

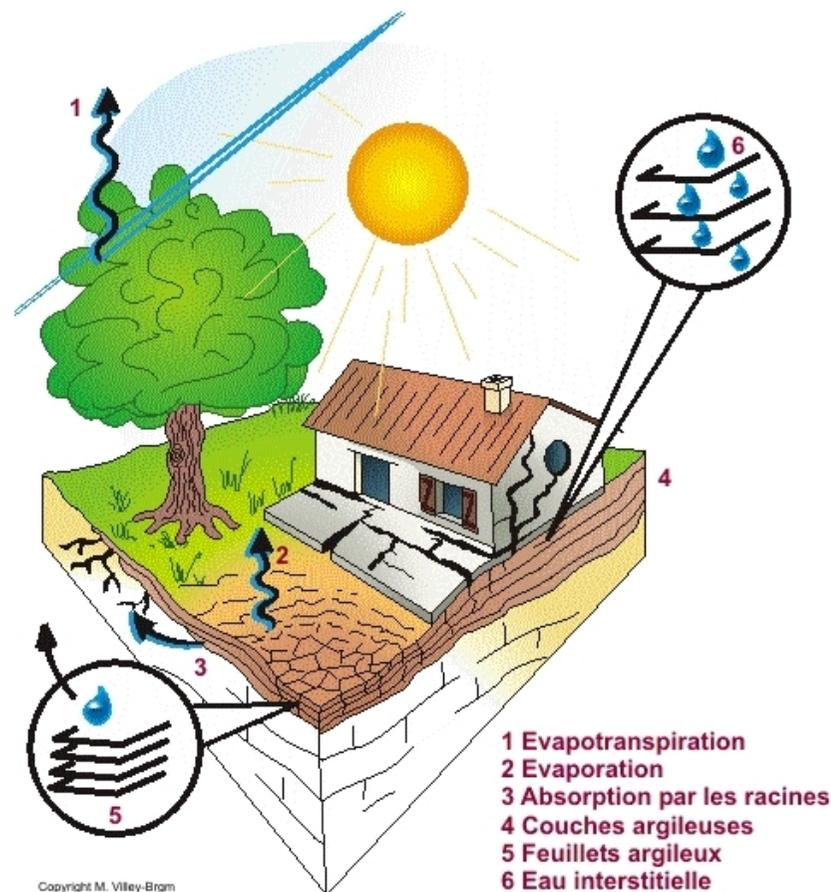


**Emmanuelle PLAT**  
Ingénieur géotechnicien  
au BRGM

## De quoi s'agit-il ?

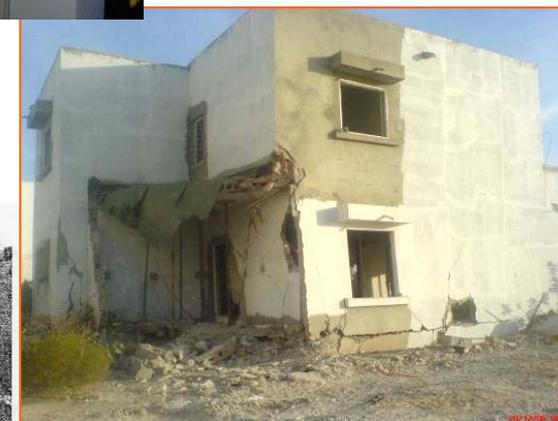
### Mouvements de terrain provoqués par des variations de volume de certains minéraux argileux, en cas de variations de teneur en eau

- > **Variations de volume :**  
hydratation => gonflement  
dessiccation => retrait
- > Variations hydriques hétérogènes => **Mouvements différentiels**
- > Concerne uniquement des sols « argileux », ampleur particulière en présence de minéraux gonflants (ex : **smectites**)
- > Mise en évidence du phénomène par les géotechniciens déjà ancienne (Skempton, 1954 ; Philipponnat, 1978)
- > Des manifestations très courantes dans le monde (USA, Australie, Afrique du Sud, Maghreb, Ethiopie, Madagascar, Israël, etc.) avec des conséquences parfois dramatiques



## Les principales victimes : les maisons individuelles

- > Principales victimes : les **maisons individuelles** (constructions légères, ancrées superficiellement, souvent avec dallage sur terre-plein et arbres proches, parfois sujettes à malfaçons) mais aussi les réseaux et la voirie
- > Désordres observés : **fissuration** des façades et cloisons, **distorsion** des huisseries, **décollement** de bâtiments annexes, **ruptures** de canalisations, etc.
- > Des manifestations souvent cycliques avec **aggravation progressive** des dégâts
- > Désordres parfois **difficile à réparer** de manière durable et solutions de confortement souvent **coûteuses**



Photos P. Berthelot (Dakar)

## Impact financier du phénomène en France

> Risque pris en compte en France **depuis 1989** au titre de la **loi de 1982 sur les catastrophes naturelles** (principales périodes : 1989-92, 1996-97 et 2003)

> 444 000 sinistres recensés entre 1989 et fin 2007 (source : FFSA)

> Presque **8 000 communes reconnues CatNat** en France

> Environ **18 000 occurrences** de reconnaissance CatNat à ce jour

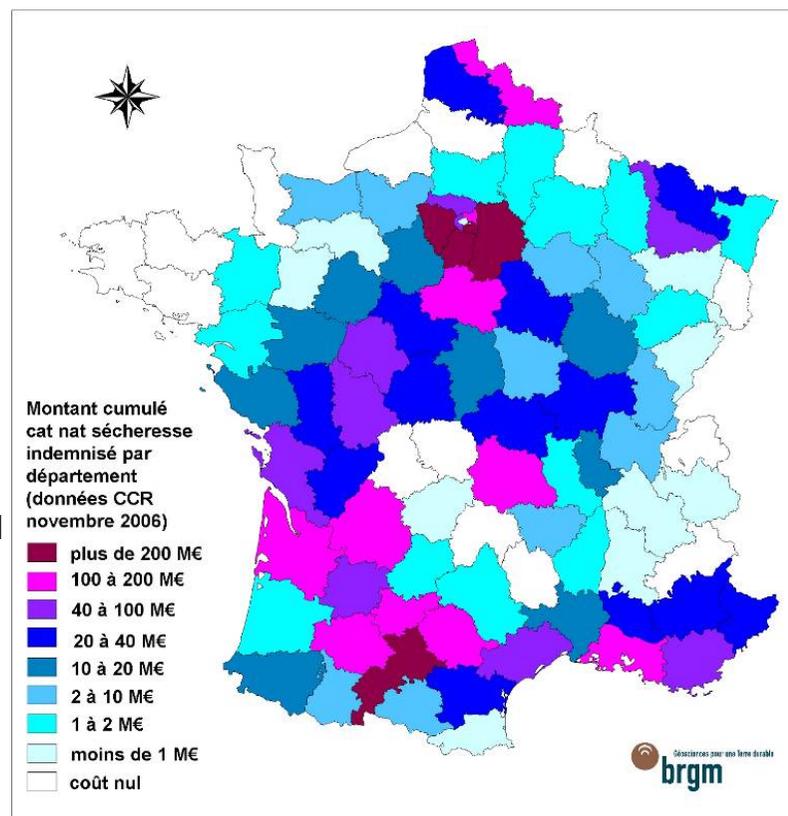
> Coût global depuis 1989 : **4,1 milliards** d'euros dans le cadre du régime CatNat et de la procédure exceptionnelle (dont 1,08 milliards en 2003)

> Sinistralité en progression ?

> 15 nouveaux départements concernés en 2003 à l'est

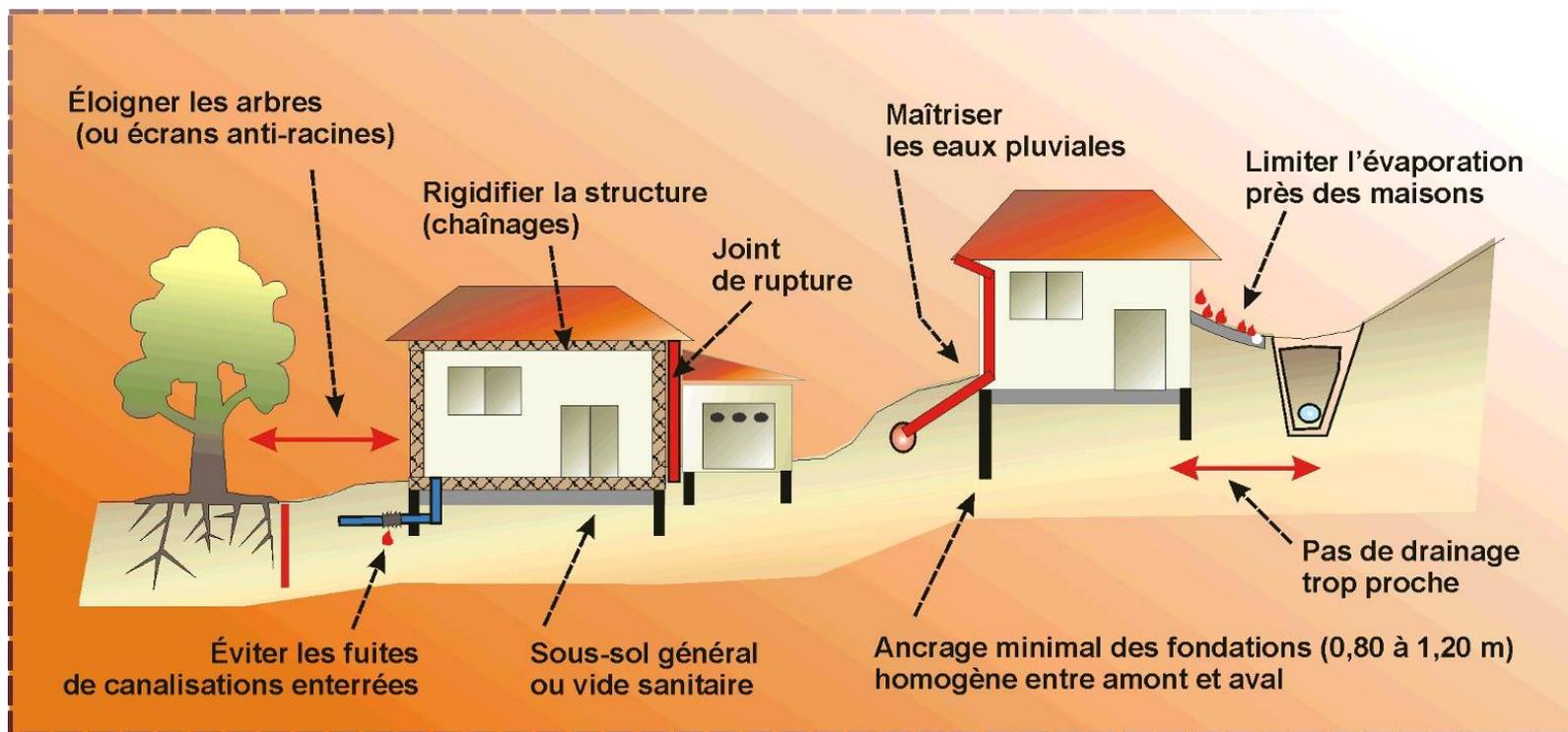
> de nouveaux sinistres depuis 2003

> 200 000 nouvelles maisons individuelles construites par an



## Comment limiter les désordres ?

- > Généraliser les études de sol
- > Respect des règles de l'art (D.T.U...)
- > Meilleure connaissance du risque
- > Application de règles constructives simples sans limiter l'urbanisation

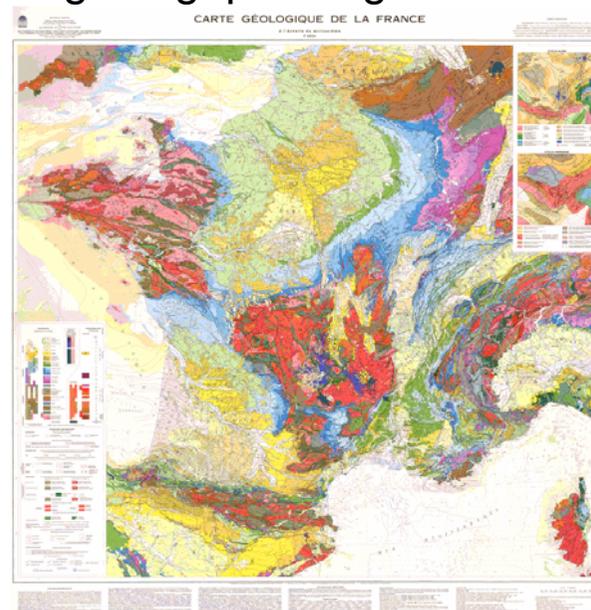
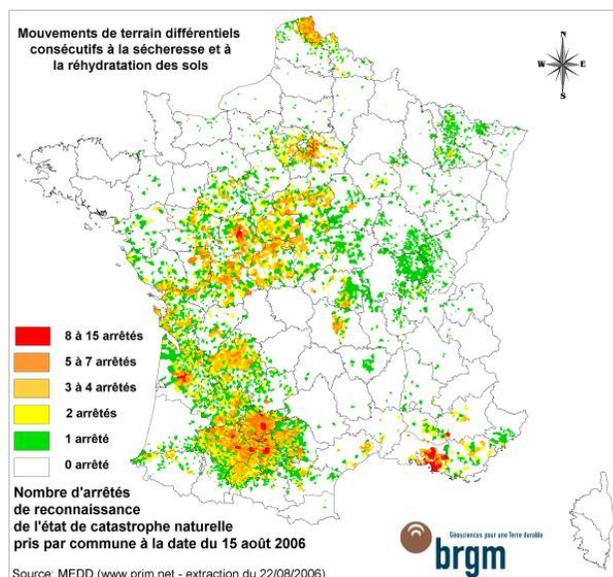


**=> intérêt de délimiter les zones d'aléa potentiel**

Une conférence réalisée avec la collaboration du LCPC et du BRGM

## Cartographie de l'aléa retrait-gonflement Paramètres

➤ Bonne corrélation entre la répartition géographique des communes sinistrées et les zones d'affleurement de certaines formations géologiques argileuses

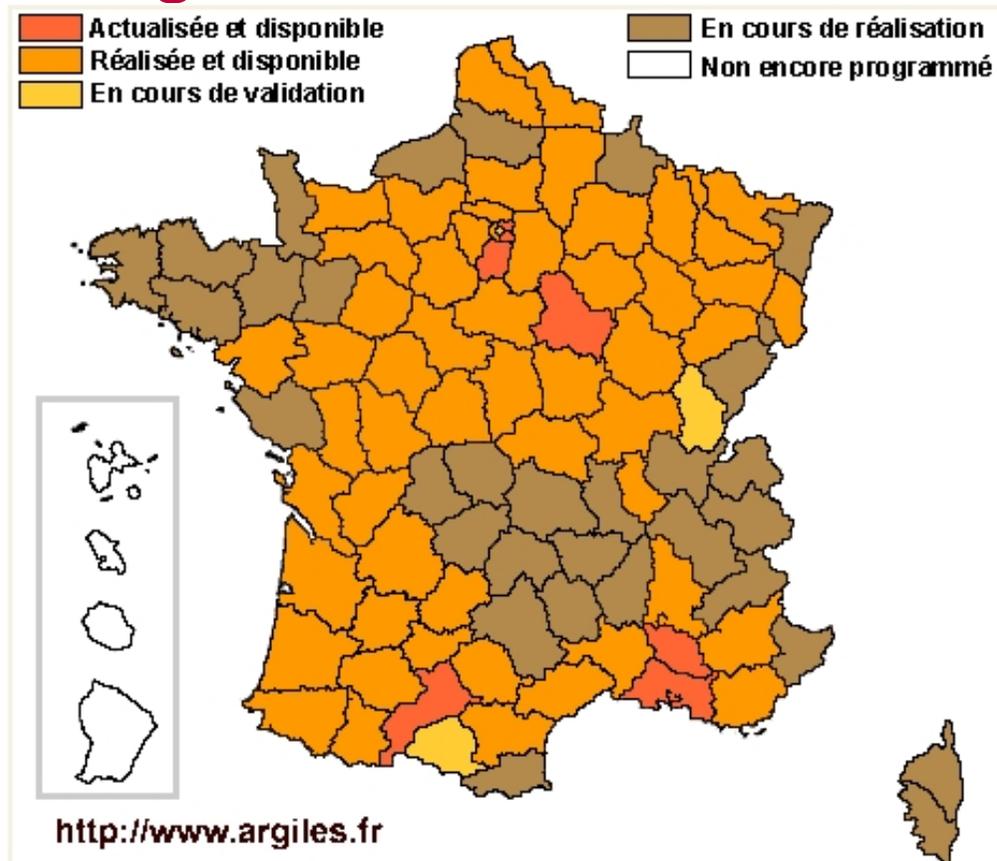


➤ Facteurs de prédisposition : la **géologie** (épaisseur des formations argileuses, % de minéraux gonflants, activité des argiles)

➤ Facteurs de déclenchement : rôle prépondérant de l'évapo-transpiration, aggravée par de multiples facteurs d'ampleur locale => difficiles à intégrer dans une carte à grande échelle (arbres, eaux souterraines, activités humaines)

## Cartographie de l'aléa retrait-gonflement Programme national en cours

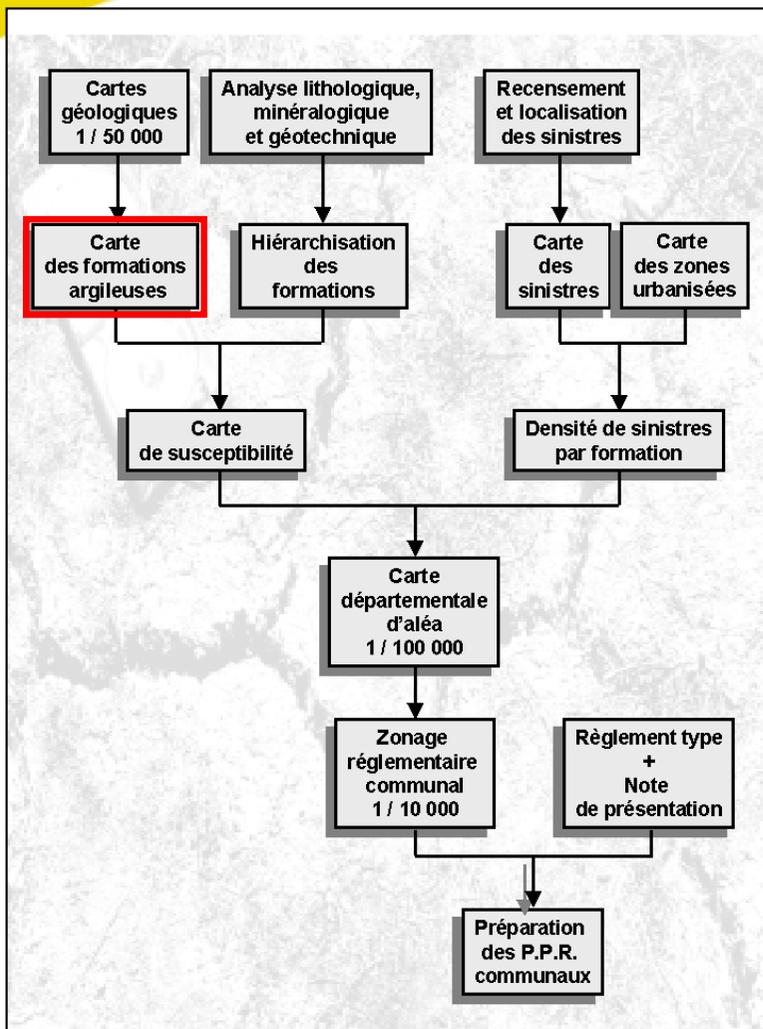
- > Méthodologie élaborée par le BRGM depuis 1995, à l'échelle communale puis **départementale**, validée par le MEEDM et la CCR puis étendue à tout le territoire
- > Réalisation en région avec une coordination nationale => homogénéité du produit fini et cohérence à l'échelle nationale
- > Etat d'avancement : **61** cartes actuellement publiées et à disposition du public



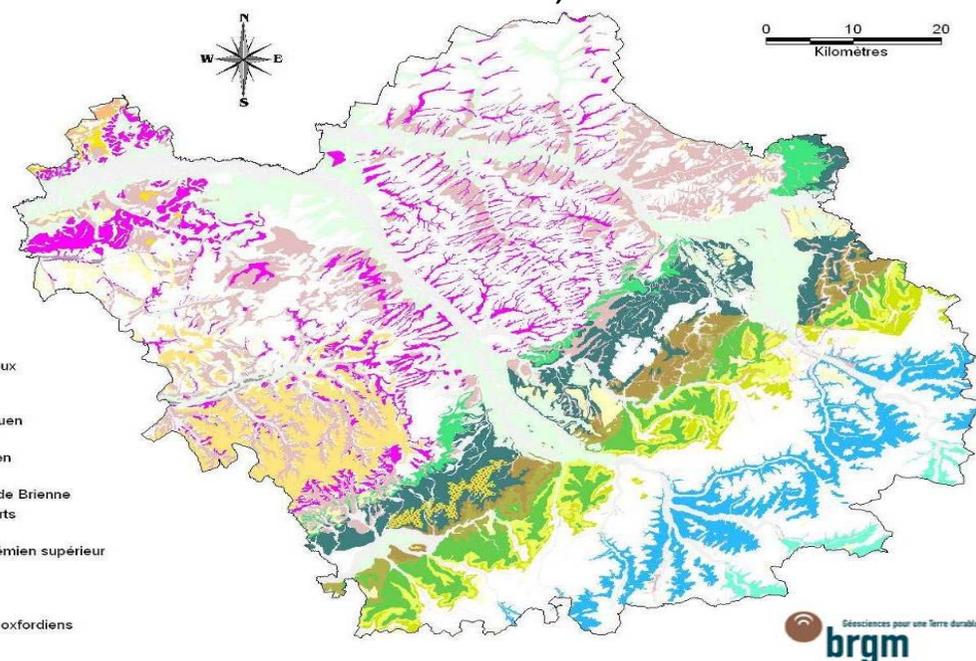
# Cartographie de l'aléa retrait-gonflement

## Carte des formations argileuses

- > Harmonisation des feuilles géologiques à 1/50 000
- > Sélection et regroupements des formations argileuses (à partir de la carte harmonisée, des descriptions des notices des cartes géologiques à 1/50000 et de visites de terrain)

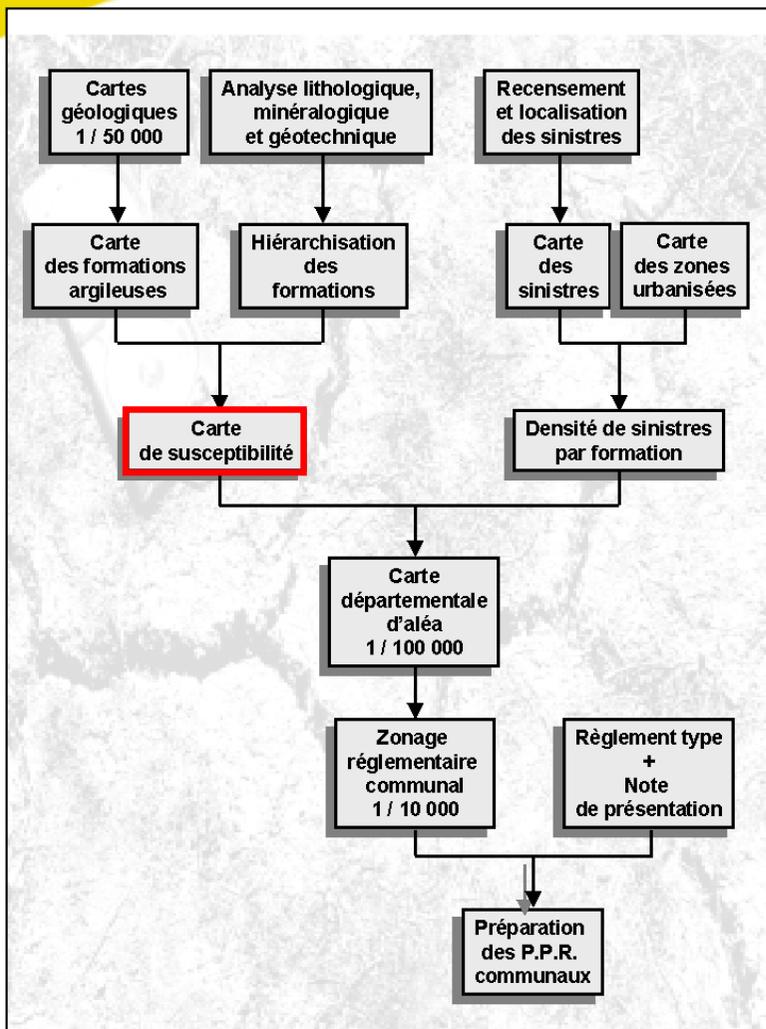


- Fy - Alluvions fluviales anciennes
- T - Dépôts tourbeux
- FV - Formations de versants
- LP - Limons des plateaux
- CC - Colluvions sur substratum crayeux
- I<sup>a</sup> - Argiles à meulière de Brie
- RS - Argiles résiduelles à silex
- e6b - Marnes et calcaires de Saint-Ouen
- e4 - Argile plastique, sables et grès
- c1a - Marnes et craies du Cénomannien
- n6a-SD - Sables des Drillons
- n6AGB - Argiles du Gault et Marnes de Brienne
- n5b\_6a - Sables blancs et Sables verts
- n5a - Argiles à plicatules
- n4b - Argiles, sables et grès du Barrémien supérieur
- n4a - Argiles oostreennes
- n3S - Calcaires à spatangues
- j6b-cN - Marnes à Exogyres
- j5MCA - Marnes et calcaires argileux oxfordiens



Exemple de l'Aube : 20 formations argileuses ou marneuses retenues

## Cartographie de l'aléa retrait-gonflement Hiérarchisation des formations argileuses



### >Lithologie des formations

- >Proportion des termes argileux dans la formation
- >Épaisseur et continuité des niveaux argileux

### >Minéralogie de la phase argileuse

- >Critère : % de minéraux gonflants (smectites + interstratifiés)
- >Quantitatif (diffractométrie RX) ou qualitatif (conditions de dépôt)

### >Comportement géotechnique

- >Critère : Valeur de bleu de méthylène (Vb) ou retrait linéaire (RI)
- >A défaut : Indice de plasticité (Ip)

# Cartographie de l'aléa retrait-gonflement Carte de susceptibilité

> Calcul de la classe de susceptibilité

Lithologie : note **L**

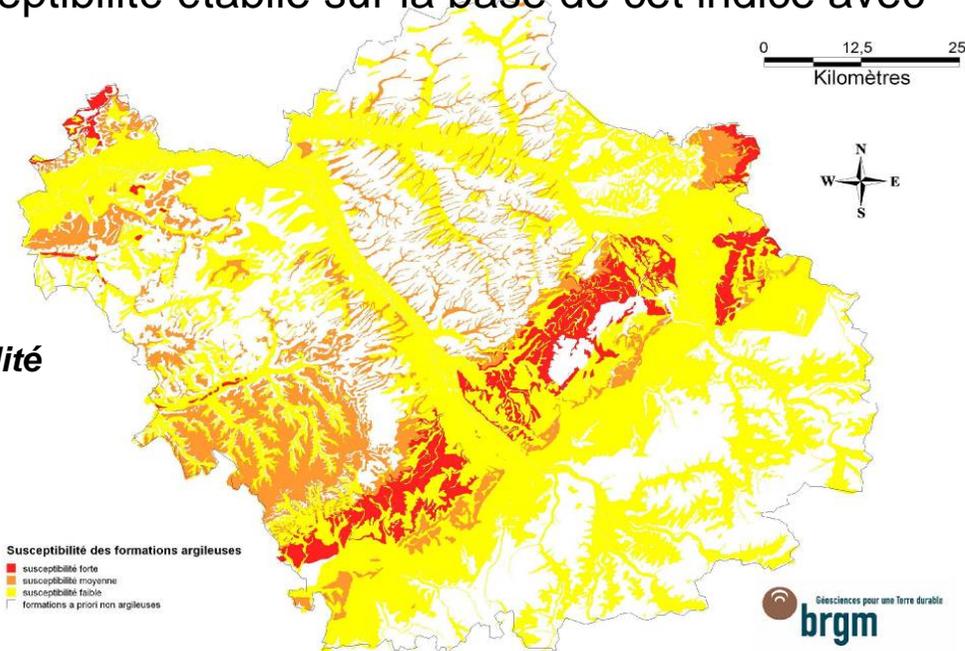
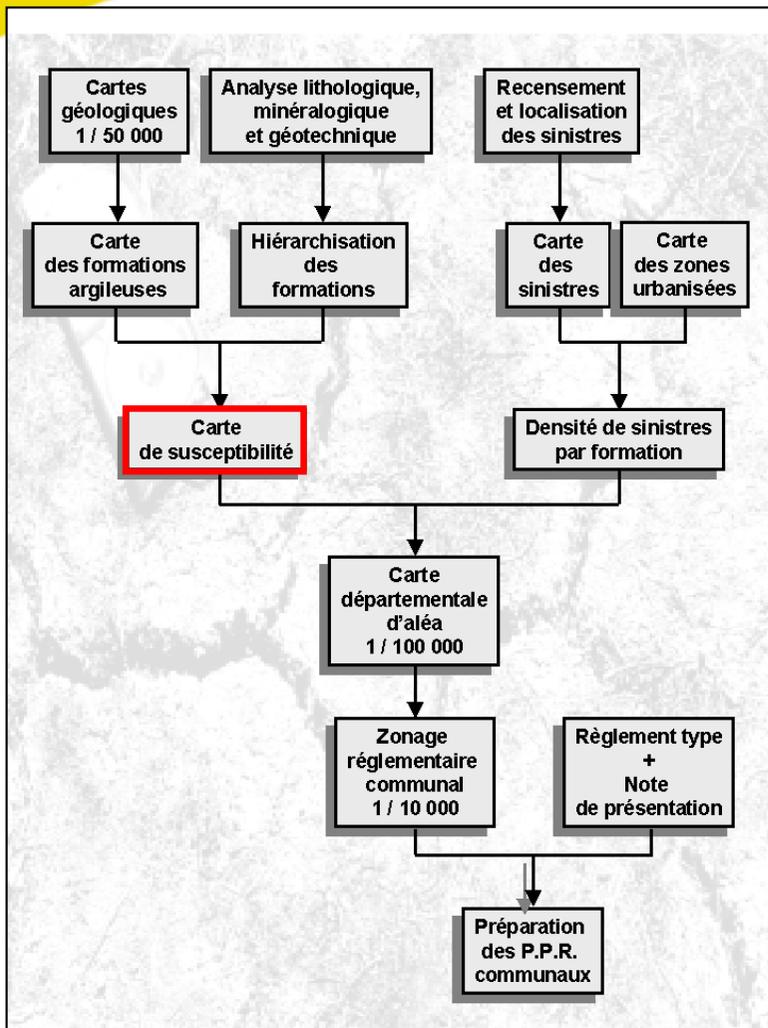
Minéralogie : note **M**

Géotechnique : note **G**

Indice de susceptibilité :

$$iS = (L + M + G) / 3$$

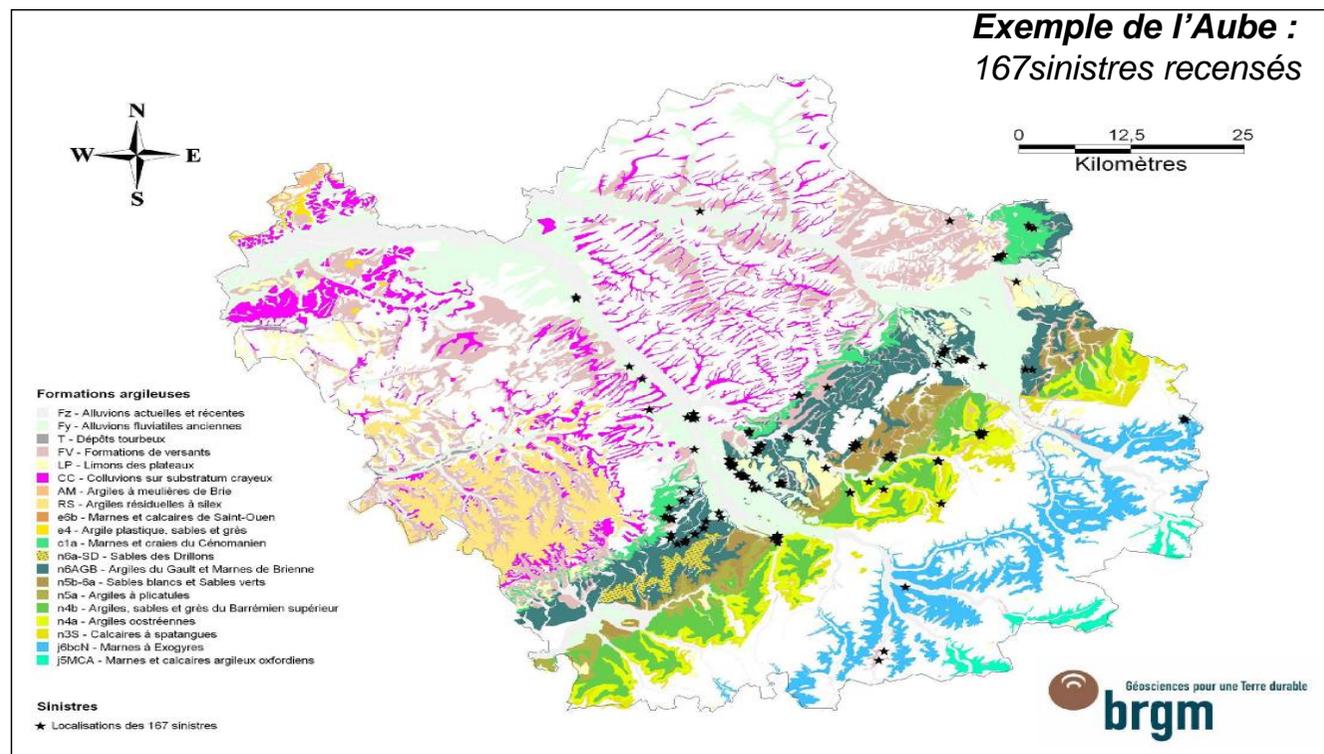
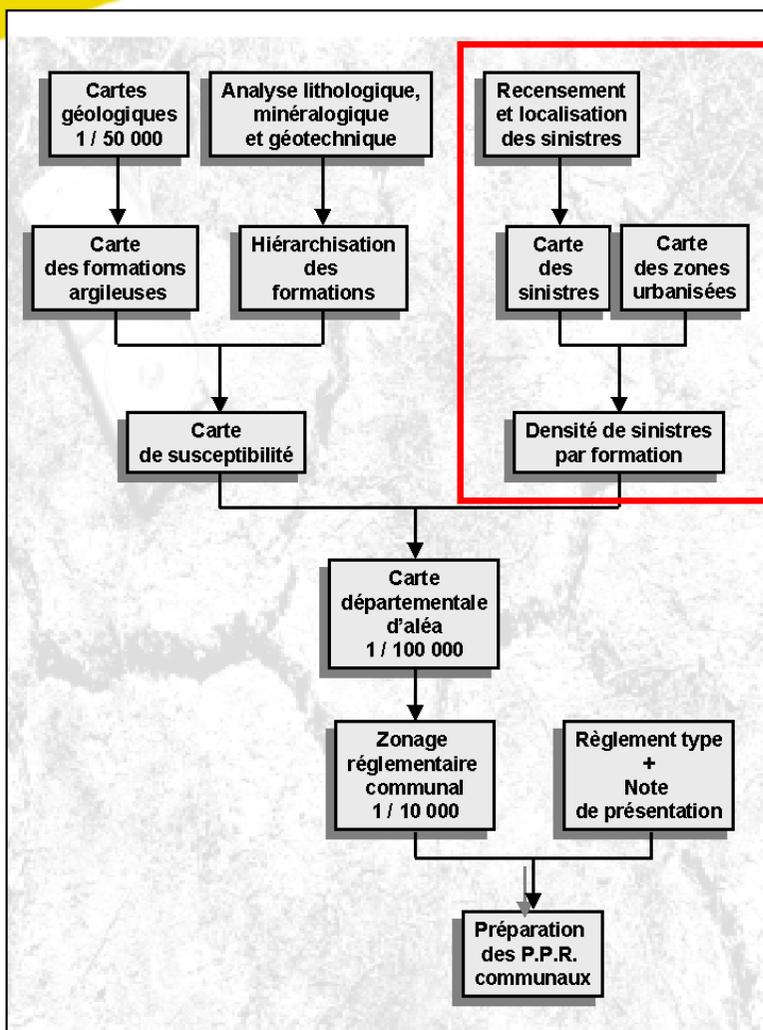
> Carte de susceptibilité établie sur la base de cet indice avec 3 classes



Carte de susceptibilité de l'Aube

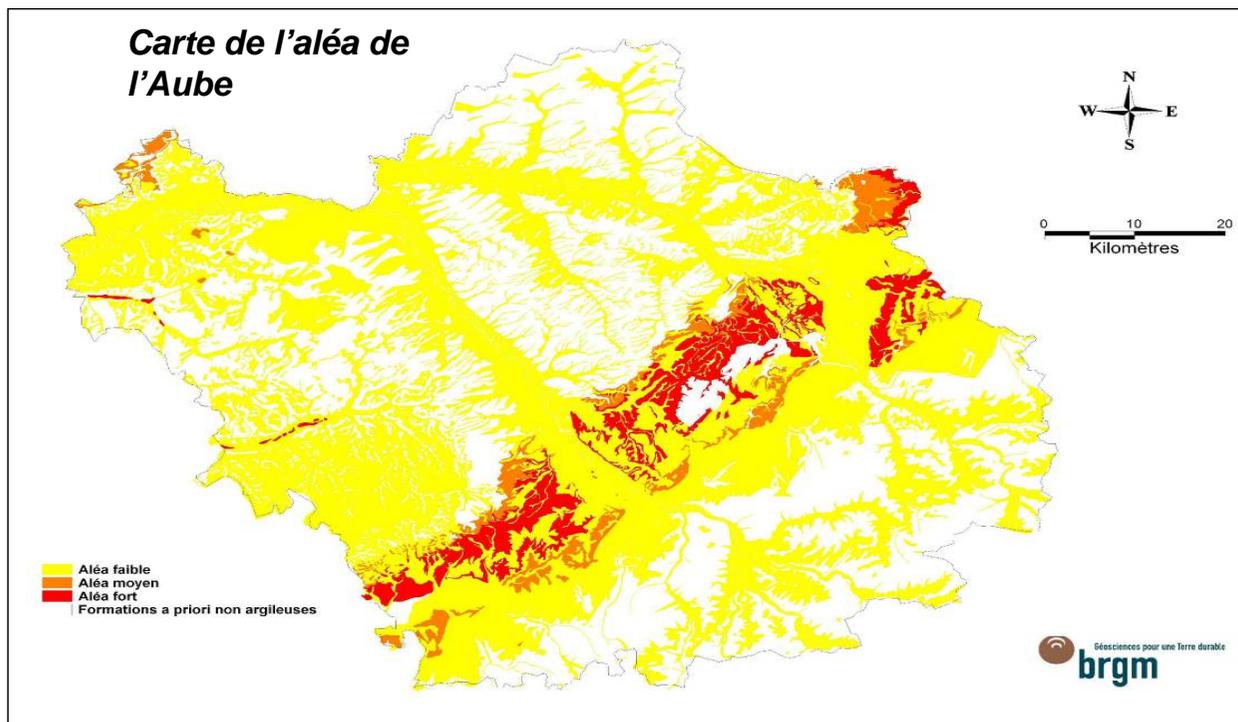
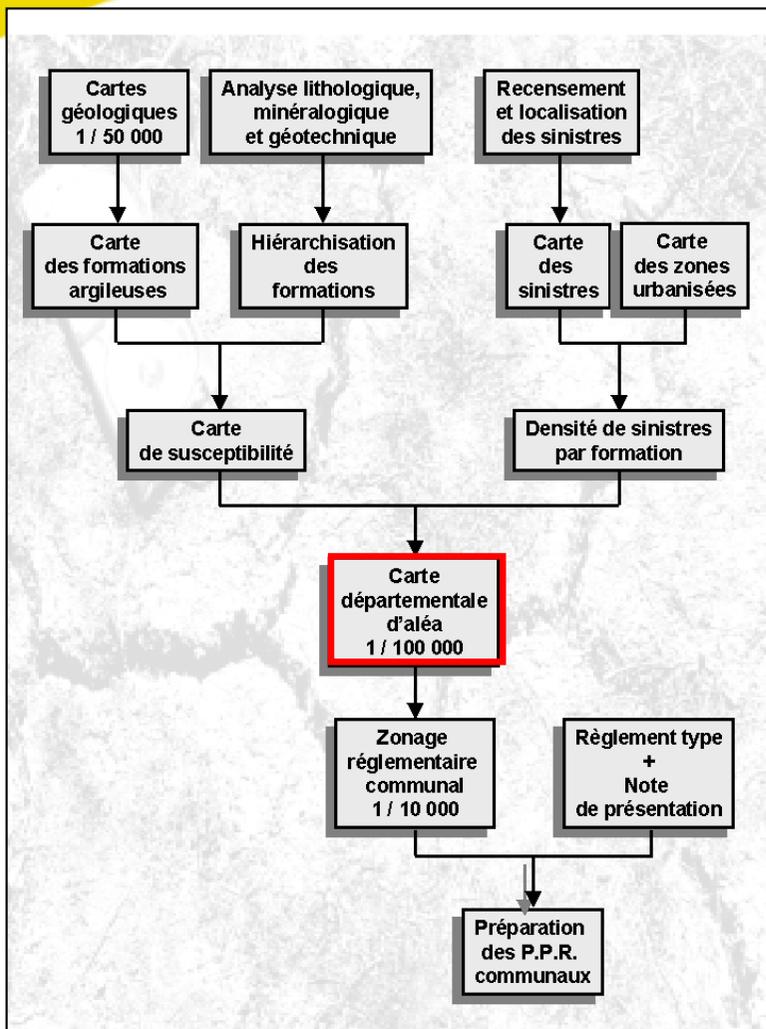
## Cartographie de l'aléa retrait-gonflement Inventaire et localisation des sinistres

- > 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

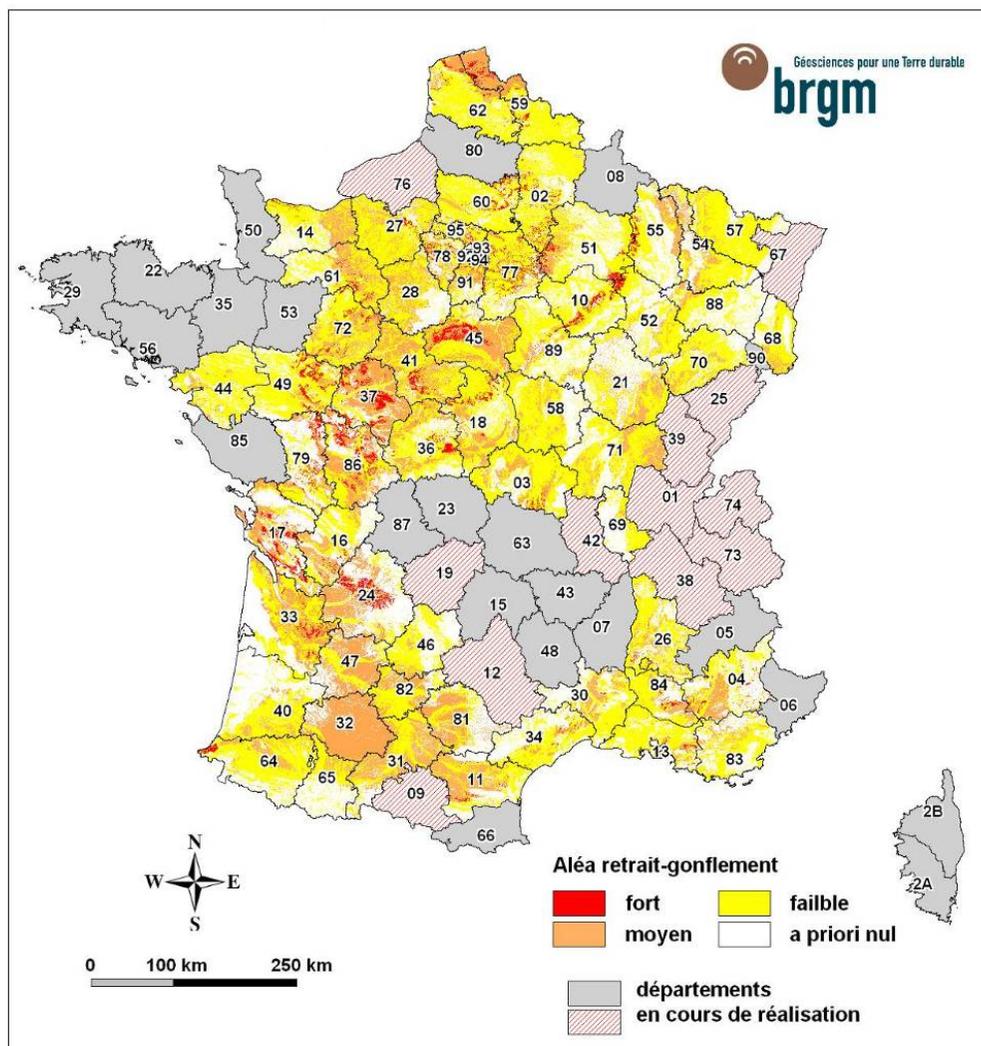


## Carte départementale d'aléa

- > Combinaison de l'indice de susceptibilité et de la densité de sinistres par formation (ramenée à 100 km<sup>2</sup> de surface d'affleurement effectivement urbanisée)
- > Permet d'affiner la carte de susceptibilité
- > Echelle de validité : 1/50 000



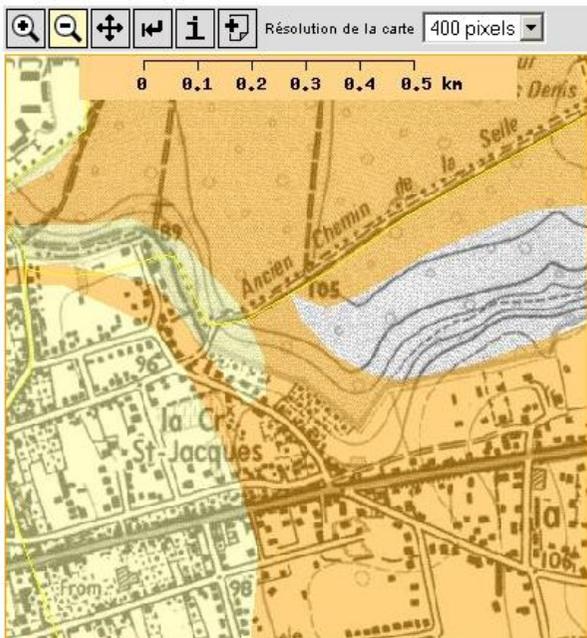
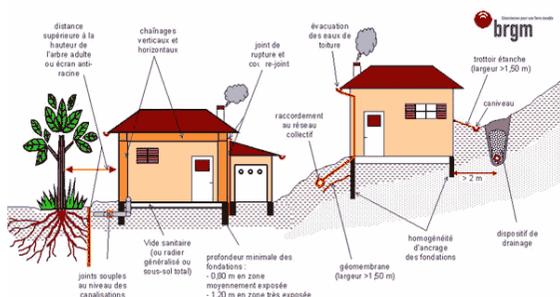
## Carte d'aléa retrait-gonflement : état d'avancement



- > 61 départements disponibles
- > Date d'achèvement du programme envisagée : fin 2010
- > Carte consultable sur [Argiles.fr](http://Argiles.fr)

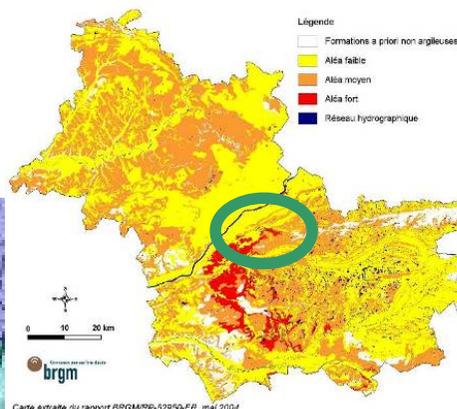
### Site internet dédié : [www.argiles.fr](http://www.argiles.fr)

- Présentation du phénomène et des mesures de prévention en accès libre et gratuit
- Téléchargement possible des cartes d'aléa et rapports d'études => information préventive
- 50 000 visiteurs par mois depuis novembre 2004
- Nombreuses questions (environ 10 mails par semaine)

Date de mise à jour des données : 05/10/2009

### Réalisation de cartes de zonages réglementaires



> Objectifs : exploiter les cartes d'aléa pour développer la prévention par des PPR spécifiques au retrait-gonflement = outil réglementaire, prescrit par l'État, permettant d'imposer des mesures constructives spécifiques

> Principe :

> l'ampleur des risques liés à ce phénomène est limitée et les désordres peuvent être diminués moyennant **le respect de règles constructives simples et peu coûteuses** ; les exigences réglementaires seront donc peu contraignantes et n'entraînent pas d'inconstructibilité

> on se contente d'un **degré relatif de précision sur le tracé des zones d'aléa**

> Méthode :

> Traitement automatisé

> Passage à 2 zones réglementées B1/B2

> Intégration du changement d'échelle par une marge de sécurité correspondant à 50 m



Plan de prévention des risques naturels concernant les mouvements différentiels de terrain liés au phénomène de retrait-gonflement des argiles dans le département du Loir-et-Cher

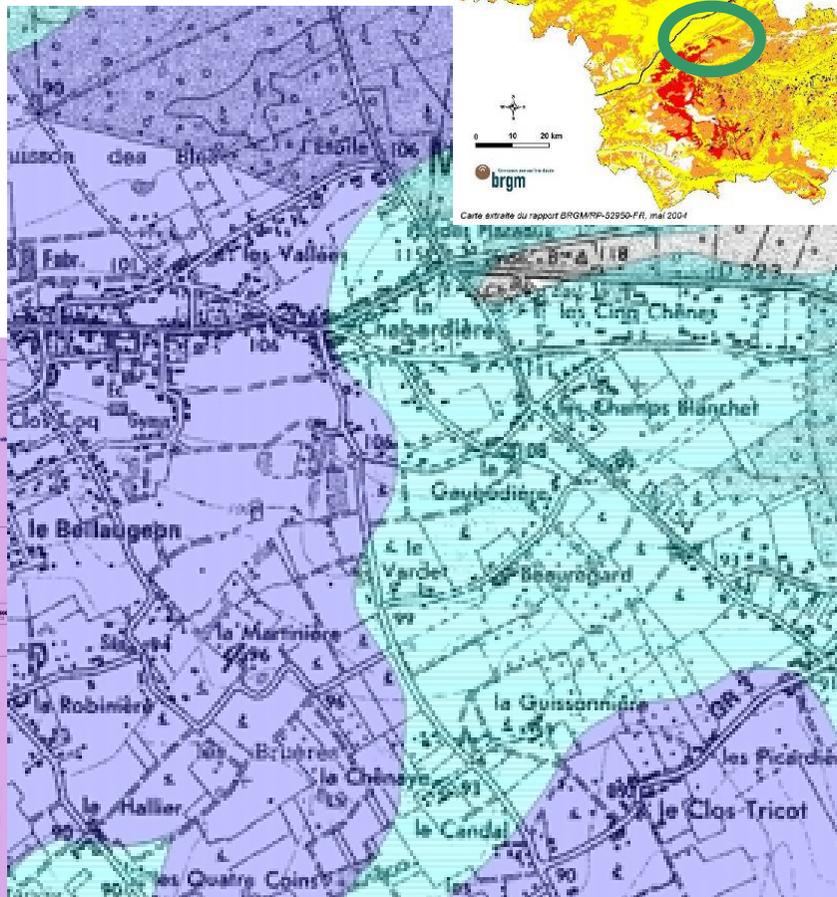
Commune de MONT-PRES-CHAMBORD



Extrait du rapport BRGM/RP-52250-FR, septembre 2004  
Commune de MONT-PRES-CHAMBORD

Légende :

- Zone fortement exposée (B1)
- Zone faiblement à moyennement exposée (B2)



## Information préventive et réglementation

=> **Nécessité d'une information la plus en amont possible : une large sensibilisation des maîtres d'ouvrage peut faciliter le dialogue avec les professionnels de la construction et favoriser l'adoption de mesures constructives préventives**

### > Information préventive

> Site : [www.argiles.fr](http://www.argiles.fr)

> Rôle de l'AQC vers les professionnels de la construction

> Rôle incitatif des assureurs (SMABTP,...)

> Rôle des DDE et Préfectures (Inscription dans le DDRM et PAC, plaquettes d'information diffusées avec la délivrance des certificats d'urbanisme, réunions publiques organisées à l'attention des élus)

### > Réglementation : adoption de PPRN

#### Quelles précautions prendre pour construire sur sol argileux sensible au retrait-gonflement ?

##### 1. Identifier la nature du sol

- Dans les zones identifiées sur la carte départementale d'aléa comme potentiellement sensibles au phénomène de retrait-gonflement, il est vivement conseillé de faire procéder, par un bureau d'étude spécialisé, à une reconnaissance de sol avant construction. Une telle étude doit vérifier la nature et la géométrie des formations géologiques dans le proche sous-sol, afin d'adapter au mieux le système de fondation de la construction envisagée.
- En cas de sols argileux, des essais de laboratoire permettent d'identifier leur sensibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement.



##### 2. Adapter les fondations

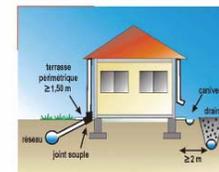
- Profondeur minimale d'ancrage 1,20 m en zone d'aléa fort et 0,80 m en zone d'aléa moyen à faible.
- Fondations continues, armées et bétonnées à pleine fouille.
- Éviter toute dissymétrie dans l'ancrage des fondations (ancrage aval au moins aussi important que l'ancrage amont, pas de sous-sol partiel).
- Préférer les sous-sols complets, les radiers ou les planchers sur vide sanitaire plutôt que les dallages sur terre-plein.

##### 3. Rigidifier la structure et désolidariser les bâtiments accolés

- Prévoir des chaînages horizontaux (haut et bas) et verticaux (poteaux d'angle) pour les murs porteurs.
- Prévoir des joints de rupture sur toute la hauteur entre bâtiments accolés fondés différemment ou exerçant des charges variables.



##### 4. Éviter les variations localisées d'humidité



- Réaliser un trottoir périmétrique anti-évaporation d'une largeur minimale de 1,50 m (terrasse ou géomembrane).
- Éloigner les eaux de ruissellement des bâtiments (caniveau) et privilégier le rejet des eaux pluviales et usées dans le réseau lorsque c'est possible (sinon prévoir une distance minimale de 15 m entre les points de rejet et les bâtiments).
- Assurer l'étanchéité des canalisations enterrées (joints souples au niveau des raccords).
- Éviter les drains à moins de 2 m d'un bâtiment ainsi que les pompages (à usage domestique) à moins de 10 m.
- Prévoir une isolation thermique en cas de chaudière en sous-sol.

##### 5. Éloigner les plantations d'arbres

- Ne pas planter d'arbre à une distance de la maison inférieure à au moins la hauteur de l'arbre adulte (ou 1,5 fois cette hauteur en cas de haie).
- A défaut, mettre en place des écrans anti-racine de profondeur minimale 2 m.
- Attendre le retour à l'équilibre hydrique avant de construire sur un terrain récemment défriché.





# BATIMAT 2009 – Conférences du Forum Qualité & Développement Durable

## Sols argileux et risque sécheresse : nouveaux outils et retour d'expérience

### Annexe

> **Projet co-financé par le Ministère de l'environnement :**

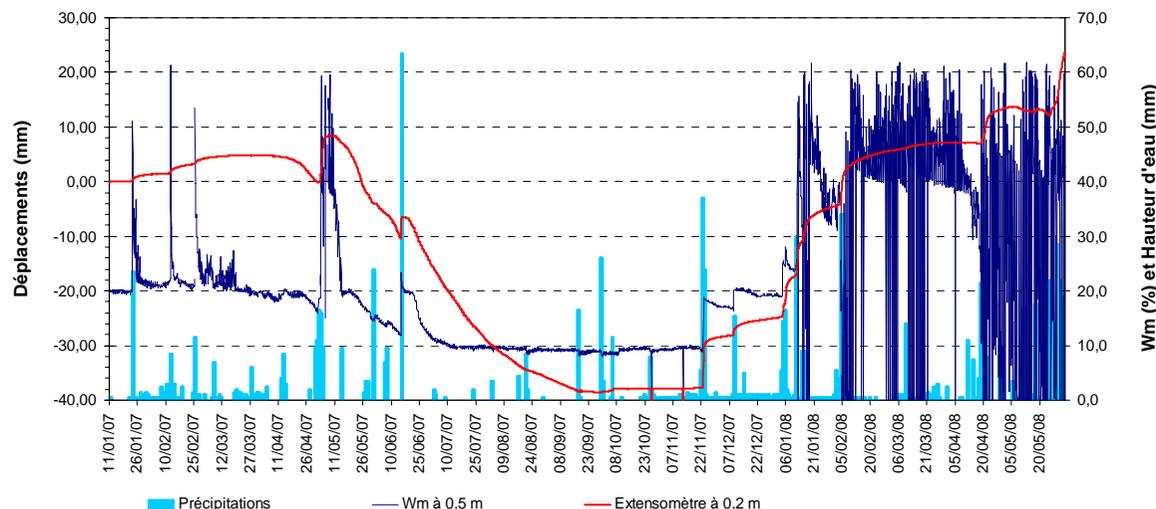
- Suivi de sites expérimentaux (2004-?)

> **Appels à projets RGCU et ANR/RGCU :**

- **Projet RGA (2004-06)** avec CSTB, LMSSMat, LAEGO et CEBTP-Solen : compléments d'instrumentation, caractérisation des sites, modélisations, analyse statistique de 994 dossiers de sinistres, rapport publié accessible
- **Projet ARGIC (2006-08)**, coordonné par le BRGM avec 13 partenaires (LCPC, INERIS, INRA, Météo-France, Fondasol, LAEGO, Centre de Géosciences, LMSSMat, CERMES, HydrASA-LEA, GHYMAC, Insavalor)

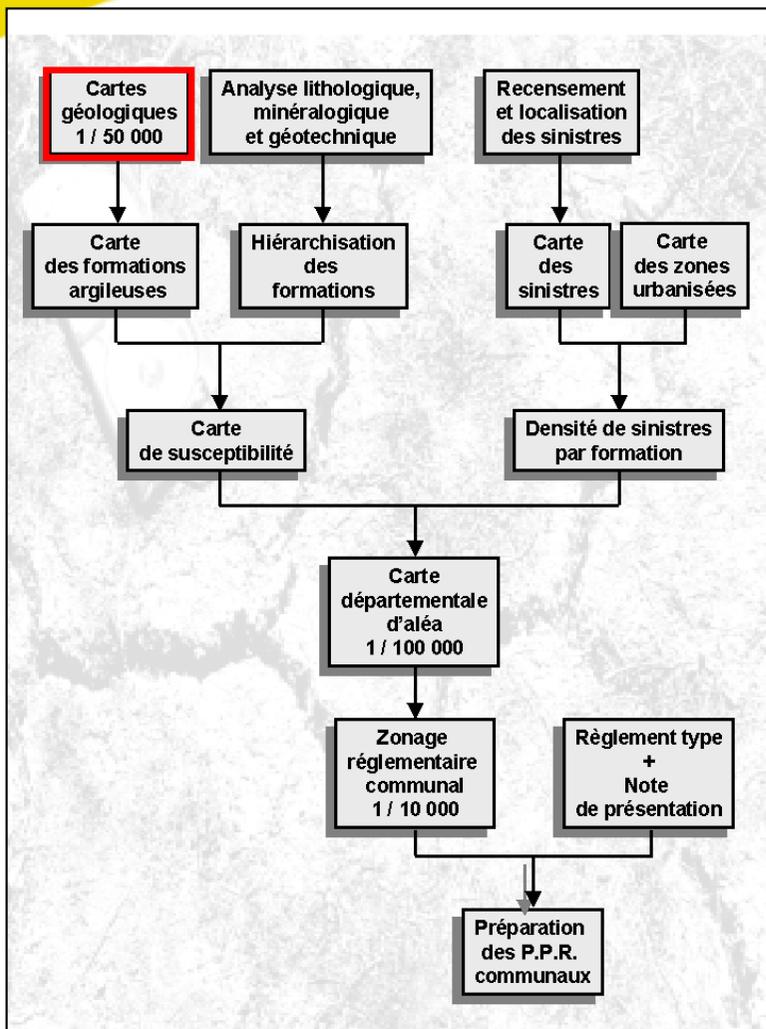
> **Autres projets en cours :**

- Thèse en cours avec université Toulouse (radiomètre)
- Intérêt de l'interférométrie radar

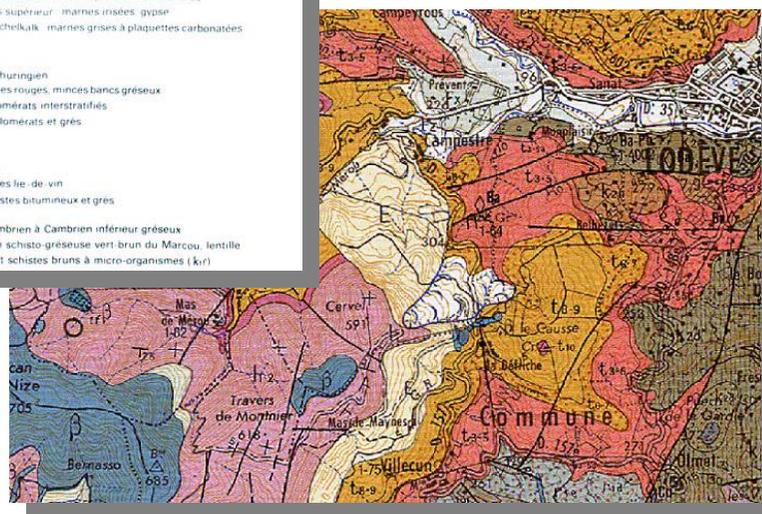
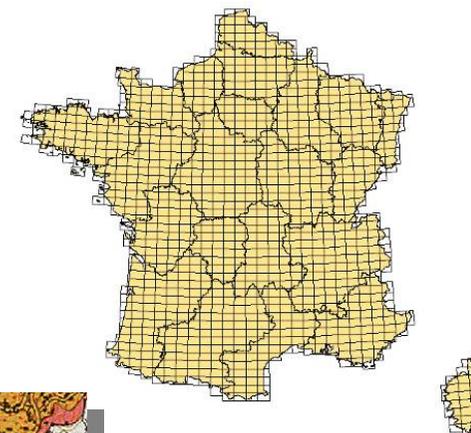


### Méthodologie

> Données de base de la méthodologie : les feuilles géologiques de la France à 1/50 000



Fx	Alluvions anciennes, haute terrasse locale
E	Eboulis (blocs avec matrice + abondante sur forte pente) 1. Cône d'éboulis
β	Coulée-basilique
l1	Hettangien supérieur - marno-calcaires dolomitiques
l2	Hettangien inférieur - dolomies saccharoïdes 1 - calcaires
Trias	
t10	Rhétien - alternances de marnes vertes, dolomies micritiques et grès
t3-9	t3-9 Muschelkalk et Trias supérieur indifférenciés t4-9 Trias supérieur - marnes noires - gypse t5-9 Muschelkalk - marnes grises à plaquettes carbonatées
P2-3	Saxono-Thuringien P2-3 - Pétales rouges, minces bancs gréseux 1 - Conglomérats interstratifiés P1 - Conglomérats et grès
P16	Autunien P16 - Pétales lie-de-vin
P14	P14 - Schistes bitumineux et grès
k	k - Précambrien à Cambrien inférieur gréseux Formation schisto-gréseuse vert brun du Marcou, lentille calcaire et schistes bruns à micro-organismes (kr)

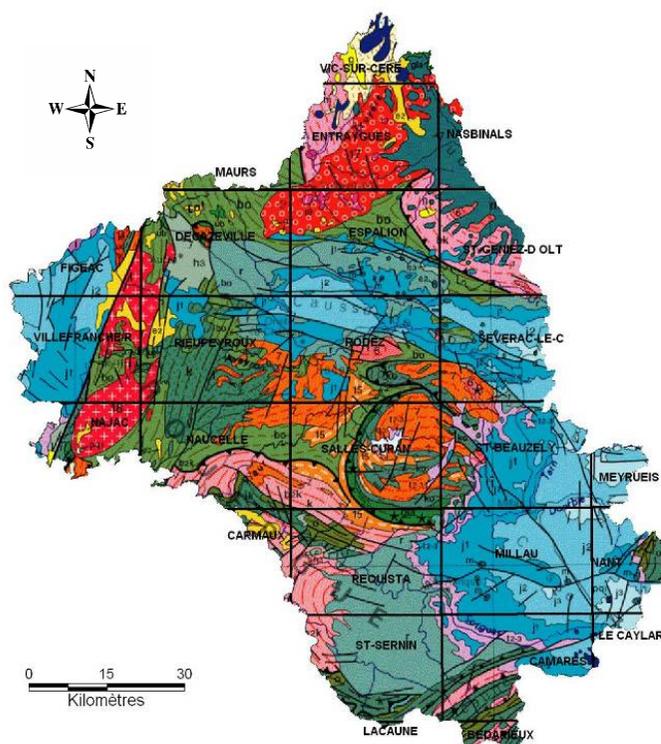
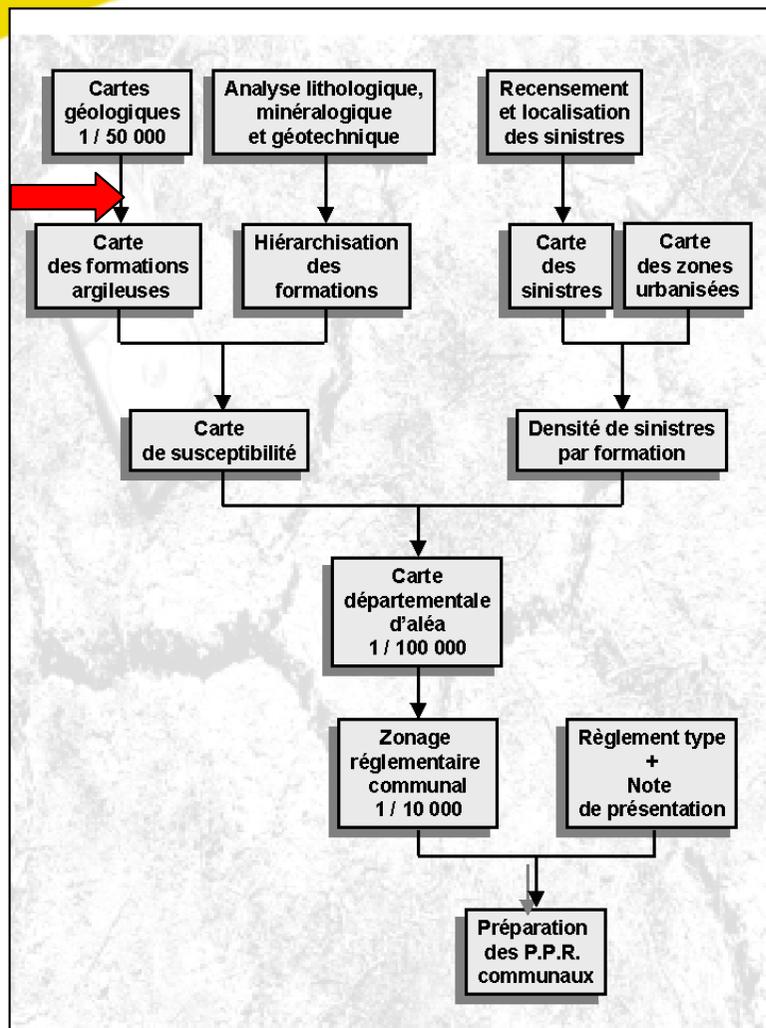


## Méthodologie

### > Harmonisation à l'échelle départementale

> Regroupement des formations du même âge à de nature lithologique identique

> Harmonisation des contours en limite de feuilles (visite de terrain, autres données)



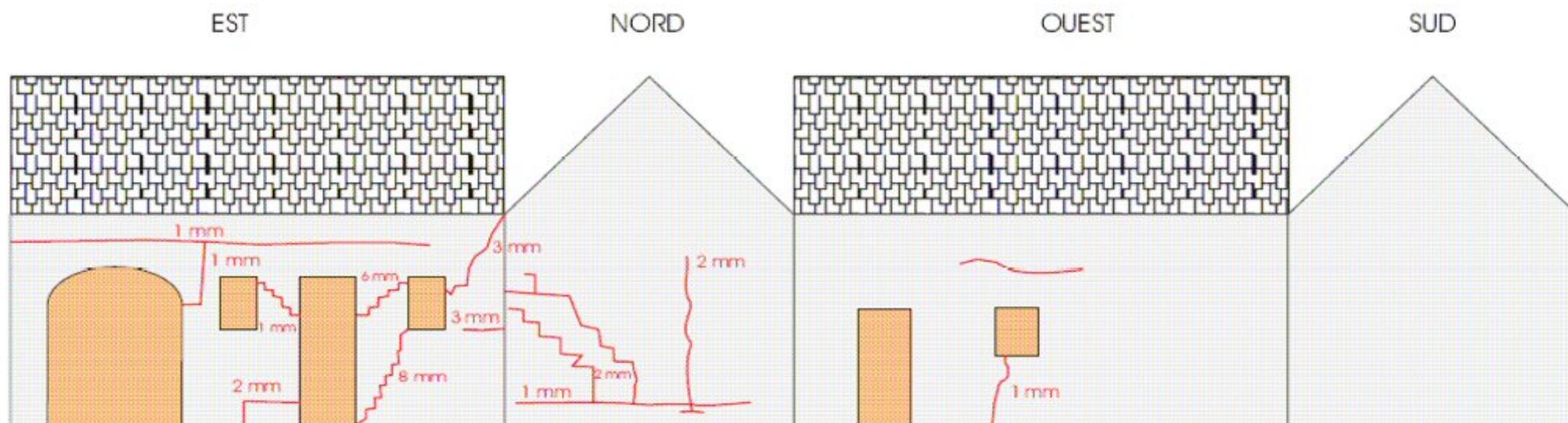
*Exemple de l'Aveyron : assemblage des 26 cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 éditées par le BRGM et couvrant le département*  
*Cartes hétérogènes : VIC-SUR-CERE (1975) et ENTRAYGUES (2007)*



**Jean-Pierre MAGNAN**

Directeur technique de la géotechnique  
du LCPC

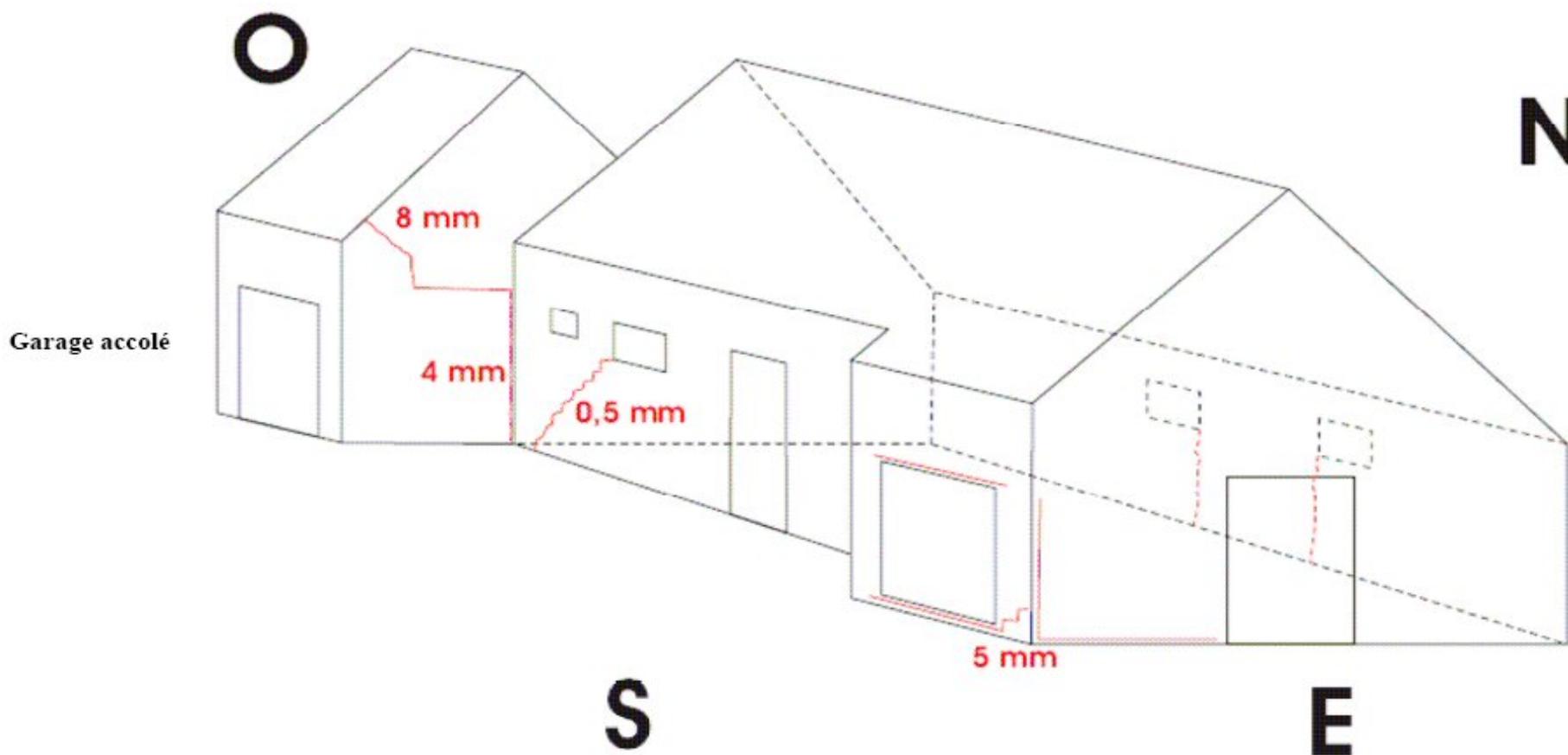
## Exemple de fissuration d'angle



+ Désordre intérieur :  
affaissement du dallage  
(angle N-E)

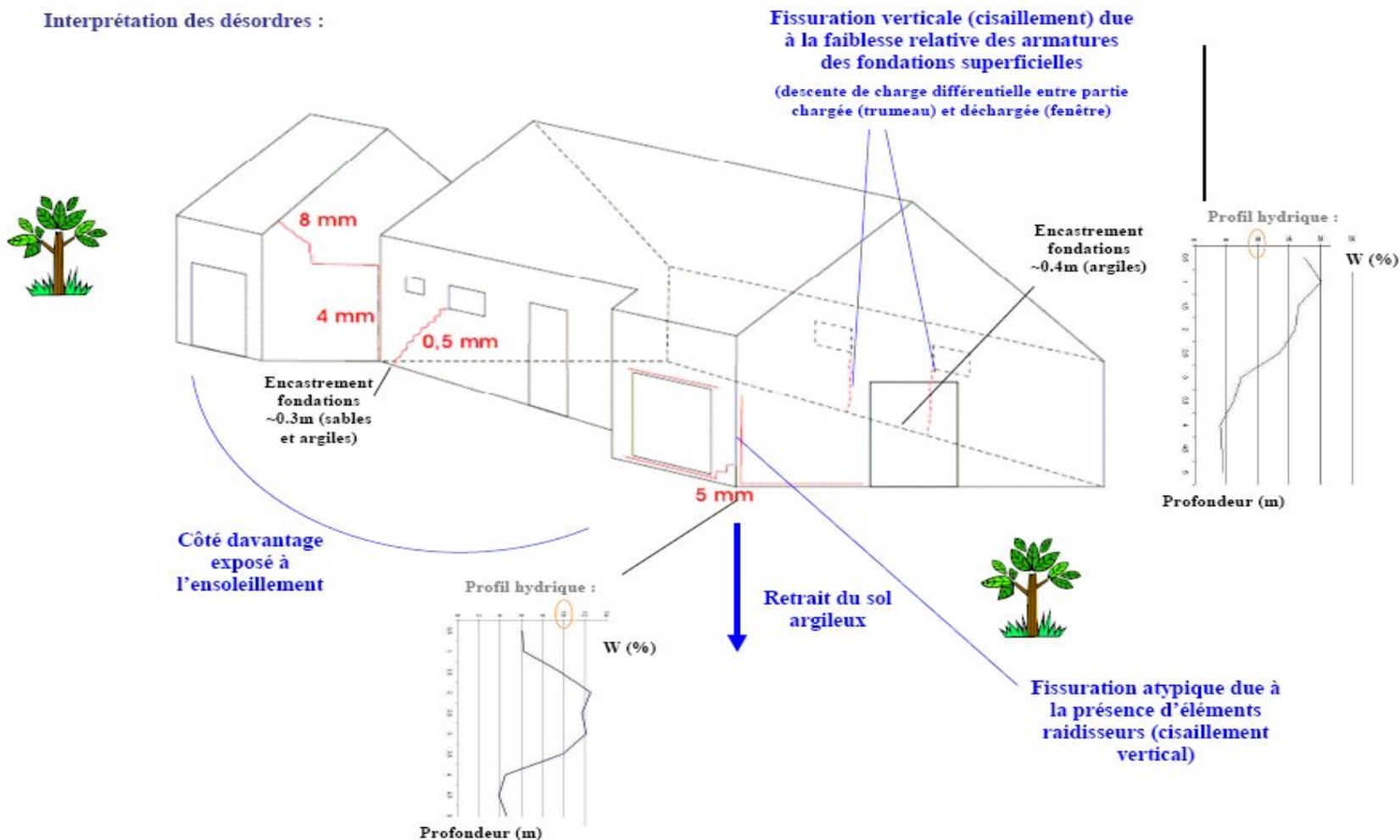


## Deuxième exemple

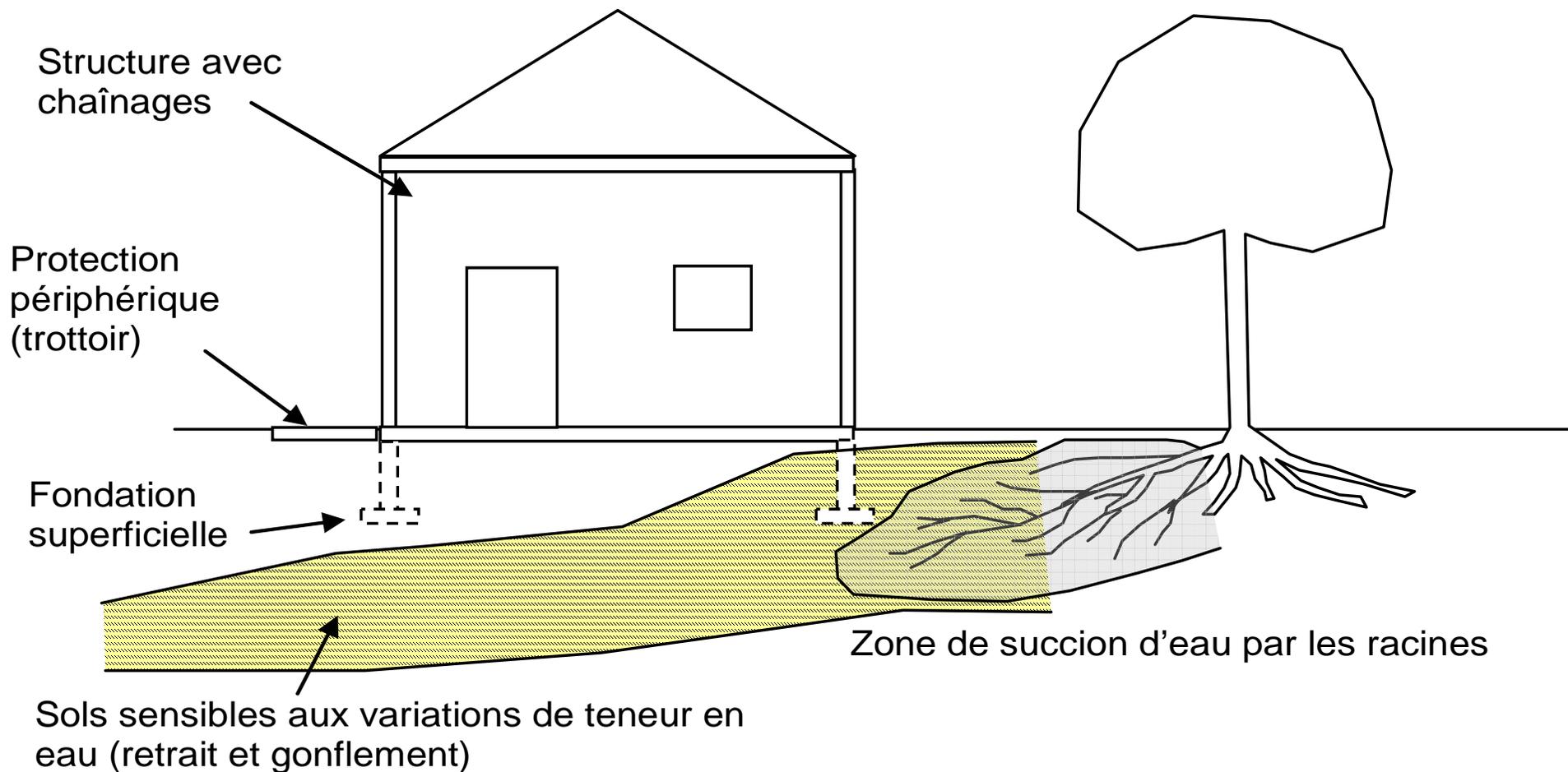


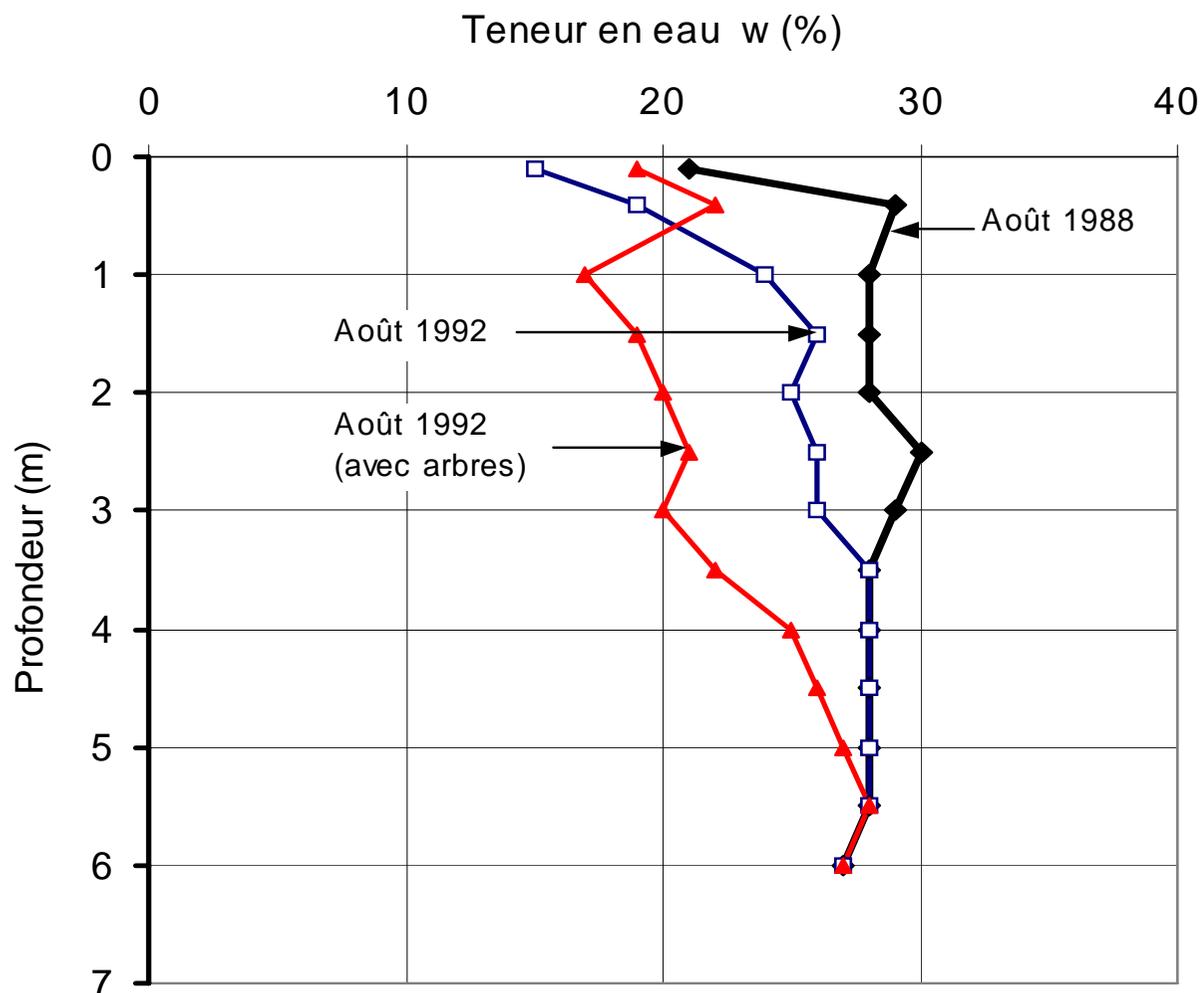
## Éléments d'analyse

Interprétation des désordres :



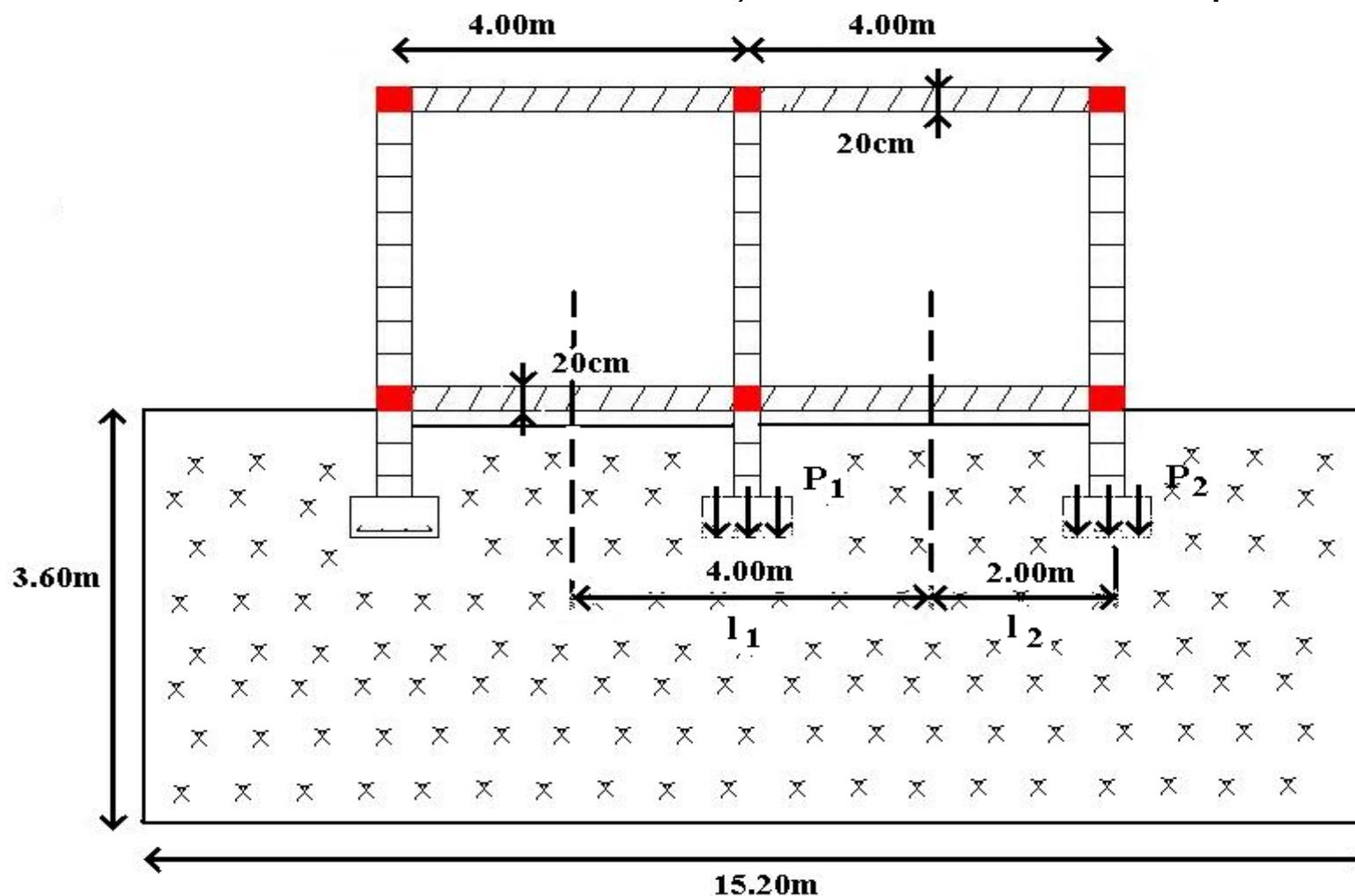
## Les facteurs des dommages de sécheresse



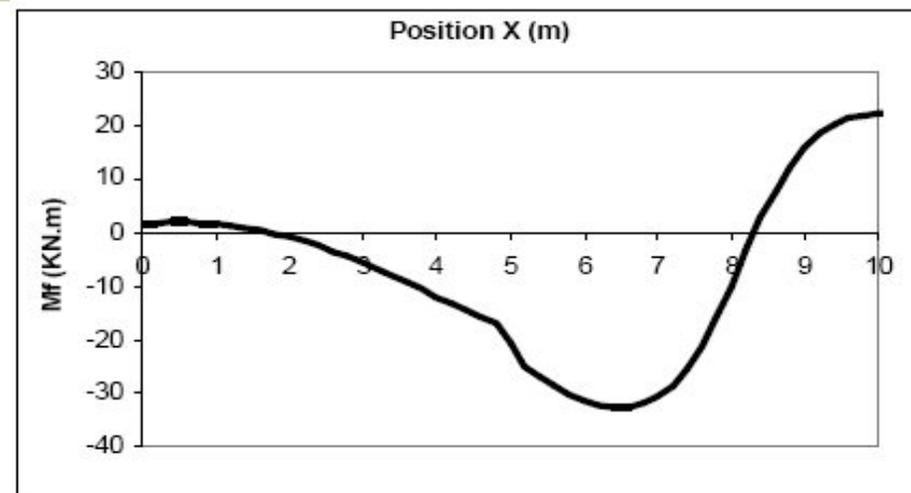
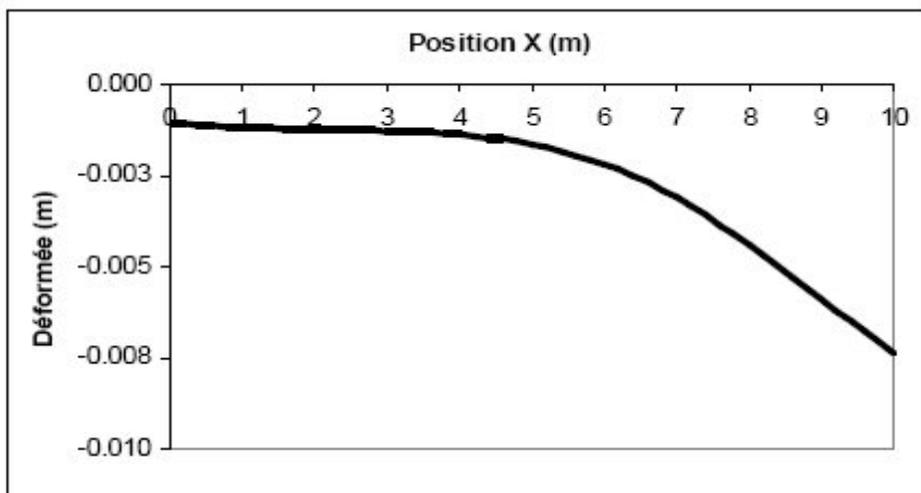
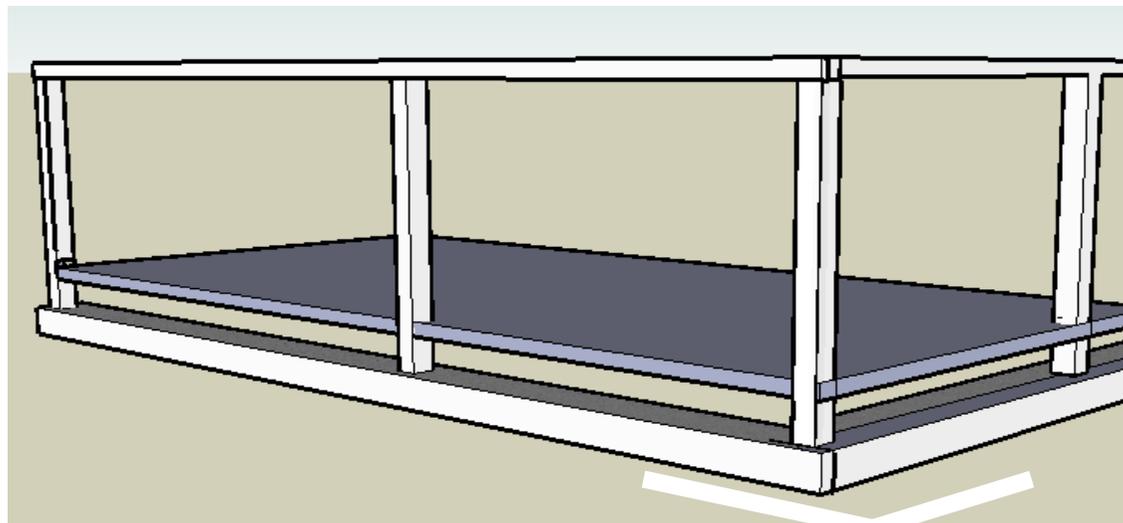


**Les variations de teneur en eau dans le sol restent limitées, mais sont plus profondes en présence d'arbres.**

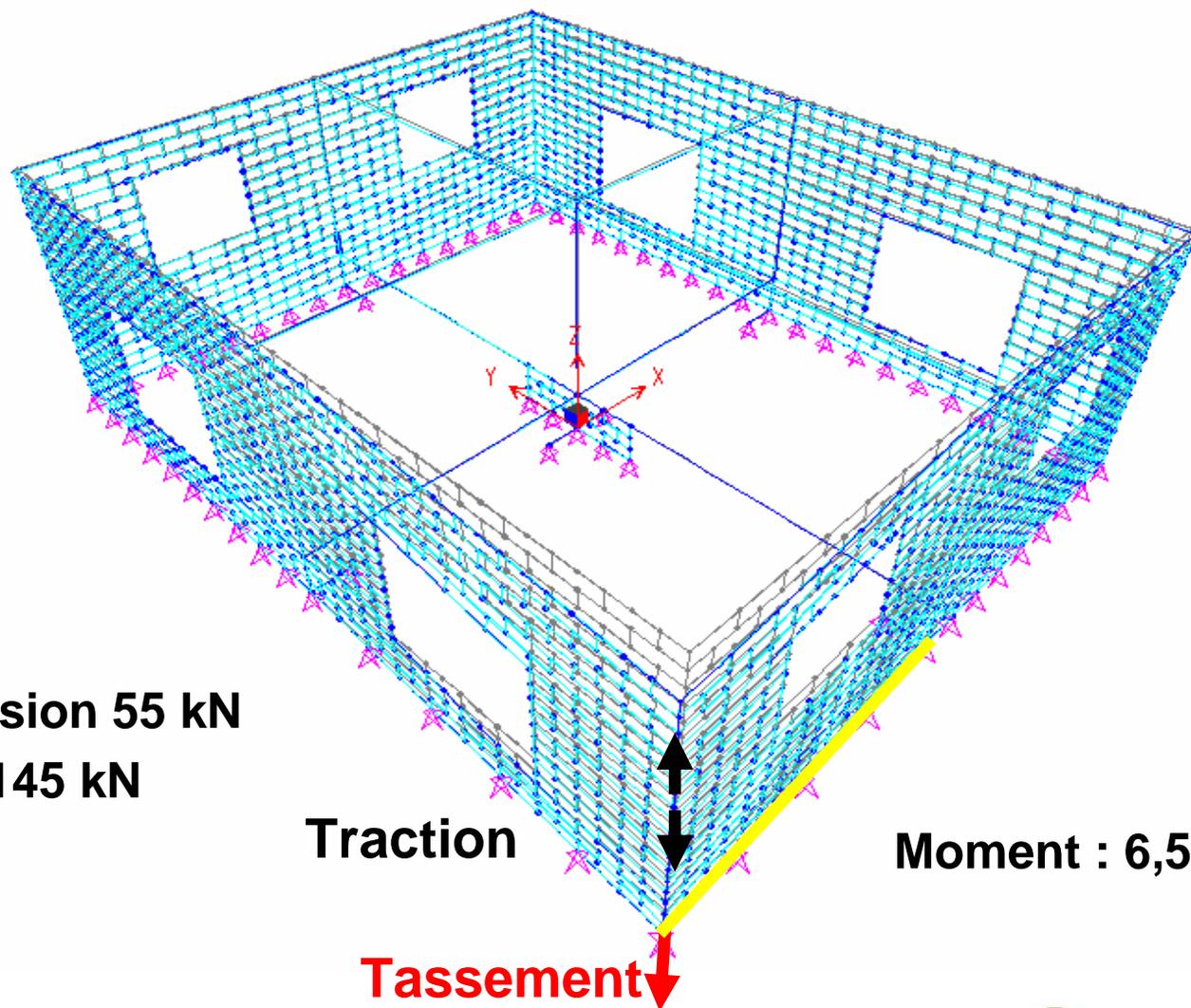
Les calculs globaux prennent en compte la structure et le sol, mais sont encore imparfaits



## Calcul de structure en poutres et dalles sur appui élastique



## Calcul de structure 3D en barres et dalles



Avant : compression 55 kN

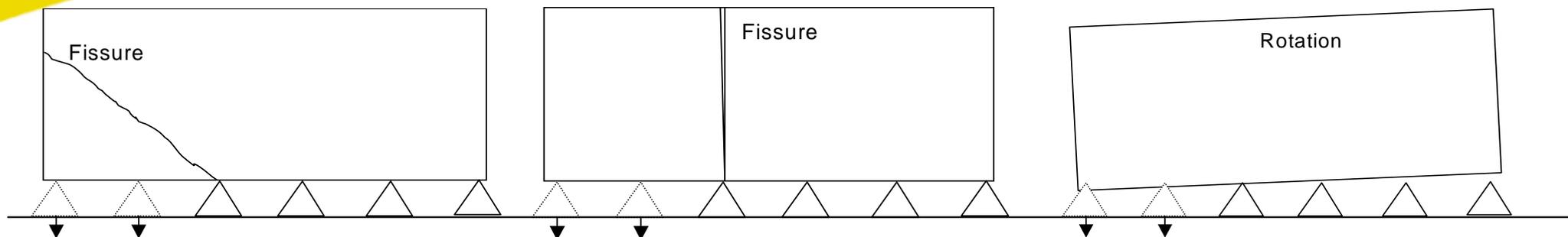
Après : tension 145 kN

Traction

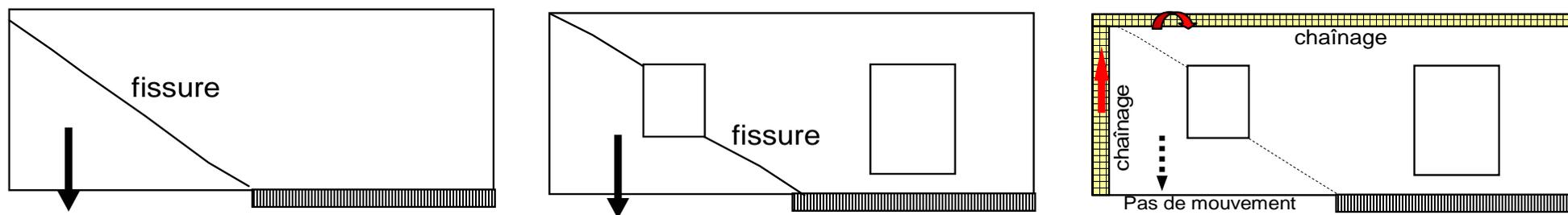
Moment : 6,5 à 70 kN.m

Tassement

## Mécanismes élémentaires

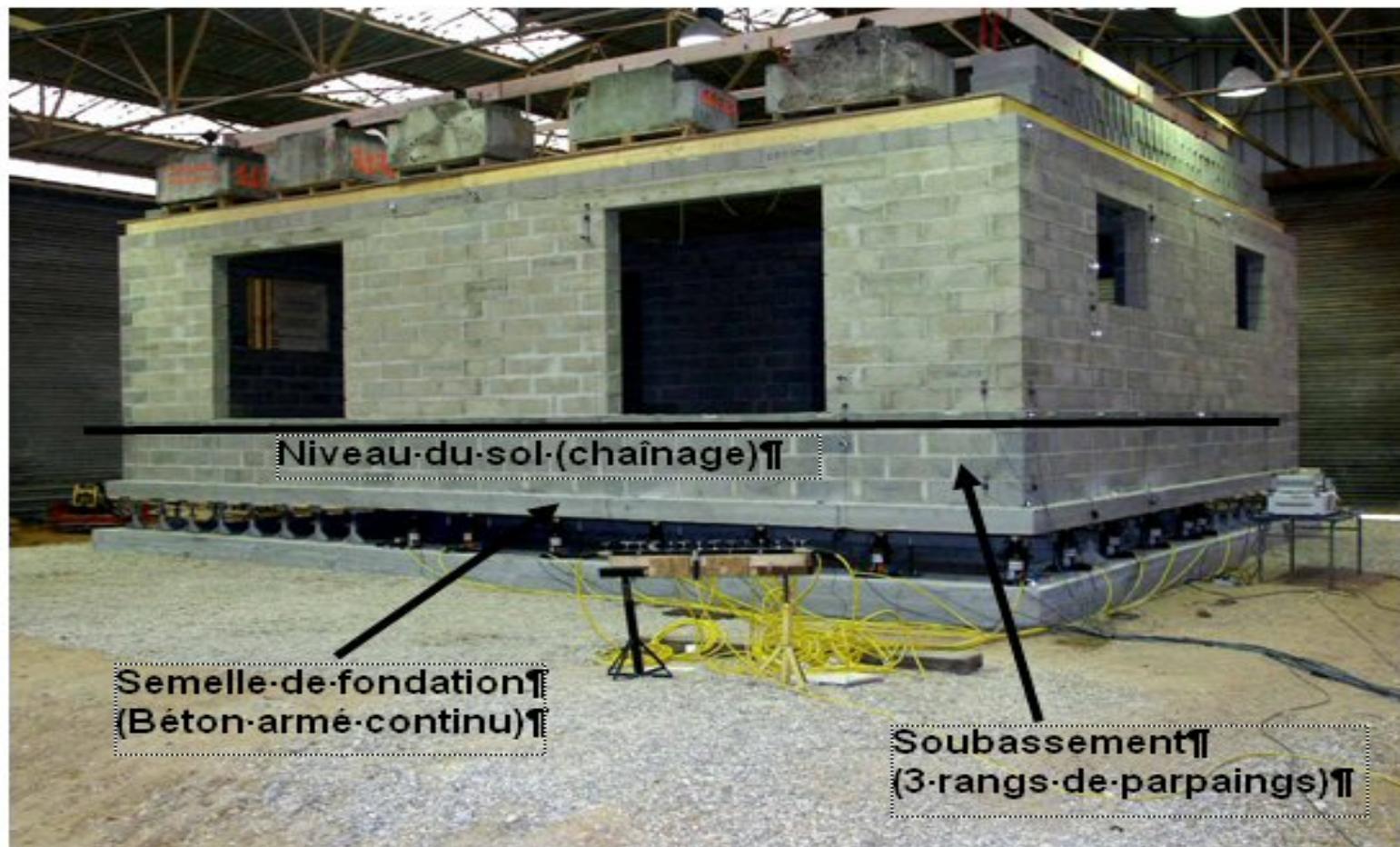


Une structure (poutre) homogène peut se casser de trois façons

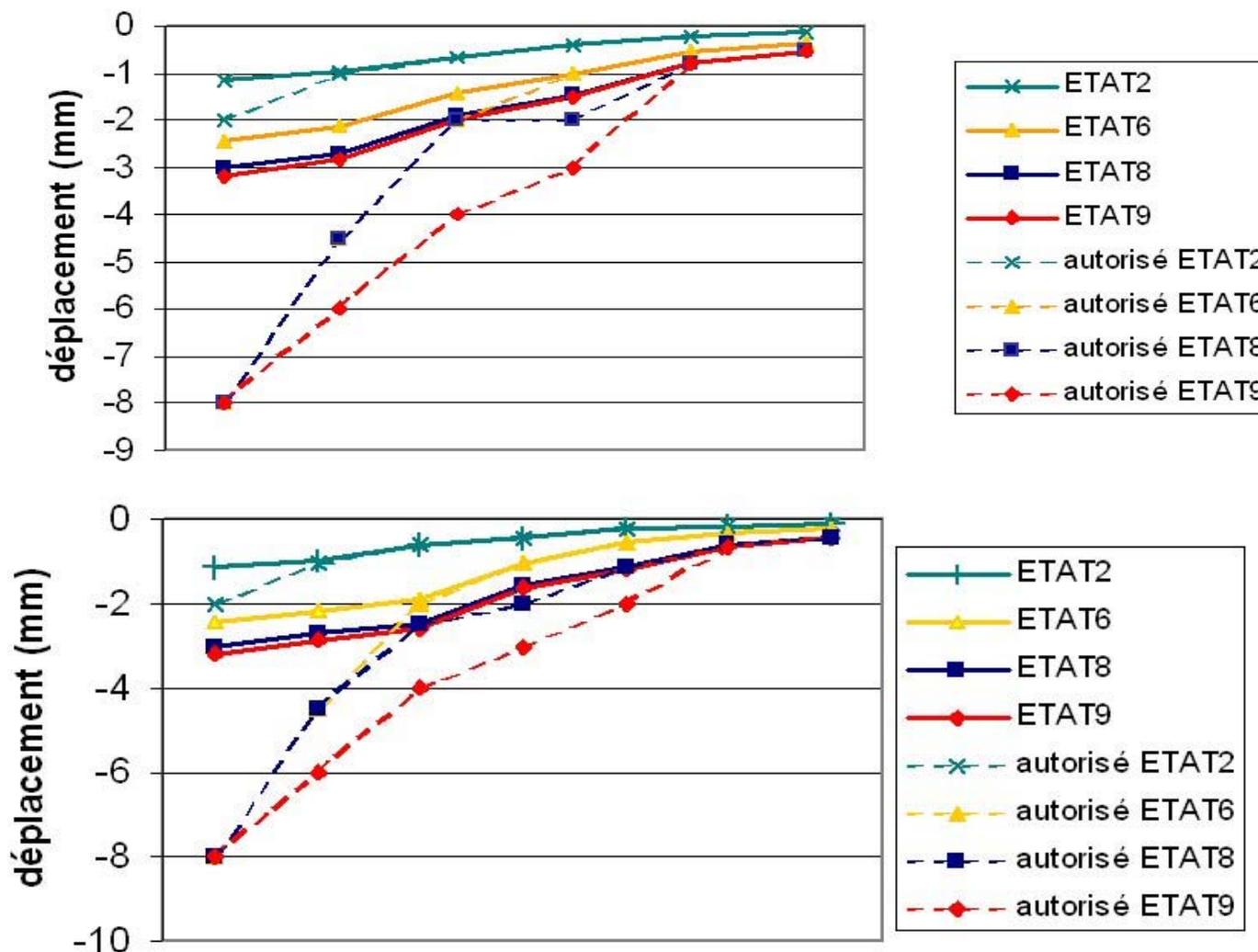


Si c'est une maison, les ouvertures et les chaînages ont une influence

## Maison expérimentale de Rouen



## Tassements de la semelle (angle)



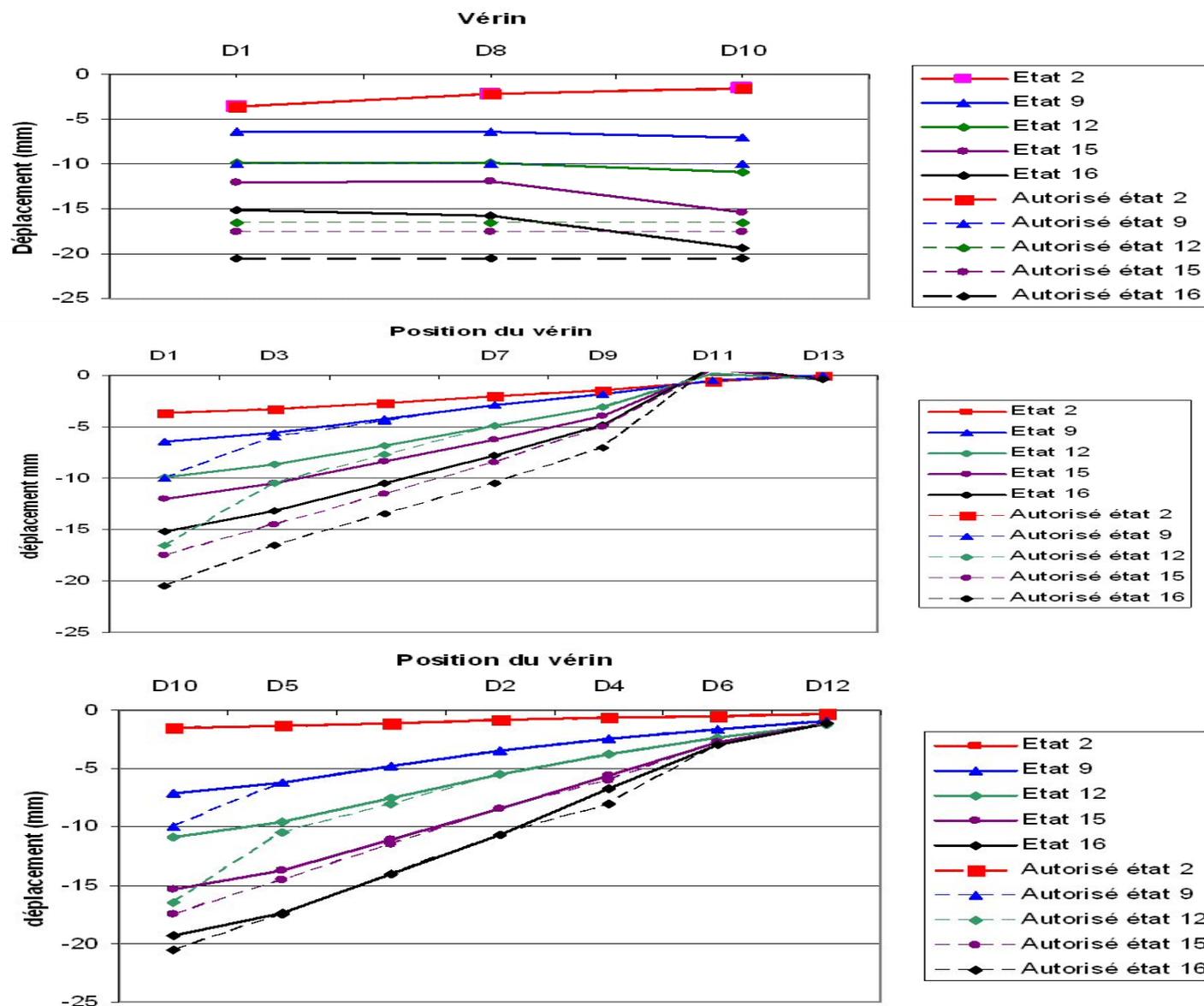


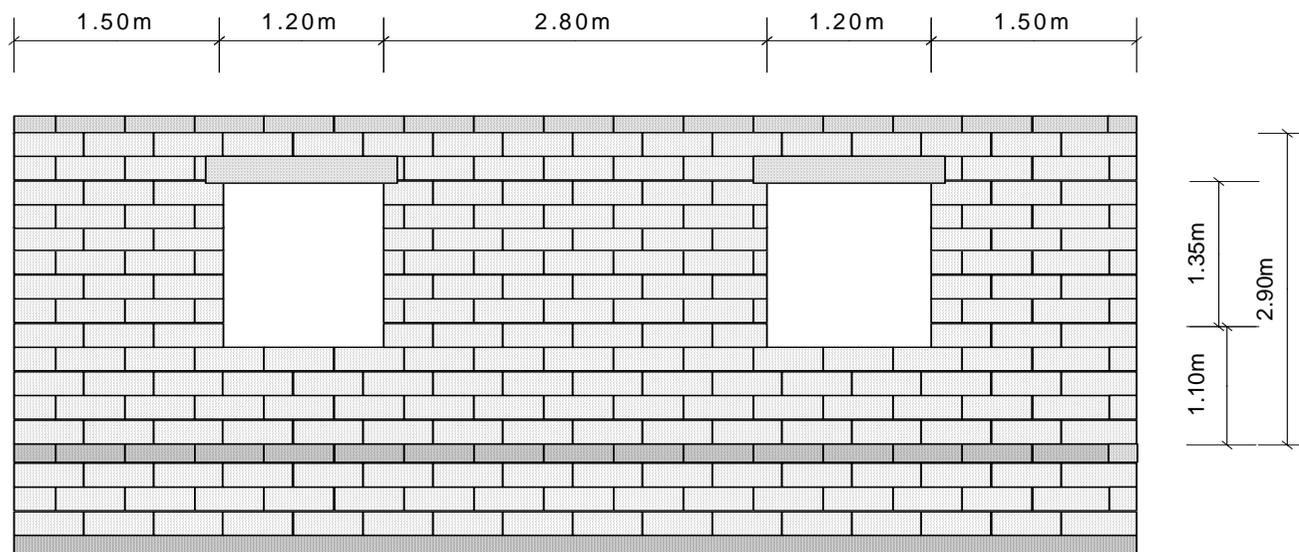
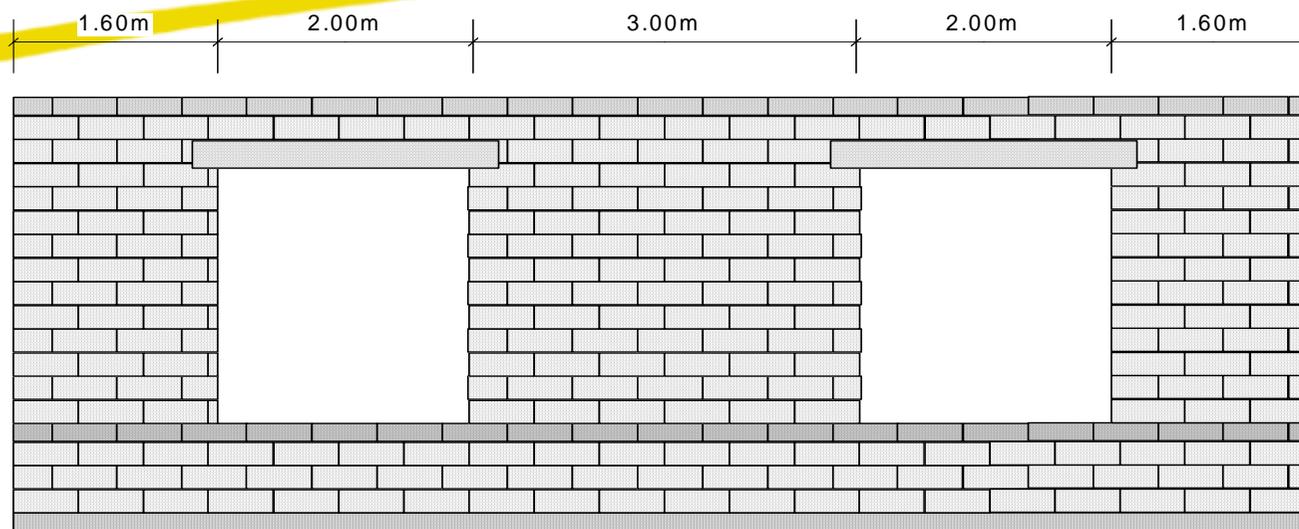
# BATIMAT 2009 – Conférences du Forum Qualité & Développement Durable

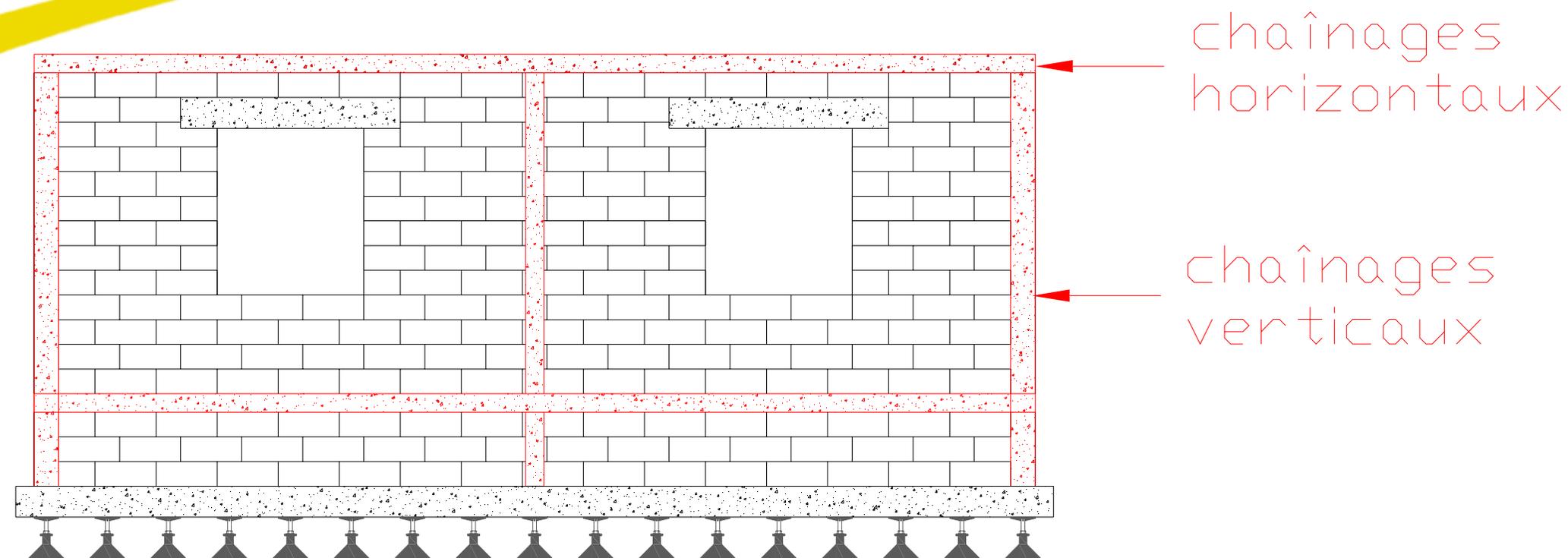
## Sols argileux et risque sécheresse : nouveaux outils et retour d'expérience

Demi-  
maison

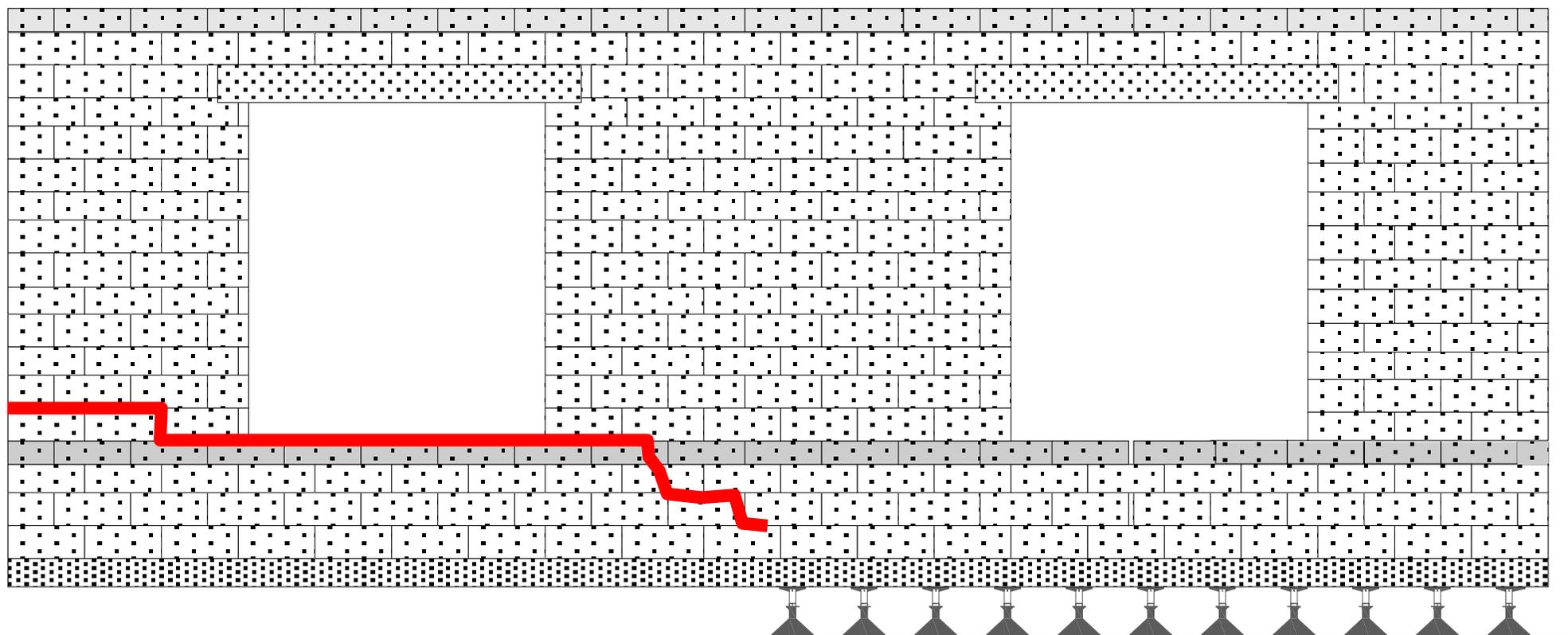
Ce côté s'est fissuré.







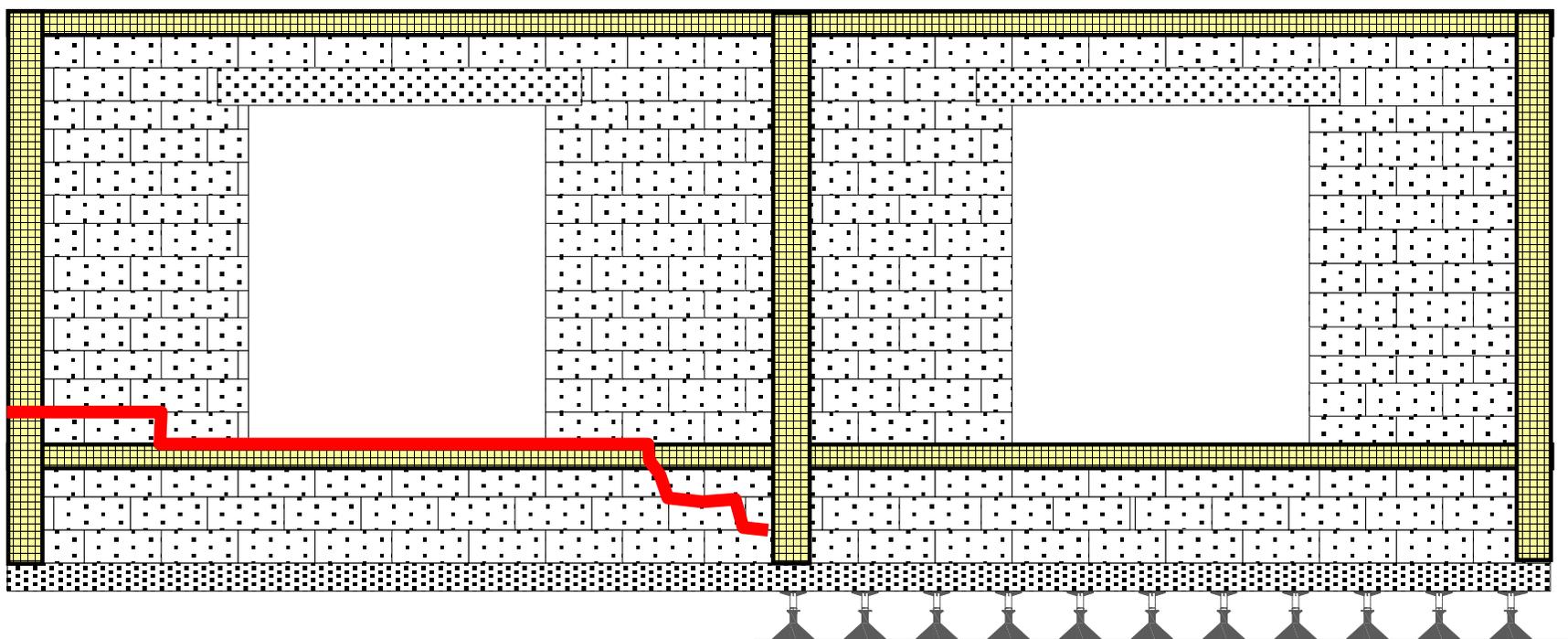
## La zone fissurée



## Fissuration et chaînages

Le chaînage vertical d'angle a empêché la fissuration jusqu'à ce qu'il cède, ouvrant la voie à ce mode de fissuration.

Traction  
excessive



Ensuite, la partie délimitée par la fissure dans le chaînage se comporte en poutre et fléchit.



## Conclusion

- Les structures de maisons sont très variées, les sols et la végétation aussi.
- Il n'y a pas d'approche unique et uniforme pour l'analyse de la fissuration des maisons.
- Chaque cas doit être analysé, comme peuvent le faire les experts des assurances.
- Mais on peut donner des indications d'ordre général sur les erreurs à éviter et sur le dimensionnement des chaînages nécessaires pour que les maisons soient rigides.
- Il semble plus facile d'intervenir sur les maisons que sur les sols pour obtenir une prévention efficace, mais il ne faut pas négliger les mesures de protection géotechnique.