : isolation des parois concernées

Arrêté : techniques particulières de construction

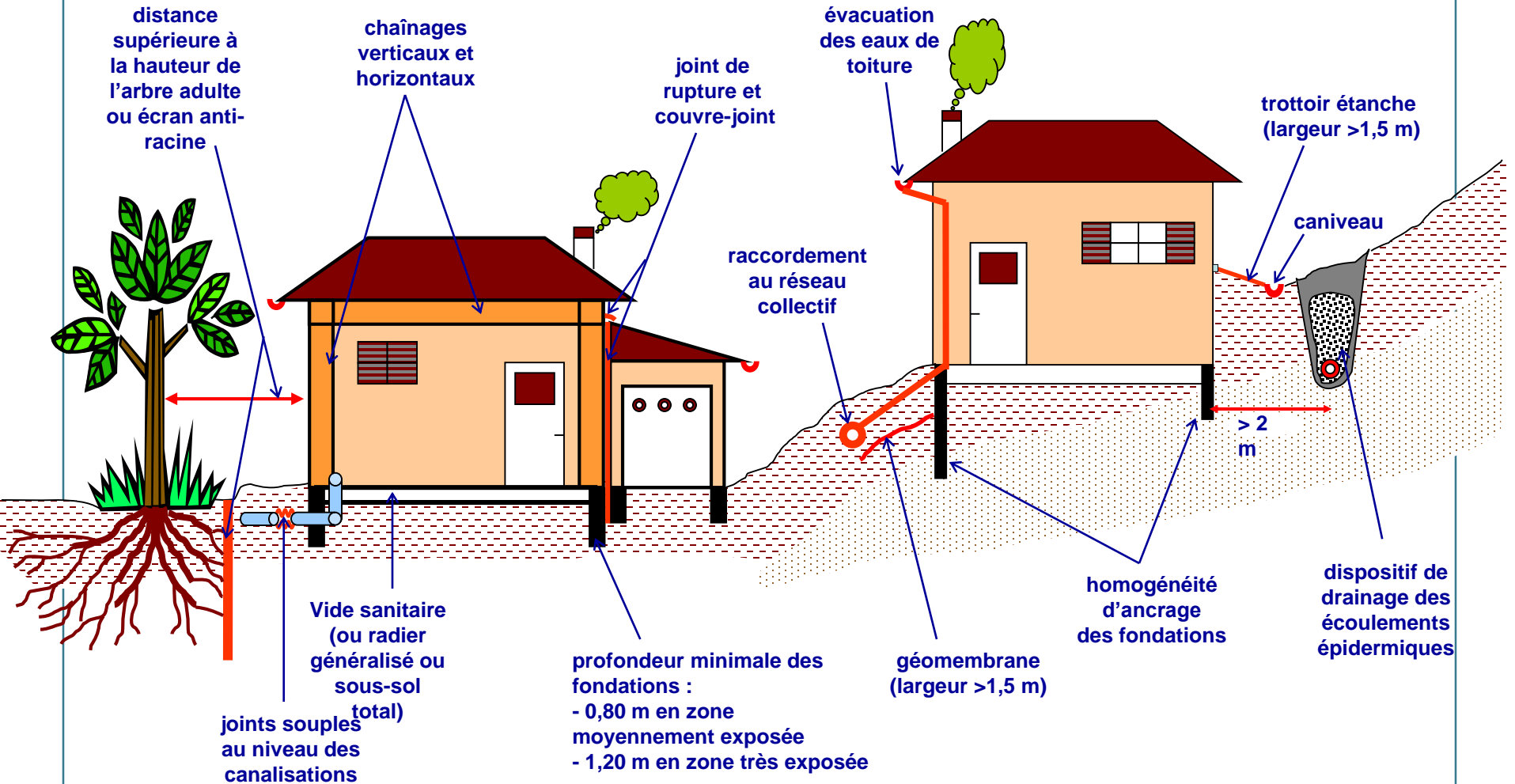
➤ Article 6 : le constructeur est tenu d'adapter le bâtiment aux contraintes de son environnement

- Végétation : éloigner le bâtiment du champ d'action de la végétation.
Distance d'influence :
 - Une fois la hauteur de l'arbre à l'âge adulte
 - Une fois et demi la hauteur d'une haie

- Abattre les arbres gênants le plus en amont possible de la construction

- A défaut : mettre en place un écran anti-racines (profondeur minimale de 2 m)

Prescriptions en zone réglementée



Traitement des désordres

Principes	Techniques correspondantes	Principales limites d'utilisation
Agir sur l'environnement proche de l'habitation	Retirer / Élaguer des arbres	Problèmes environnementaux et de voisinage
	Couper des racines	Risque d'altération de la végétation Problème éventuel de stabilité des arbres
	Poser des barrières anti-racines	Risque de contournement des barrières et de retournement
	Collecter et évacuer les eaux de toiture	Aucune Évacuation des eaux à plus de 10 m de l'habitation
	Vérifier l'étanchéité des réseaux	Aucune
	Poser un écran horizontal imperméable en périphérie des murs extérieurs	Aucune sauf mitoyenneté
	Réaliser un drainage périphérique	Éloigner le drainage de 2 m des fondations Difficulté possible de mitoyenneté
Agir sur les fondations	Réaliser une reprise en sous-cœvre pour approfondir le niveau de fondation par des : - plots jointifs réalisés par phases alternées ; - plots discontinus reliés ou non par une longrine ; - minipieux ou micropieux ; - injections sous fondations.	Dépend de la technicité de l'entreprise Nécessite une étude puis une mise en œuvre très soignée par une entreprise spécialisée
	Dispositions constructives propres à limiter l'effet du retrait-gonflement sur les structures	Modification esthétique
	Reprise en sous-cœvre partielle	Assez délicat Étude approfondie nécessaire
	Travaux spécifiques aux dallages	Inadapté aux sols gonflants
Agir sur la structure de l'habitation	Renforcement par chaînage	Modification esthétique
	Rigidifier la structure	Délicat à réaliser
	Réaliser des joints de rupture	Délicat à réaliser Modification esthétique
	Réparer les fissures	À n'entreprendre qu'après stabilisation de la structure

Coût ?

Moyenne pour une construction d'environ 100 m² au sol (IFSTTAR, coût moyen en 2015) :

- reprise en sous-œuvre des murs par micropieux et longrines de répartition : **45 à 70 k euros** ;
- reprise en sous-œuvre par puits de faible profondeur et longrines de répartition : **30 à 45 k euros** ;
- rigidification des fondations existantes par scellement d'une longrine ceinturant l'ouvrage : **15 à 25 k euros** ;
- injection et brochage des dallages en rive de l'ouvrage : **6 à 12 k euros** ;
- imperméabilisation du pourtour de l'ouvrage par géomembrane : **10 à 20 k euros** ;
- mise en place de chaînages intégrés dans la maçonnerie : **environ 20 k euros** ;
- réalisation d'une tranchée drainante peu profonde à l'amont : **1,5 à 6 k euros** (selon la profondeur et l'exutoire, pour une longueur d'une dizaine de mètres) ;
- mise en place d'un écran-antiracine (2 m de profondeur) : **300 à 500 euros par mètre de longueur** ;
- abattage, dessouchage et brûlage des arbres (10 à 60 cm de diamètre) : **1 k euros**.

Liens utiles

- **Cartographie, consultation et documentation**

<http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/alea-retrait-gonflement-des-argiles#/>

- **Listes des Bureaux d'études géotechniques**

La majorité est regroupée en deux principales fédérations : Syntec-Ingénierie et Union Syndical de Géotechnique (USG)

<https://www.syntec-ingenierie.fr/nos-adherents/>

- **Pathologie des bâtiments**

L'Agence Qualité Construction (AQC) met en ligne des fiches conseil sur la prévention des pathologie observées sur les constructions (constat, diagnostic des désordres, points sensibles, conseil de prévention)

<http://www.qualiteconstruction.com/categorie-fiche/227>