

**Projet à l'indice 4 qui pourra  
être amélioré...**

**A. PICKAERT**

**18 10 2016**

**A propos du retrait et des gonflement des sols**

**Désordres liées à des argiles sensibles aux  
variations de volume**

**sécheresse – gonflement**

19 10 2016 - A.PICKAERT

# MISE EN GARDE SUR L'USAGE

- \* Le PWT ci-après, contient de nombreuses photographies et documents.
- \* L'essentiel provient de la collection personnelle, des chantiers auxquels il a participé de près ou de loin, de la bibliothèque technique de Monsieur Albert PICKAERT et pour une part d'éléments ponctuels provenant de sources prises sur INTERNET pour information. Chaque fois qu'il a été possible, l'origine du document a été citée.
- \* En conséquence, ce PWT ne doit pas être utilisé en dehors de cet usage de formation spécifique.

# Sommaire du document :

- \* 1- LE CONSTAT de quelques désordres
- \* 2 - Les causes géologiques
- \* 3- Comment s'y retrouver ? Les mesures géotechniques
- \* 4- Les conséquences sur les structures
- \* 5- Les règles de bonne adaptation au sol
- \* 6- Comment bien construire sur sol à variation de volume ?
- \* 7- Que doivent faire le sol, les fondations les structures ?
- \* 8- Les moyens de suivre les déformations
- \* 9- Comment réparer ?
- \* 10- Les principales conclusions

# Sommaire du document :

- \* **1- LE CONSTAT de quelques désordres**
- \* 2 - Les causes géologiques
- \* 3- Comment s'y retrouver? Les mesures géotechniques
- \* 4- Les conséquences sur les structures
- \* 5- Les règles de bonne adaptation au sol
- \* 6- Comment bien construire sur sol à variation de volume ?
- \* 7- Que doit faire le sol, les fondations les structures ?
- \* 8- Les moyens de suivre les déformations
- \* 9- Comment réparer ?
- \* 10- Les principales conclusions

# 1-1- sols sensibles aux variations de volume

## LE RETRAIT



# 1-2- Désordre de structure liée aux argiles

## **LE GONFLEMENT**





**1-3- Sécheresse  
des limons par  
les racines des  
arbres**

1-4-

# Retrait : Fissure d'angle

$\frac{3}{4}$  au soleil et  
un quart sous  
la maison à  
l'ombre...

Mais pas de  
chaînage ....!



# 1-5- Limon asseché et présence de racines sous la fondation



# 1-6 - Semelle dans une argile desséchée



11.05.2007

1-7



# Ouvrages simples? Adaptation sol-structure

**Coût 4,3 Md € entre 1989 et 2006**

Le sol est-il vicieux ?

Ou les ouvrages non adaptés ? **Retrait gonflement des argiles**

**Cherchez la fissure...!**



# Sommaire du document :

- \* 1- LE CONSTAT de quelques désordres
- \* 2 - Les causes géologiques
- \* 3- Comment s'y retrouver? Les mesures géotechniques
- \* 4- Les conséquences sur les structures
- \* 5- Les règles de bonne adaptation au sol
- \* 6- Comment bien construire sur sol à variation de volume ?
- \* 7- Que doit faire le sol, les fondations les structures ?
- \* 8- Les moyens de suivre les déformations
- \* 9- Comment réparer ?
- \* 10- Les principales conclusions

# 2- LES CAUSES GÉOLOGIQUES: LE GONFLEMENT LIÉ À LA DÉSORGANISATION DES ARGILES

<b>ANNALES DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS</b>	SERIE : SOLS ET FONDATIONS
N° 364 SEPTEMBRE 1978	ISSN 0020 2568 N° 159

## DÉSORDRES DUS A LA PRÉSENCE DE SOLS GONFLANTS DANS LA RÉGION PARISIENNE

par  
Gérard PHILIPPONNAT  
Chef de la Division Géotechnique du CCTP

**Année 1978**

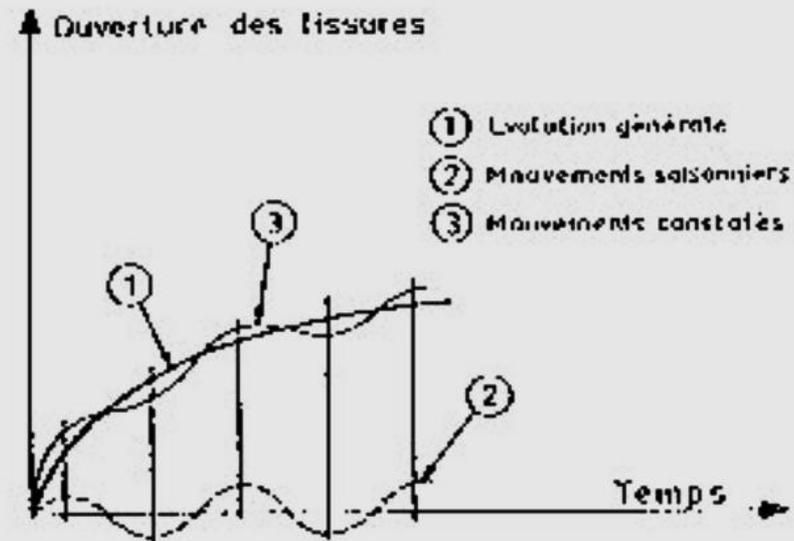


Fig. 3. -- Mouvements dus au gonflement et au retrait alternatifs du sol suivant les saisons.

## DÉSORDRES DUS A LA PRÉSENCE DE SOLS GONFLANTS DANS LA RÉGION PARISIENNE

par

Gérard PHILIPPONNAT

Chef de la Division Géotechnique du CCOTP

INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

2-1- Le gonflement et le retrait  
suivant l'épaisseur  
des molécules d'eau  
entre les feuillets argileux...

Année 1978

### 1. INTRODUCTION

Dans certains pays à climat sec, aride ou désertique, les problèmes cruciaux que pose la présence d'argile gonflante sont bien connus tant en ce qui concerne la stabilité des constructions que celle des routes.

Notre but est de montrer que, si de tels climats sont bien sûr favorables au développement de désordres dus aux sols gonflants, il n'est pas rare d'en observer

également en France et, en particulier, dans la région parisienne.

Nous verrons quelles sont les causes principales des sinistres et nous tâcherons de dégager des recommandations pour éviter des phénomènes dont les répercussions financières sont bien souvent catastrophiques pour les maîtres d'ouvrages.

### 2. DESCRIPTION GÉNÉRALE DES MOUVEMENTS DES SOLS ARGILEUX

Les désordres qui nous intéressent ici sont provoqués par des variations de volume de certains sols argileux. Ces variations, qui peuvent être soit un gonflement, soit un retrait, sont dues à une modification généralement lente de l'équilibre d'humidité du sol naturel au voisinage immédiat de la construction et particulièrement sous le niveau des fondations et sous les dallages.

Il nous semble utile de faire ici un bref rappel du comportement des sols argileux.

#### 2.1. Gonflement

Considérons d'abord les sols surconsolidés. La permanence d'une forte surconsolidation peut être due à deux causes (fig. 1) : une cimentation des grains ou une succion élevée de l'eau interstitielle.

Rappelons que la succion correspond à la pression interstitielle lorsque celle-ci est négative et qu'elle peut prendre des valeurs absolues tellement élevées qu'on l'exprime par le logarithme de la hauteur d'eau correspondante en cm (pF). Si le sol argileux est saturé, on a la relation fondamentale suivante :

$$\sigma = \sigma' + u \quad (1)$$

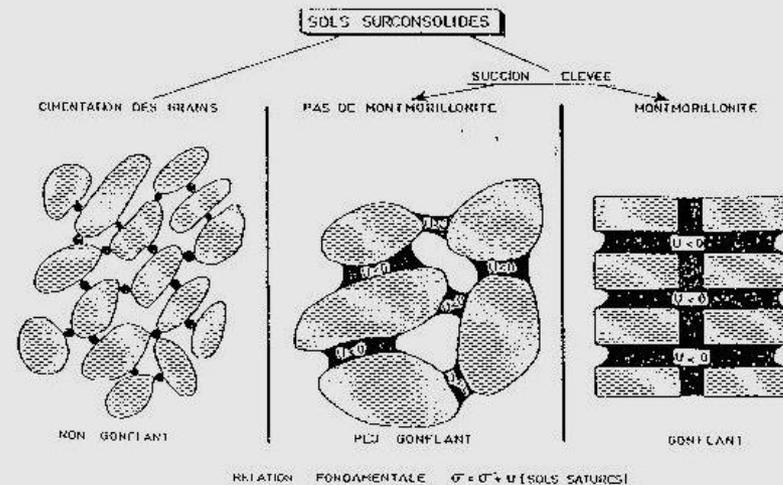
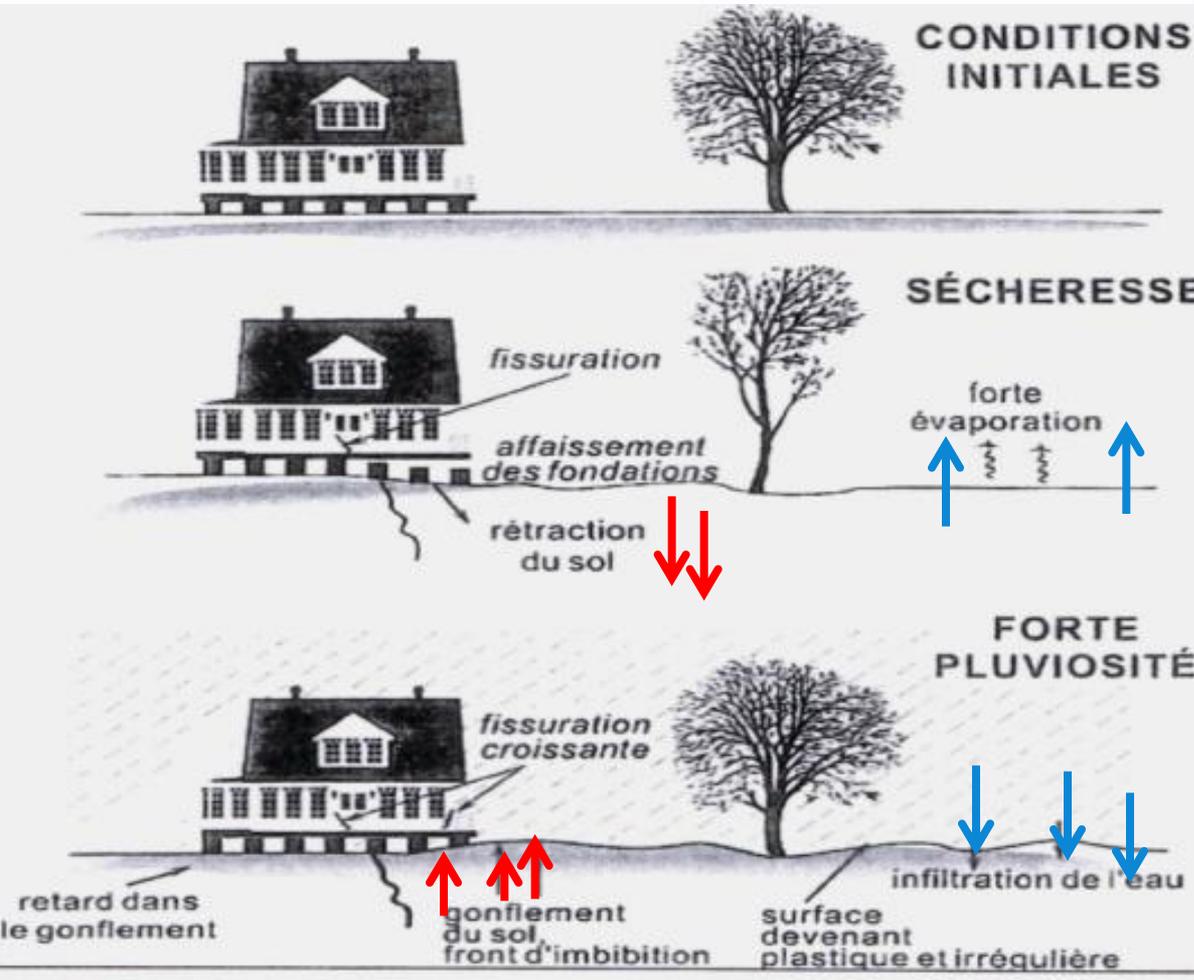


Fig. 1. — Aptitude au gonflement des sols surconsolidés.

## 2-2- Gonflement et retrait

Phénomène essentiellement dû à la variation de teneur en eau dans l'argile.



*Marne verte gonflante et desséchante*

Retrait et gonflement des argiles en fonction de leur nature et des aléas climatiques  
Extrait « Environnement Géologiques – Activités Humaines »  
H. Chamley, Vuibert (2002)

**Année 2002**



## Aléa Retrait-Gonflement des sols argileux

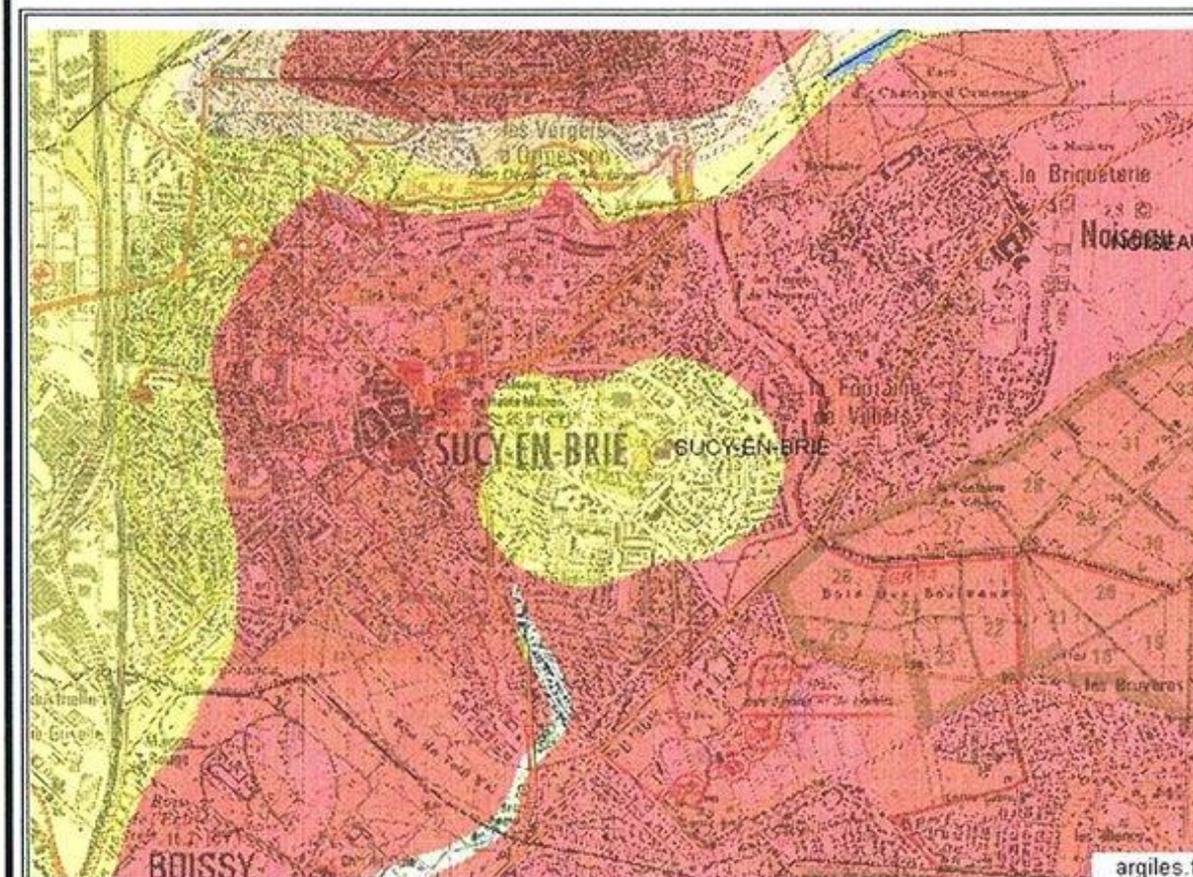
### Carte d'Aléa Retrait-Gonflement

Page d'accueil

Présentation

Carte d'aléa

Télécharger



Zoom : 4 km

Coeff. de zoom : 2 X

Pour agrandir la carte, **cliquez sur la loupe**, corrigez éventuellement le coefficient de zoom proposé, puis **cliquez sur la carte**.

#### Légende

(les données sont visibles dans une fenêtre inférieure à 250 km)

#### Aléa retrait gonflement :

-  Non réalisé
-  Aléa faible
-  Aléa moyen
-  Aléa fort

#### Couche de fond apparente :

Fonds scannés 1/25000 IGN

Départements Fond MapInfo

# Sommaire du document :

- \* 1- LE CONSTAT de quelques désordres
- \* 2 - Les causes géologiques
- \* 3- Comment s'y retrouver ? les mesures géotechniques
- \* 4- les conséquences sur les structures
- \* 5- Les règles de bonne adaptation au sol
- \* 6- Comment bien construire sur sol à variation de volume ?
- \* 7- Que doit faire le sol, les fondations les structures ?
- \* 8- Les moyens de suivre les déformations
- \* 9- Comment réparer ?
- \* 10- Les principales conclusions

# 3-1- Rappel du critère de COULOMB dans le sol

## Angle de frottement interne

Pour un sable c'est la pente naturelle du talus au delà de laquelle le sable glisse sur lui-même.

Cet angle est en général de 30 à 40°. Lorsque les grains sont lubrifiés par la présence d'argile, l'angle de talus diminue.

## COHESION D'UN SOL

La cohésion d'un sol est due au fait que les grains sont reliés entre eux par de minces couches d'eau qui exercent des forces de capillarité d'autant plus importantes que les grains sont rapprochés (terrain granulaire).

Ces forces capillaires agissent le long des surfaces qui séparent l'eau de l'air où se forment des membranes tendues. Pour que la cohésion capillaire puisse se produire, il faut qu'il y ait à la fois de l'air et de l'eau. Lorsqu'un sol est noyé, la cohésion diminue dans les sables mais se conserve pour l'argile.

La meilleure image de la cohésion est donnée par la raideur d'un paquet de café sous-vide. L'enveloppe subit la pression de type hydrostatique de l'air ( 1 bar = 10 tonnes/m<sup>2</sup>). Le paquet est alors rigide. Il devient maléable lorsque la pression atmosphérique y est réintroduite.

## Le critère de Coulomb

Soit (N) la contrainte perpendiculaire à une surface sur laquelle on souhaite connaître le cisaillement maximal.

Soit (C) la cohésion par unité de surface.

Soit ( $\varphi$ ) l'angle de frottement interne.

Soit ( $\tau$ ) la contrainte de cisaillement recherchée sur la surface unitaire.

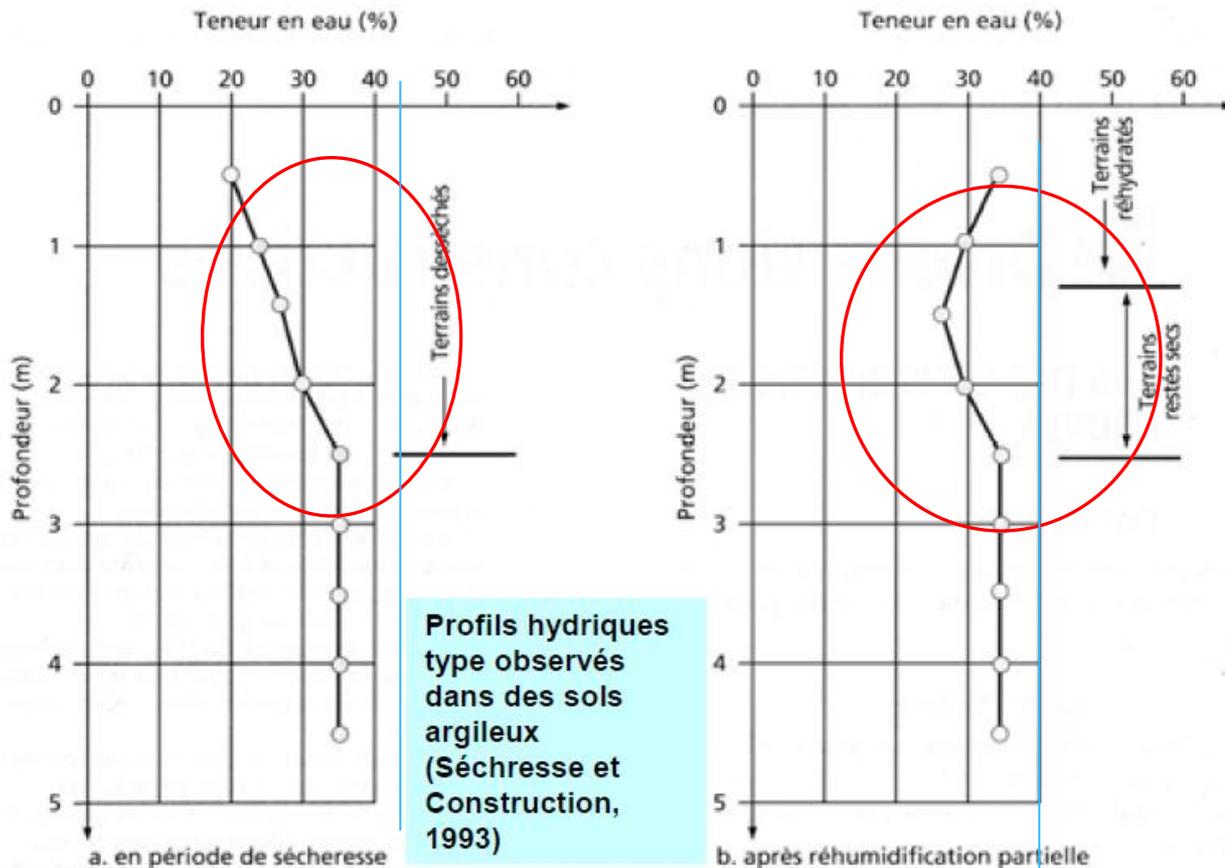
On a alors :

$$\tau = N \cdot \text{tg}(\varphi) + C$$



## Quelques éléments issus de la bibliographie : mesures hydriques in situ

.. Les variations saisonnières de teneurs en eau sont très diverses (selon lithologie, profondeur, végétation et conditions climatiques) mais peuvent atteindre 50 à 100 % en présence d'arbres (ex :  $w = 15$  à  $20$  % en été et  $30-35$  % en hiver en surface)



.. Mise en évidence d'effets cumulatifs inter-annuels avec maintien en profondeur de zones durablement desséchées qui ne se réhumidifient pas en hiver

## Le diagnostic des désordres

En alternance saisonnière normale, les variations de teneur en eau de sols dits gonflants (argiles à prédominance de montmorillonite) perturbent son équilibre hydrique sur moins d'un mètre de profondeur.

En revanche, une sécheresse prolongée, telle que celle enregistrée en 1989/1990 par exemple, entraîne une forte évaporation d'eau entre la surface et le banc argileux sur une profondeur de 2 à 4 m. Ce phénomène provoque une importante diminution du volume du sol argileux, ce qui se traduit par un retrait pouvant atteindre une dizaine de centimètres.

Ces mouvements du sol ne sont pas uniformes sous les bâtiments car ceux-ci forment un écran contre l'évaporation. Des efforts différentiels importants apparaissent donc entre le centre du pavillon et sa périphérie, d'où l'apparition de fissures ou de lézardes.

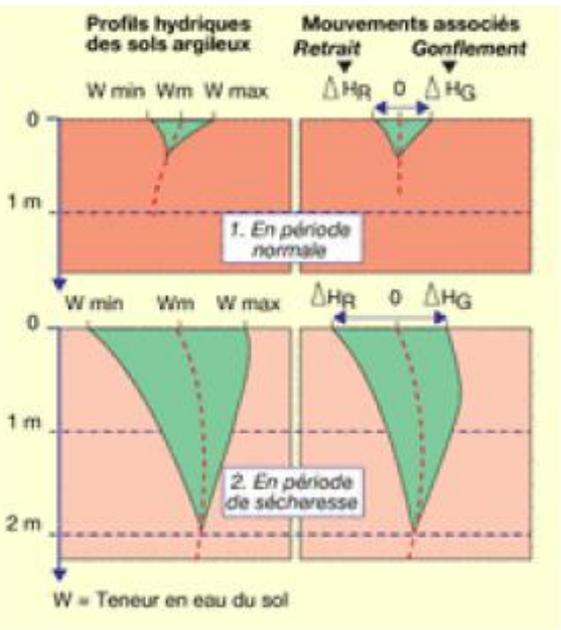
Ce processus peut être localement aggravé par la présence, à proximité du pavillon, de certaines végétations dont les besoins en eau sont importants : chênes, peupliers, frênes,...

La nature même des argiles concernées peut donner naissance, lors d'une période ultérieure très pluvieuse, à un phénomène opposé de gonflement qui tend à refermer les fissures.

Les pavillons implantés sur ce type d'argile à prédominance de montmorillonite sont habituellement soumis à des cycles de retrait et de gonflement, notamment au niveau des parties les plus directement exposées, situées en périphérie. Si la partie centrale du pavillon peut apparaître plus stable à court terme, elle pourra subir à plus long terme les effets d'un gonflement progressif de grande amplitude.

Celui-ci peut être dû à un apport continu d'eau en période pluvieuse sous l'effet de remontées de nappes phréatiques, par exemple, suivi de l'impossibilité d'évacuer cet excès d'eau en saison plus sèche.

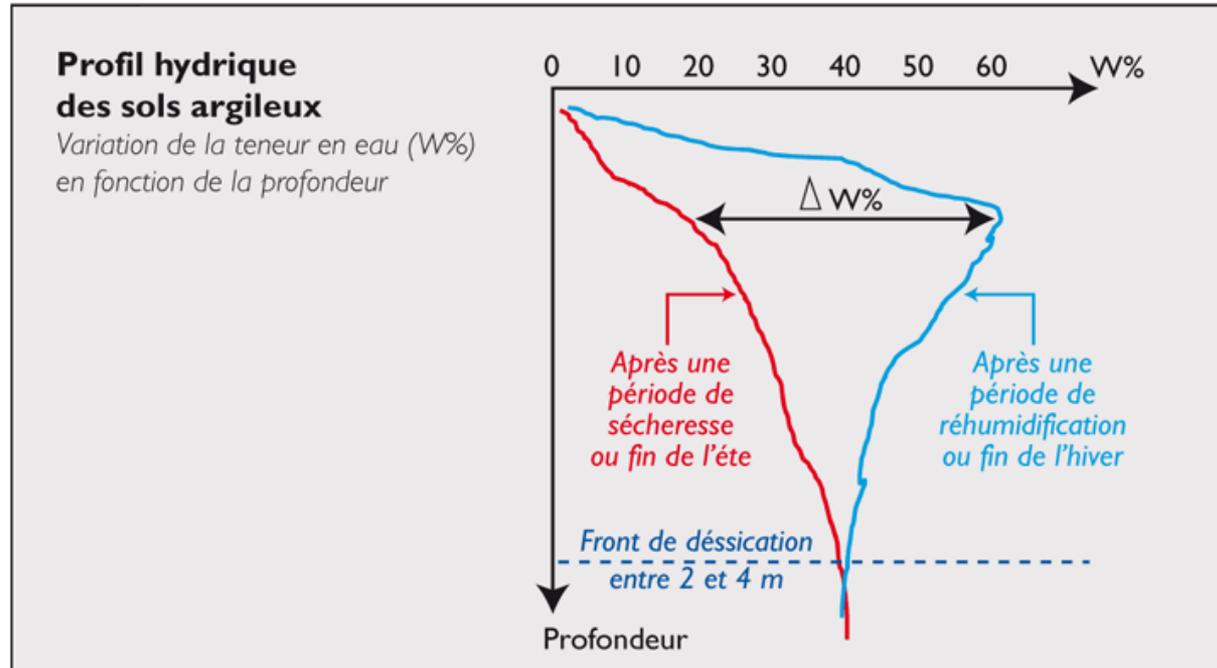
# Donc analyse de laboratoire...



## Le diagnostic

En alternance saisonnière normale, les variations de teneur en eau perturbent l'équilibre hydrique sur moins d'un mètre de profondeur des sols dits gonflants (argiles à prédominance de montmorillonite).

De même, une sécheresse prolongée peut entraîner une forte évaporation d'eau entre la surface et le banc argileux sur une profondeur de 2 à 4 m (voir schéma). Ce phénomène provoque une importante diminution du volume du sol argileux, ce qui se traduit par un retrait pouvant atteindre une dizaine de centimètres.



Ces mouvements du sol ne sont pas uniformes sous les bâtiments car ceux-ci forment un écran contre l'évaporation. Des efforts différentiels importants apparaissent donc entre le centre du pavillon et sa périphérie, d'où l'apparition de fissures ou de lézardes.

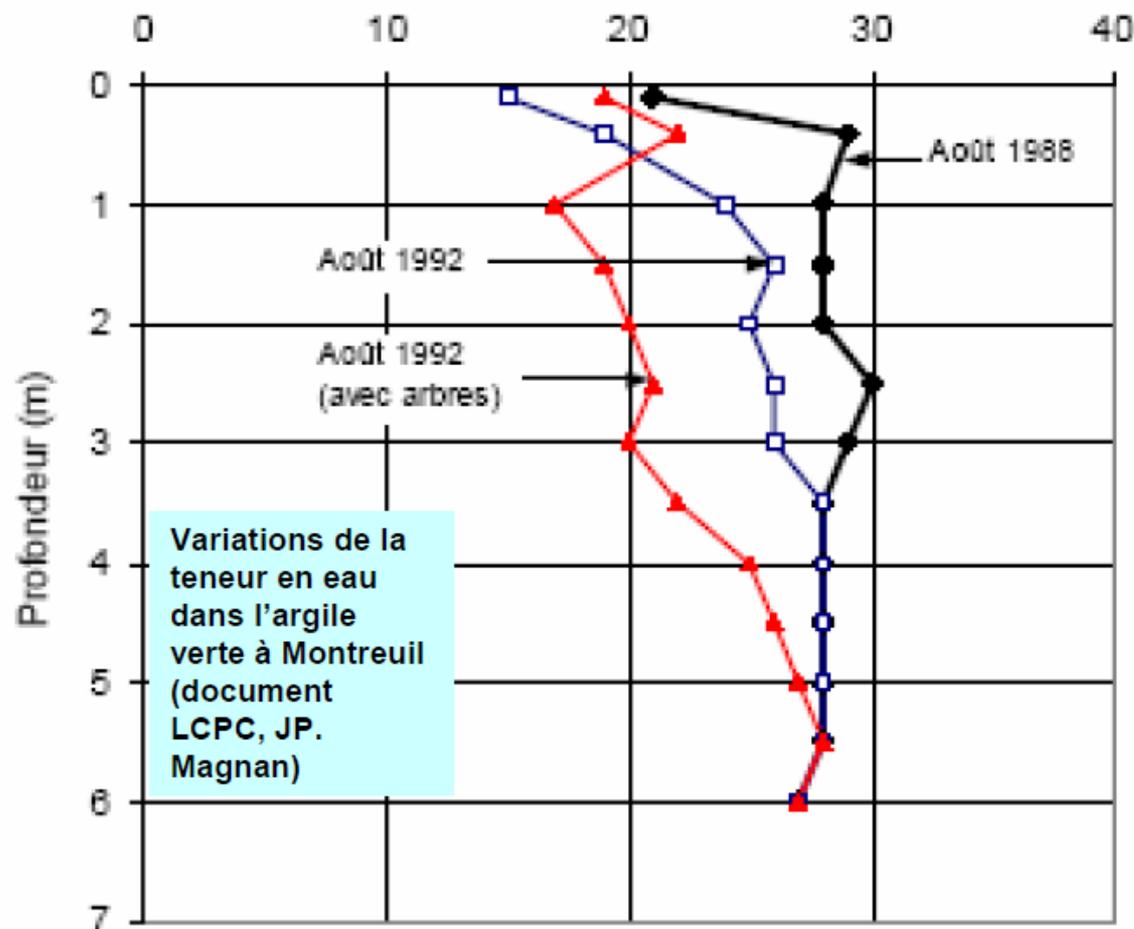
Ce processus est aggravé par la présence, à proximité du pavillon, de certaines végétations dont les besoins en eau sont importants : chênes, peupliers, frênes, saules ...

La nature même des argiles concernées peut donner naissance, lors d'une période ultérieure très pluvieuse, à un phénomène opposé de gonflement qui tend à refermer les fissures.

Les pavillons implantés sur ce type d'argile à prédominance de montmorillonite sont habituellement soumis à des cycles de retrait et de gonflement, notamment au niveau des parties les plus directement exposées, situées en périphérie. Si la partie centrale du pavillon peut apparaître plus stable à court terme, elle pourra subir à plus long terme les effets d'un gonflement progressif de grande amplitude.

# 3-5-

Teneur en eau  $w$  (%)



Variations de la teneur en eau dans l'argile verte à Montreuil (document LCPC, JP. Magnan)

## Le rôle aggravant de la végétation

- > La profondeur de dessiccation ne dépasse pas 1 m à 1,50 m sous végétation herbeuse mais atteint 2 à 8 m en présence d'arbres (2,5 à 4 m en moyenne)
- > L'influence des arbres (variations saisonnières de  $w$ ) est sensible jusque vers 3 m de profondeur en période normale et 4 ou 5 m en période sèche.

- > Le rayon d'influence des arbres varie selon les espèces et le sol : il atteint généralement 0,4 à 1 fois la hauteur de l'arbre mais 1 à 1,5 fois dans certains cas, en direction préférentielle des zones plus humides (sous les bâtiments)

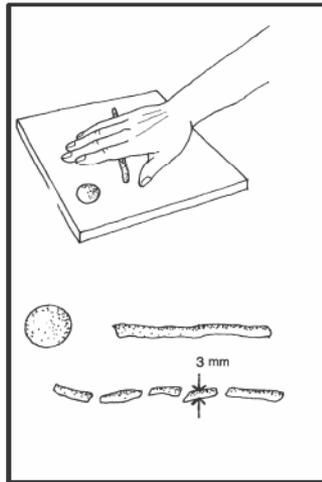
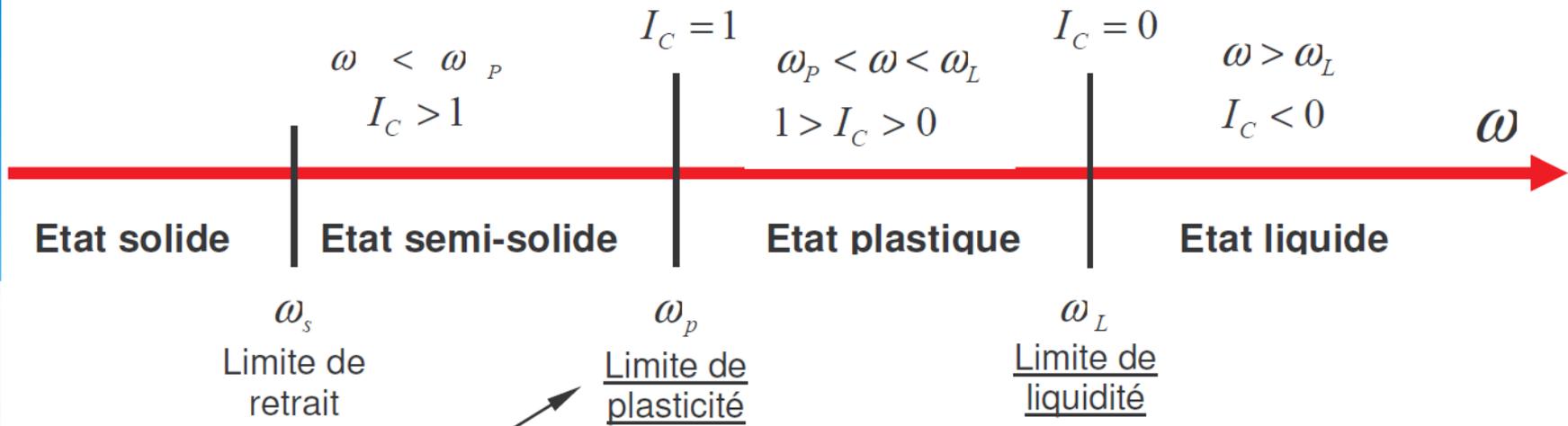
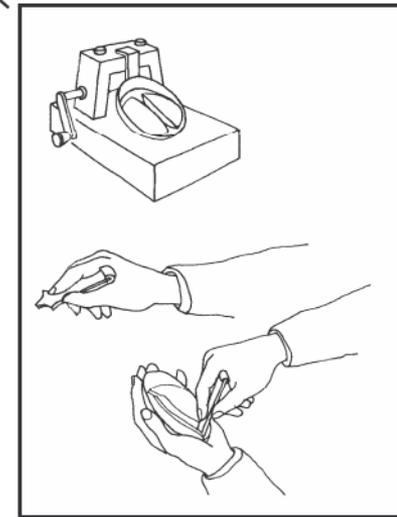


Fig. 2.4 : Etats de consistance d'un sol

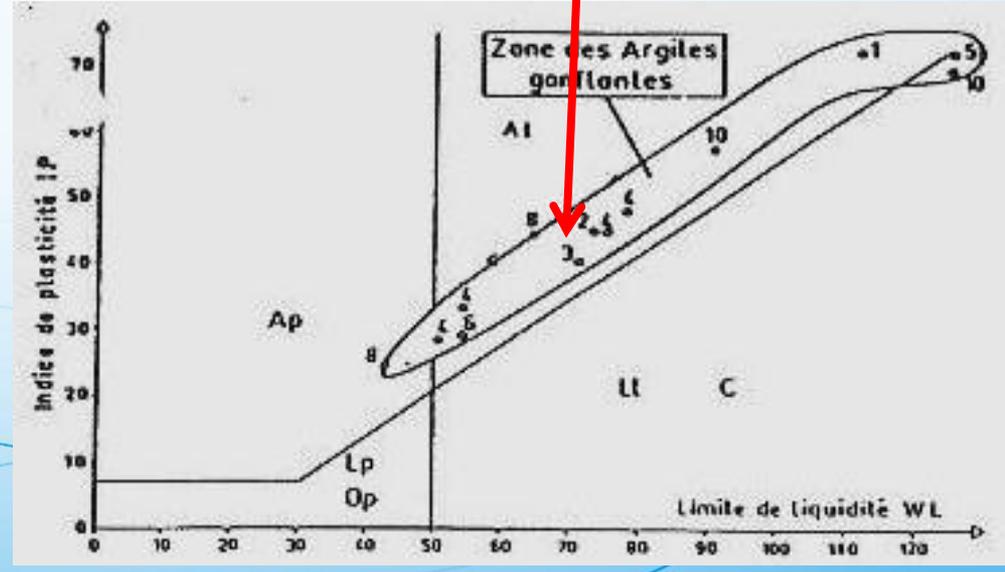
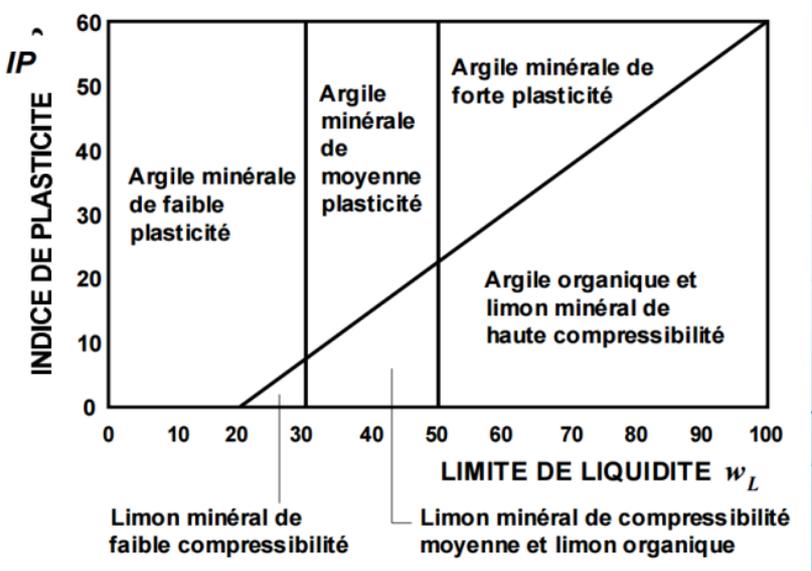
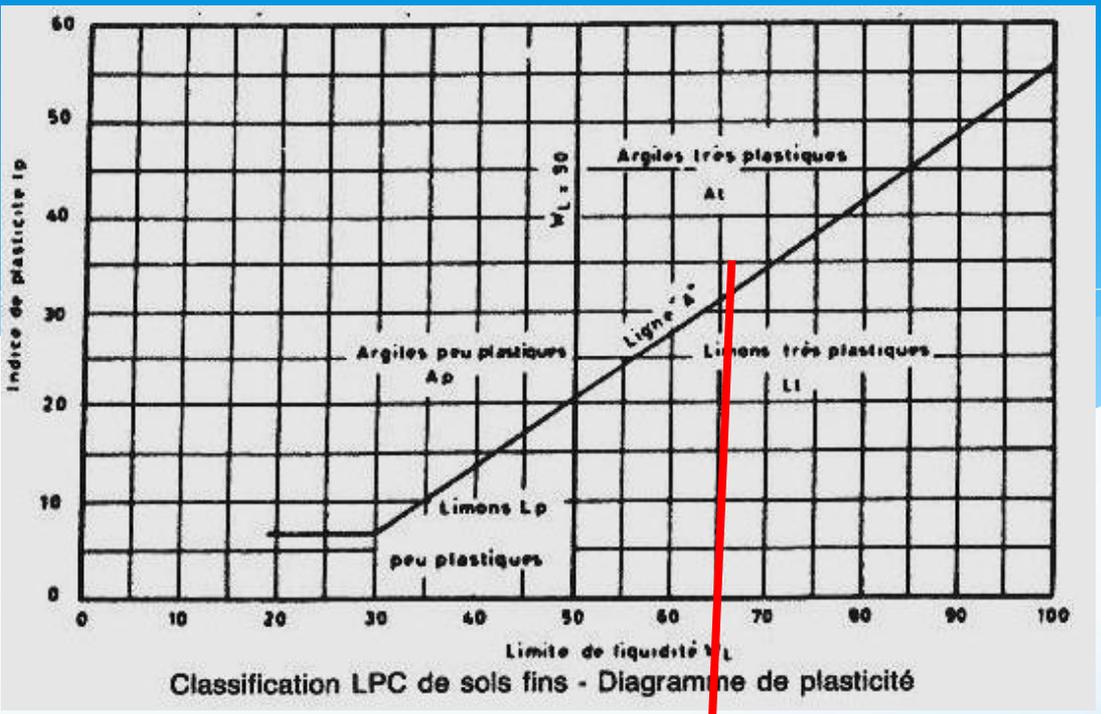


Pour les argiles, les limites d'Atterberg ( $w_L$  de liquidité et  $w_p$  de plasticité) permettent de définir **l'indice de consistance** :

$$I_C = \frac{w_L - w\%}{w_L - w_p} = \frac{w_L - w\%}{I_p}$$

# 3-8- Variation de volume dans les argiles ou pas ?

- Article de 1978 du CEBTP -



# 3-11- Essai au bleu de méthylène - 1993.

Ils permettent d'évaluer la surface spécifique d'échange d'un matériau argileux, ce qui constitue un bon indicateur de sa susceptibilité au phénomène de retrait-gonflement.

Cet essai a été développé par Tran Ngoc Lan (1977) et adopté comme procédure d'essai officielle des Laboratoires des Ponts et Chaussées, puis normalisé (norme NF P 18-592, AFNOR, 1993). Il consiste à mesurer la capacité d'adsorption en bleu de méthylène, c'est-à-dire la quantité de ce colorant nécessaire pour recouvrir d'une couche mono-élémentaire les surfaces externes et internes de toutes les particules argileuses présentes dans 100 g de sol. On appelle cette quantité, la valeur de bleu, notée VB et exprimée en grammes de bleu par 100 g de matériau.

On considère généralement (Chassagneux *et al.*, 1995) que la sensibilité d'un matériau argileux varie de la manière suivante en fonction de la valeur de bleu (Illustration 16). Ce paramètre permet, avec le concours avantageux des limites d'Atterberg, une analyse statistique du comportement au retrait-gonflement.

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

Illustration 16 – Barème du critère géotechnique suivant la valeur de bleu

# 3-12- Essai au bleu de méthylène - 1993.

- l'activité du sol: c'est à dire la réactivité de l'argile. La qualité de l'argile est un critère permettant de prédire ses propriétés rhéologiques liées à sa nature.

Activité de la fraction argileuse	Qualitatif
$0 < A_{CB} < 3$	Inactive
$3 < A_{CB} < 5$	Peu active
$5 < A_{CB} < 15$	Moyenne
$13 < A_{CB} < 18$	Active
$A_{CB} > 18$	Très active

Tableau 0I-7 Activité de l'argile et évaluation de son caractère plus ou moins gonflant

Cette méthode est, pour les essais géotechniques, la meilleure pour définir une potentialité de gonflement du sol. Nous voyons alors qu'il existe une relation entre la valeur du bleu et l'activité de l'argile vis à vis du gonflement/retrait. En couplant l'activité du bleu à celle de la granulométrie, on peut avoir un ordre de grandeur de la surface spécifique des argiles. Les auteurs s'accordent pour estimer que les surfaces spécifiques des illites est d'environ 100 m<sup>2</sup> par gramme de sol alors que les smectites montent jusqu'à 750 m<sup>2</sup>.

Ainsi un des intérêts du test au bleu de méthylène est de caractériser les propriétés des sols par un indice qui combine à la fois la quantité et la qualité de l'argile à l'aide d'une procédure simple reproductible et peu coûteuse.

# 3-13- L'essai pour la mesure du Retrait Linéaire

La valeur du retrait linéaire est un indicateur de l'importance du retrait volumique possible d'un sol lors de son assèchement. Initialement, le sol est saturé en eau. Lorsque la teneur en eau diminue, son volume total diminue, puis se stabilise. Ce processus de diminution de la teneur en eau se traduit par deux phases successives. Lors de la première, les grains constituant le sol se rapprochent, mais le sol reste toujours saturé : la variation de volume du sol est donc proportionnelle à la diminution de la teneur en eau. Lors de la seconde, les grains sont en contact et ne peuvent plus se rapprocher, l'élimination de l'eau ne fait plus varier le volume du sol, mais se traduit par sa désaturation. La teneur en eau correspondant à ce palier est appelée limite de retrait. Plus cette valeur est faible, plus la variation de volume peut être importante et plus le tassement induit en cas de dessiccation sera grand.

Les coupures suivantes ont été proposées (Mastchenko, 2001) pour caractériser le potentiel de retrait avec ce paramètre (Illustration 17).

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

*Illustration 17 – Barème du critère géotechnique suivant le retrait linéaire*

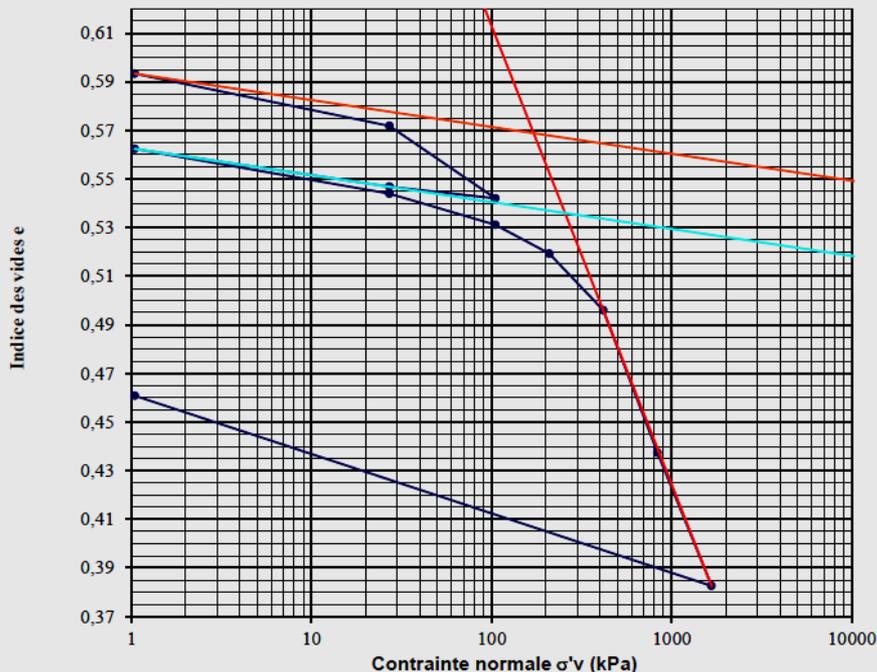
# 3-14- Exemple oedométrique pour un essai à 5,3 mètres de profondeur

\*  $E_1 = 0,572$   
 Pour 100Kpa  
 $E_2 = 0,568$  pour 150kpa  
 avec l'effet du dallage.

$DH/H =$   
 $(0,572 - 0,568) / (1 + 0,572)$   
 $DH/H = 0,002544$   
 Soit 0,2544% de la hauteur,  
 Si on généralise ce %,  
 Pour 5,3 mètres de terrain, on obtient :  
 = 1,35 CM de tassement

Caractéristique de l'échantillon	Unité	Initial	Final
Diamètre D	mm	70,0	
Hauteur H	mm	20,7	17,7
Masse volumique sèche $\rho_d$	KN/m <sup>3</sup>	16,70	19,53
Masse volumique des grains $\rho_{st}$	KN/m <sup>3</sup>	27,0	
Teneur en eau w	%	21,9	15,8
Degré de saturation Sr	%	97,5	111,5
Hauteur des pleins $h_p$	mm	12,8	
Indices des vides e		0,62	0,38

Courbe oedométrique



Palier	$\sigma'_v$ (kPa)	e	$\Delta H$ (mm)
1	1,04	0,593	0,000
2	27	0,572	0,580
3	105	0,542	0,960
4	27	0,547	0,900
5	1,04	0,562	0,700
6	27	0,544	0,936
7	105	0,531	1,100
8	209	0,519	1,252
9	417	0,496	1,550
10	833	0,437	2,300
11	1664	0,383	3,002
12	1,04	0,461	2,000
13			
14			
15			

Date début essai	13/10/2015
Date fin essai	28/10/2015

# 3-15- Tassement en totalisant la méthode des couches

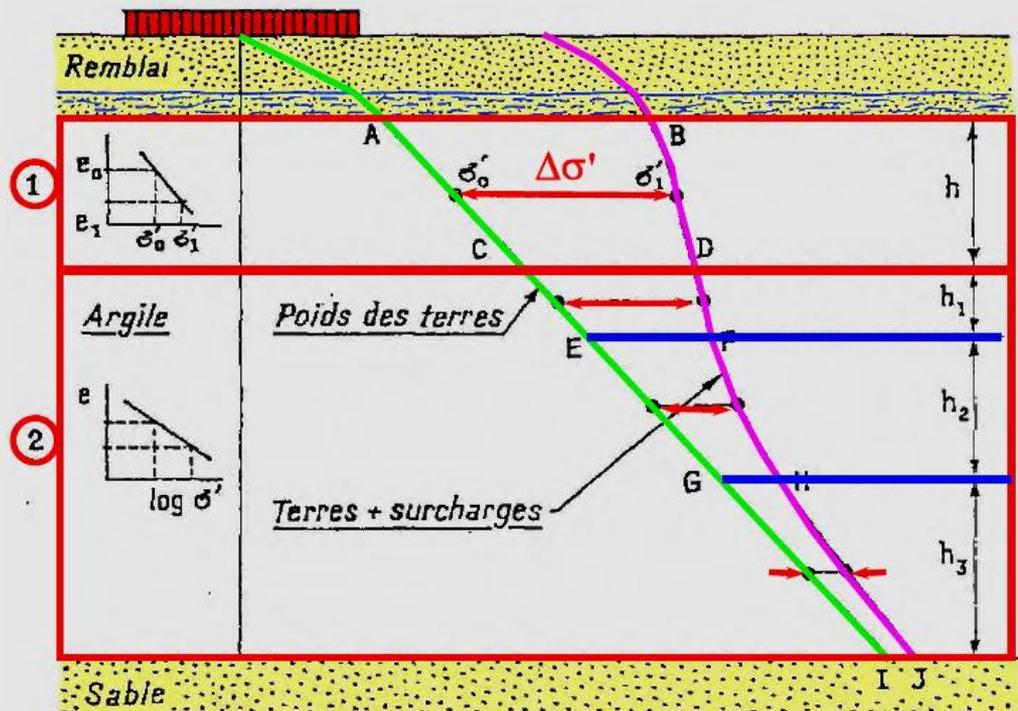
## Sous charge :

Si le sol tasse plus qu'il ne gonfle : OK

Si le sol gonfle plus qu'il ne tasse, alors problème...

- sol découpé en n couches de hauteur  $H_i$
- calcul du tassement de chacune des couches
  - 1 essai oedométrique par couche
  - $c_c$  et  $\sigma'_p$  par couche
  - $\sigma'_{v0}$  et  $\Delta\sigma'$  par couche

$$s = \sum_{i=1}^n \Delta H_i$$



# 3-16- Essais œdométriques pour détermination des sols gonflants

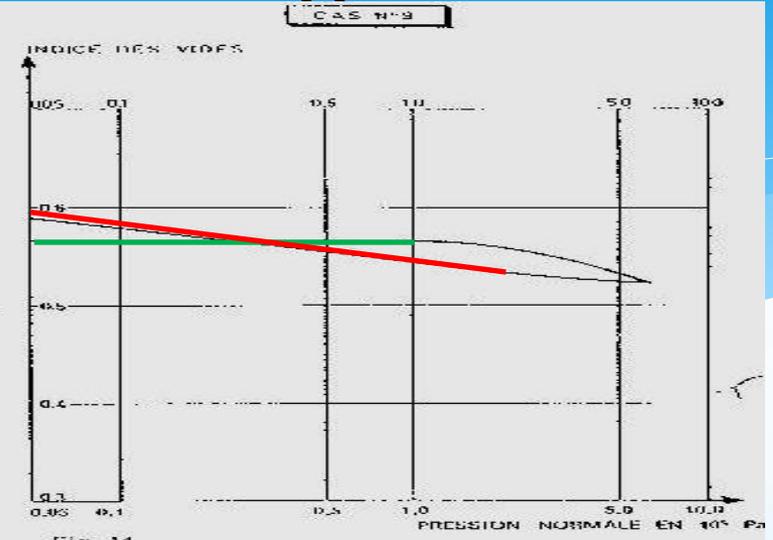
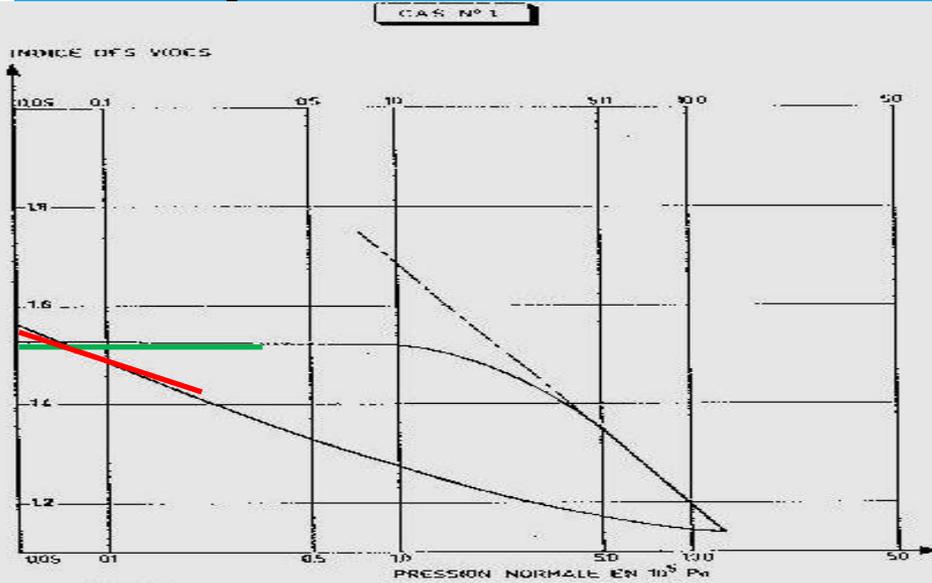
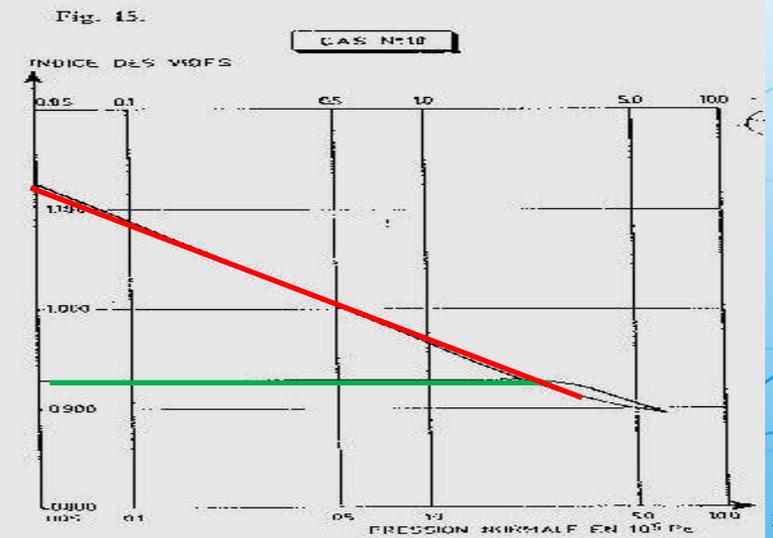


Fig. 12 à 15. — Relation entre l'indice des vides et la pression normale dans un certain nombre de cas étudiés.



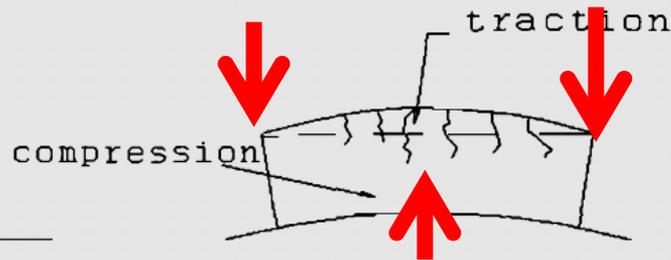
# Plan sommaire du document :

- \* 1- **LE CONSTAT de quelques désordres**
- \* 2 - Les causes géologiques
- \* 3- Comment s'y retrouver? Les mesures géotechniques
- \* **4- Les conséquences sur les structures**
- \* 5- Les règles de bonne adaptation au sol
- \* 6- Comment bien construire sur sol à variation de volume ?
- \* 7- Que doit faire le sol, les fondations les structures ?
- \* 8- Les moyens de suivre les déformations
- \* 9- Comment réparer ?
- \* 10- Les principales conclusions

4-1

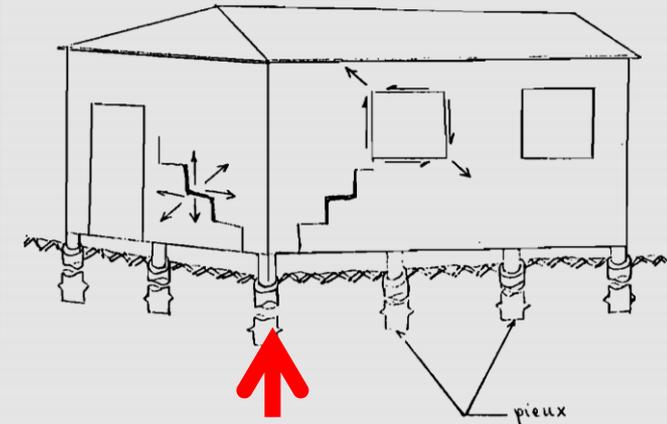


a: etat initial

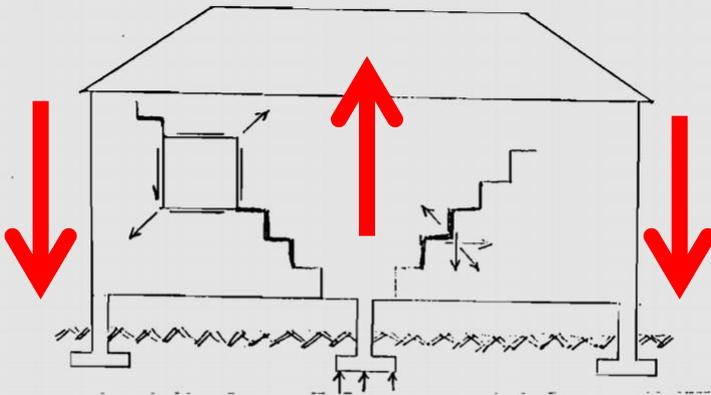


b: apres gonflement

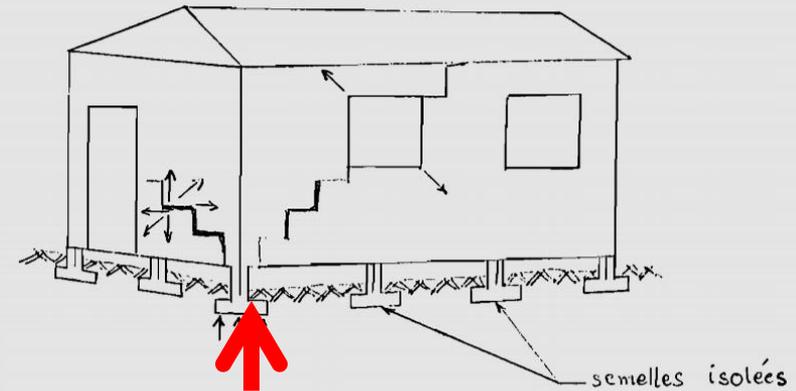
FIG 1.1 Deformation du type flexion en gonflement



Gonflement différentiel à l'angle.



a) Fissures diagonales de cisaillement dues à un gonflement différentiel au milieu de l'un des côtés du bâtiment.



b) Fissures diagonales de cisaillement dues à un gonflement différentiel à l'angle du bâtiment.

La flexion apparaît autant par retrait à l'extérieur de la maison que pour le gonflement

au centre de la construction, **c'est l'effet des déformations différentielles qui fissure...**

# Plan sommaire du document :

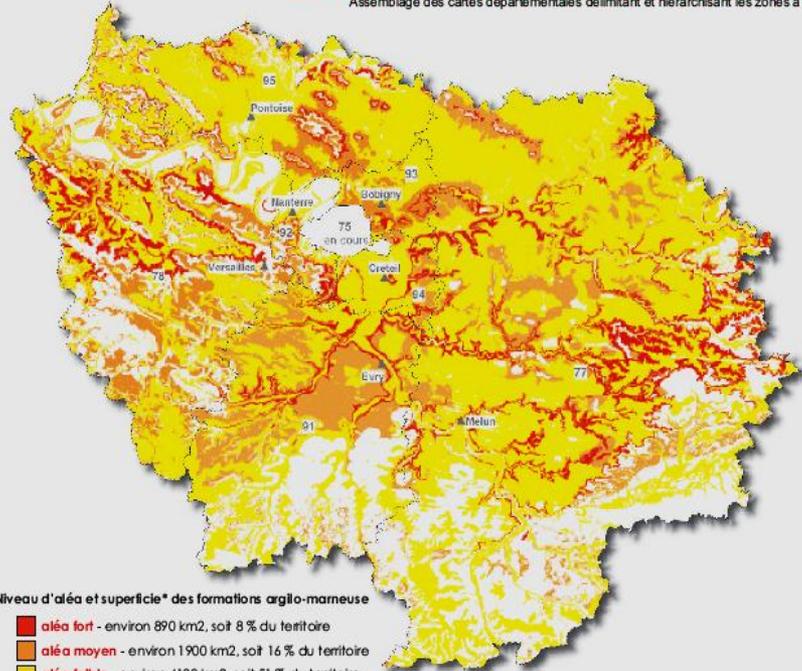
- \* 1- LE CONSTAT de quelques désordres
- \* 2 - Les causes géologiques
- \* 3- Comment s'y retrouver? Les mesures géotechniques
- \* 4- les conséquences sur les structures
- \* 5- Les règles de bonne adaptation au sol
- \* 6- Comment bien construire sur sol à variation de volume ?
- \* 7- Que doit faire le sol, les fondations les structures ?
- \* 8- Les moyens de suivre les déformations
- \* 9- Comment réparer ?
- \* 10- Les principales conclusions

# 5- Les règles de bonne adaptation entre la construction et le sol support ...

Pour l'essentiel, elles sont quasiment  
devenues administratives et obligatoires,

\* BRGM, P.P.R.Mt, ..., AQC, ...

copyright : données extraites du site www.argiles.fr obtenues par le BRGM



**Niveau d'aléa et superficie\* des formations argilo-marneuse**

- **aléa fort** - environ 890 km<sup>2</sup>, soit 8 % du territoire
- **aléa moyen** - environ 1900 km<sup>2</sup>, soit 16 % du territoire
- **aléa faible** - environ 6100 km<sup>2</sup>, soit 51 % du territoire
- **"a priori" non argileux** - environ 2900 km<sup>2</sup>, soit 25 % du territoire

\* Hors ville de Paris

Vous pouvez vous renseigner auprès de votre maire, de la préfecture ou des services de la direction départementale de l'équipement de votre département.

Vous trouverez aussi des informations utiles sur Internet aux adresses suivantes :

Portail de la prévention des risques majeurs du ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables  
<http://www.ecologie.gouv.fr> - <http://www.prim.net>

Bureau de Recherches Géologiques et Minières  
<http://www.brgm.fr> - <http://www.argiles.fr>

Agence qualité construction  
<http://www.qualification-construction.com>

Caisse centrale de réassurance  
<http://www.ccr.fr>

Piaquette réalisée par la direction régionale de l'environnement d'Ile-de-France (diren@drf.ecologie.gouv.fr) en collaboration avec les directions départementales de l'équipement d'Ile-de-France

Crédits photos :  
Bureau de Recherches Géologique et Minières (BRGM)  
Laboratoire régional de l'est parisien (LREP)



## Les constructions sur terrain argileux en Ile-de-France

Comment faire face au risque de retrait-gonflement du sol ?

## Source INTERNET



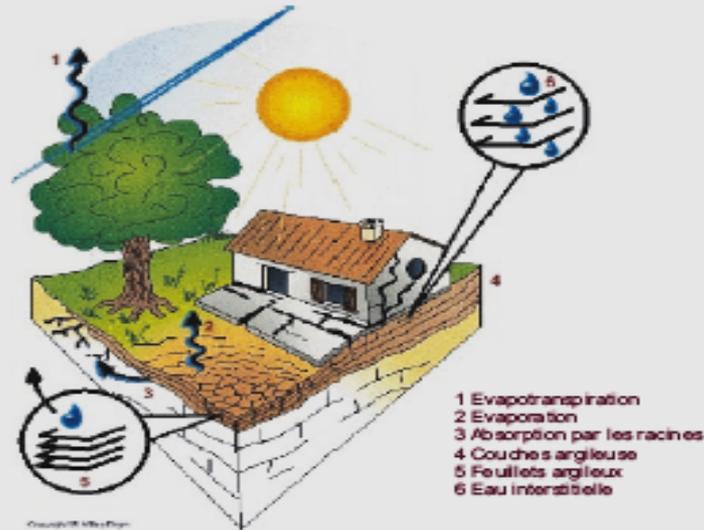
Direction régionale de l'environnement  
ILE-DE-FRANCE  
NATURALISER L'ENVIRONNEMENT

Date de publication : octobre 2007

# Le risque de retrait-gonflement des sols argileux

Un mécanisme bien connu des géotechniciens

## Et en structure ??????



Un sol argileux change de volume selon son humidité comme le fait une éponge ; il gonfle avec l'humidité et se resserre avec la sécheresse, entraînant des tassements verticaux et horizontalement, des fissurations du sol.

L'assise d'un bâtiment installé sur ce sol est donc instable.

En effet, sous la construction, le sol est protégé de l'évaporation et sa teneur en eau varie peu au cours de l'année ce qui n'est pas le cas en périphérie.

Les différences de teneur en eau du terrain, importantes à l'aplomb des façades, vont donc provoquer des mouvements différentiels du sol notamment à proximité des murs porteurs et aux angles du bâtiment.

Des désordres aux constructions



Comment se manifestent les désordres ?

- Fissuration des structures
- Distorsion des portes et fenêtres
- Décollement des bâtiments annexes
- Dislocation des dallages et des cloisons
- Rupture des canalisations enterrées

Quelles sont les constructions les plus vulnérables ?

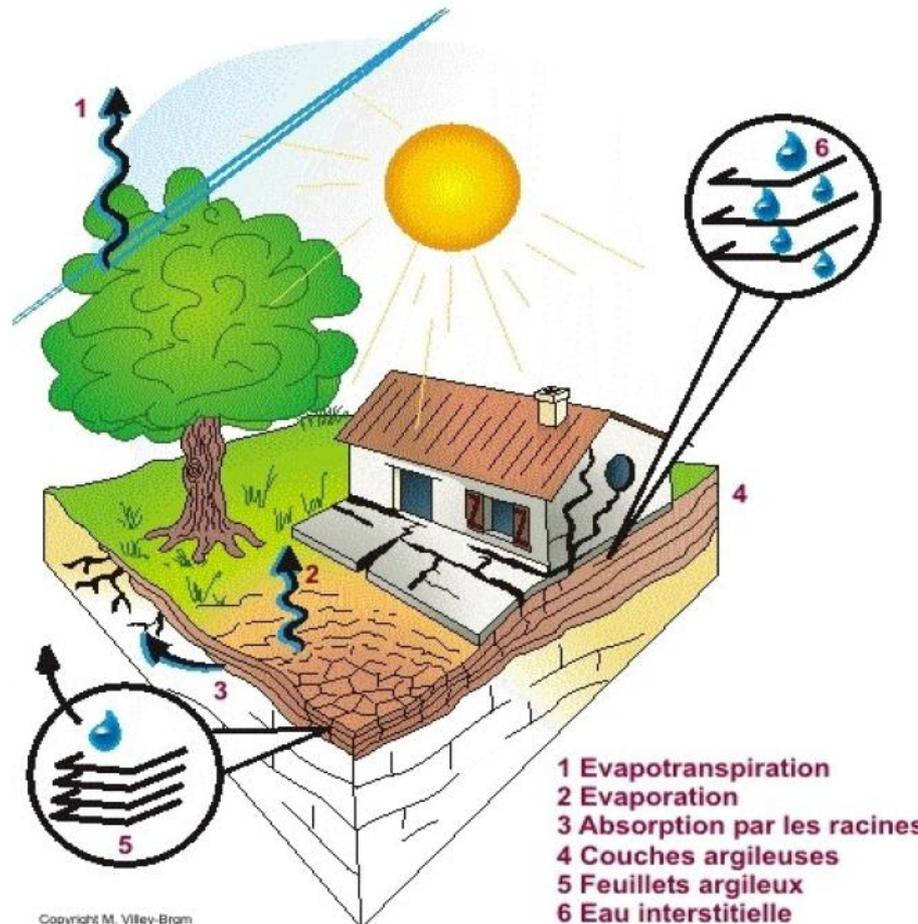
Les désordres touchent principalement les constructions légères de plain-pied et celles aux fondations peu profondes ou non homogènes.

Un terrain en pente ou hétérogène, l'existence de sous-sols partiels, des arbres à proximité, une circulation d'eau souterraine (rupture de canalisations...) peuvent aggraver la situation.

# 5-3

C'est curieux !

Illustration 2: Mécanisme de dessiccation



On ne parle plus de gonflement mais que du retrait des sols ... !  
Sauf...

## DOSSIER

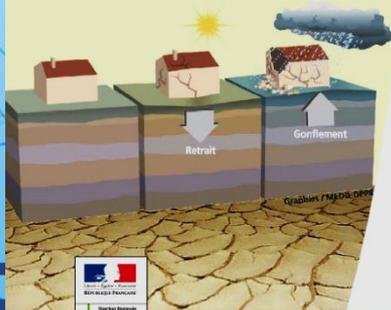
Service  
Environnement et  
Risques  
Département de  
Recherches

Septembre  
2011

Plan de Prévention des Risques  
de mouvements de terrain différentiels  
consécutifs à la sécheresse et à  
la réhydratation des sols  
dans le département du Val-de-Marne

## NOTE DE PRÉSENTATION

dossier d'enquête publique



Recherche, prévention, maîtrise et gestion  
de l'énergie et de l'eau  
Prévention des risques  
Infrastructures, transports et eau

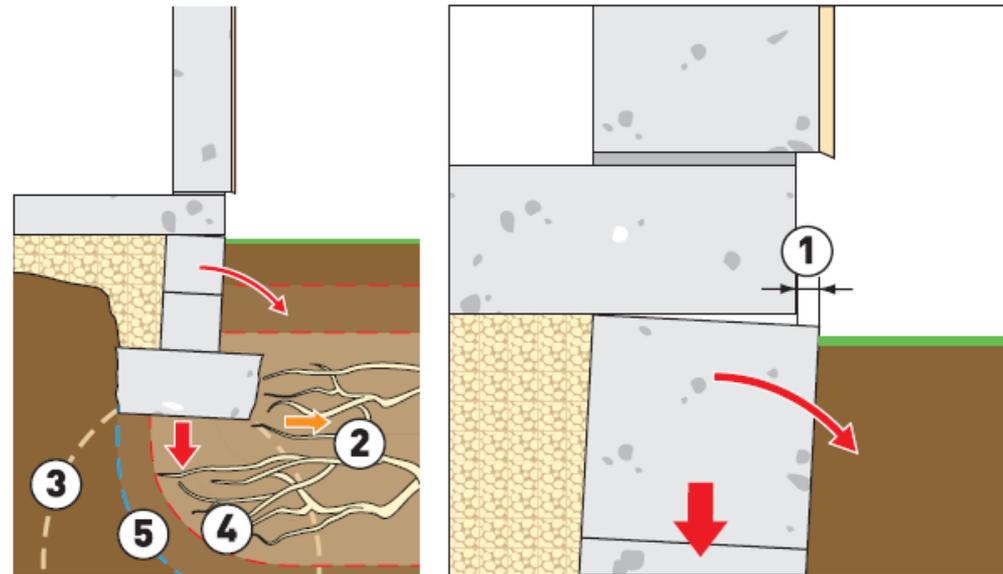
Présent  
pour  
l'avenir



# 5-4 Poussée différentielle et tassement différentiel ...

## Rotation de la semelle de fondation dont le sol d'assise est soumis à la succion des racines

-  Affaissement
  -  Rotation entraînant du cisaillement horizontal
  -  Succion horizontale des racines
- ① Désaffleur avec épaufrement des lèvres de la fissure horizontale
  - ② Radicelles
  - ③ Bulbe de répartition des charges sur le sol
  - ④ Dessiccation du sol de la motte contenue dans les racines et radicelles
  - ⑤ Succion dans le terrain en place vers la motte desséchée par les radicelles



Source : guide La pathologie des fondations superficielles d'Alain-Franck Béchade, édité par le CSTB en partenariat avec l'AQC.

**Donc croquis avec absence de chaînage vertical ...!**

23/11/2015



# Plan sommaire du document :

- \* 1- LE CONSTAT de quelques désordres
- \* 2 - Les causes géologiques
- \* 3- Comment s'y retrouver? Les mesures géotechniques
- \* 4- les conséquences sur les structures
- \* 5- Les règles de bonne adaptation au sol
- \* 6- **Comment bien construire sur sol à variation de volume ?**
- \* 7- Que doit faire le sol, les fondations les structures ?
- \* 8- Les moyens de suivre les déformations
- \* 9- Comment réparer ?
- \* 10- Les principales conclusions

DESORDRES DUS A LA PRESENCE  
DE SOLS GONFLANTS  
DANS LA REGION PARISIENNE

par  
Gérard PHILIPPONNAT  
Chef de la Division Géotechnique du CSTB

# 6-1 article de 1978

INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

Enfin, il faut noter que la profondeur conseillée ci-dessus nous semble raisonnable dans la région parisienne mais qu'il ne faut pas extrapoler cette valeur à des climats plus marqués.

REGLE N° 2  
SOUS-SOLS

Évitez les sous-sols partiellement enterrés et, dans la mesure du possible, prévoyez un sous-sol général.

REGLE N° 3  
VEGETATION

Évitez la végétation à proximité immédiate des murs. Placer les arbres nouveaux le plus loin possible des constructions. Certains auteurs recommandent une distance minimale par rapport à l'habitation de 1,5 H, H étant la hauteur de l'arbre arrivé à maturité; cette règle semble malgré tout sévère [6].

Par contre, il est déconseillé d'arracher les arbres existant avant construction de façon à maintenir l'équilibre naturel.

REGLE N° 4

PROTECTION LATÉRALE

Entourer l'habitation par une forme imperméable en pente, sur une largeur de 2,00 à 3,00 m. Cette forme a pour but de couper l'évaporation superficielle et de recueillir les eaux de ruissellement; celles-ci seront évacuées par un drainage de surface adéquat.

La forme imperméable peut être réalisée par exemple par un dallage cimenté. On peut également placer un film solide de toile plastique imputrescible, fixé au mur et protégé par une couche de forme.

REGLE N° 5  
CANALISATIONS

Une des causes fréquentes de désordres consiste en des fuites sur des canalisations qui ont été déformées par les sols gonflants. Il convient donc :

- a) d'utiliser des canalisations aussi flexibles que possible; en particulier le raccordement entre les conduites d'eaux usées liées à l'égout et les conduites d'égout extérieur doit être très souple;
- b) que les joints des canalisations soient parfaitement étanches;
- c) que les canalisations soient posées sur un lit assez épais de matériaux inertes (grave, par exemple);
- d) que le remblaiement des tranchées des canalisations soit effectué dans les mêmes conditions que le remblaiement des fouilles des fondations (voir règle n° 1).

REGLE N° 6

DRAINAGE PÉRIPHÉRIQUE

Lorsque le terrain est l'objet de circulations d'eau anarchiques, il est conseillé de réaliser un drainage périphérique profond de façon à intercepter les arrivées d'eau. Rappelons que les drains ne sont efficaces que pour capter des eaux libres; dans le cas contraire (eau en état de succion) ils sont sans effet, et même dangereux car ils peuvent paradoxalement attirer de l'eau à des niveaux où elle ne serait pas venue à l'état libre.

Lorsque, par contre, le sol baigne dans une nappe liée établie, il faut conserver cette nappe et, si possible, descendre les fondations sous le niveau de celle-ci. Bien entendu, il faut s'assurer que la nappe est permanente pour que cette solution soit efficace.

5.22. Deuxième série de mesures préconisées :  
adaptation de la structure

Elles sont résumées sur la figure 17.

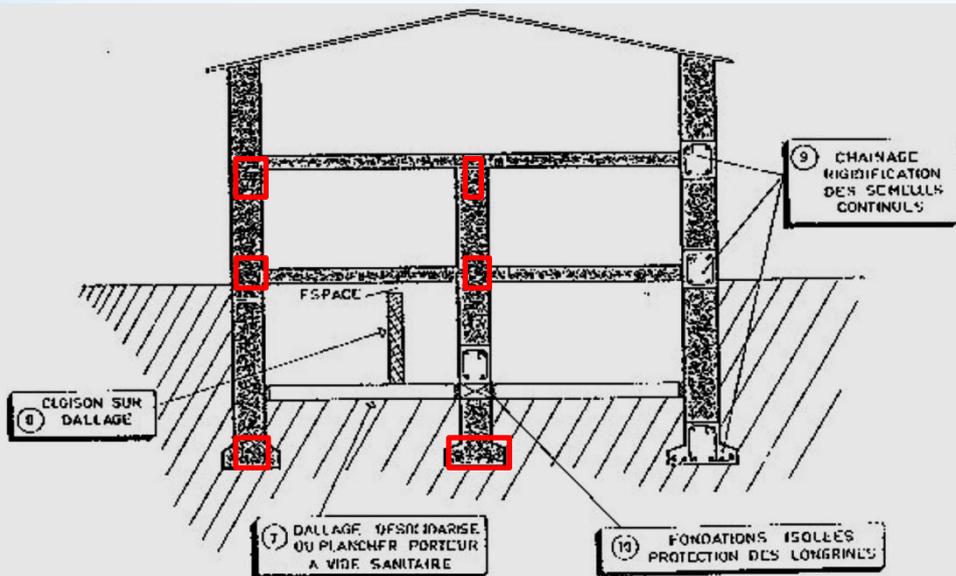


Fig. 17. — Mesures destinées à adapter la structure à un gonflement du sol de foulation.

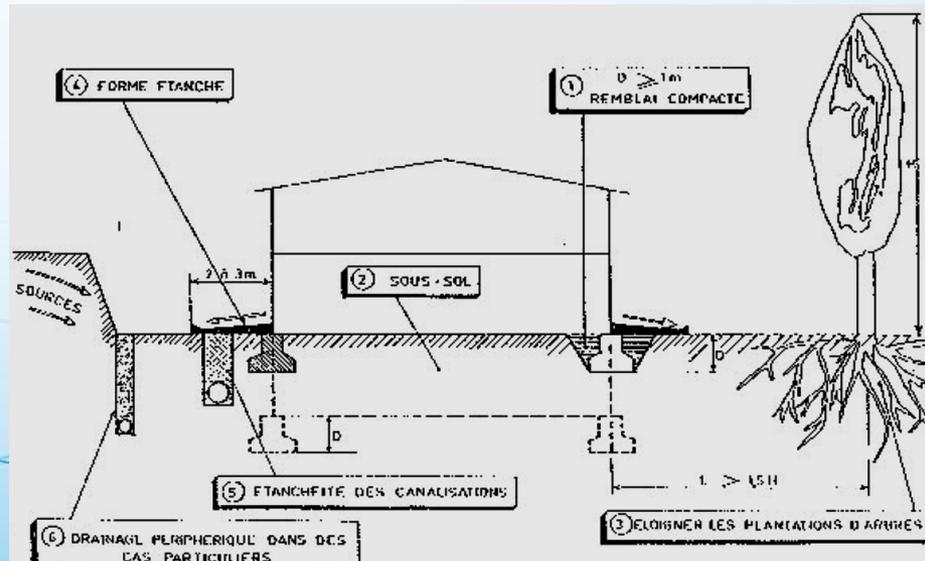
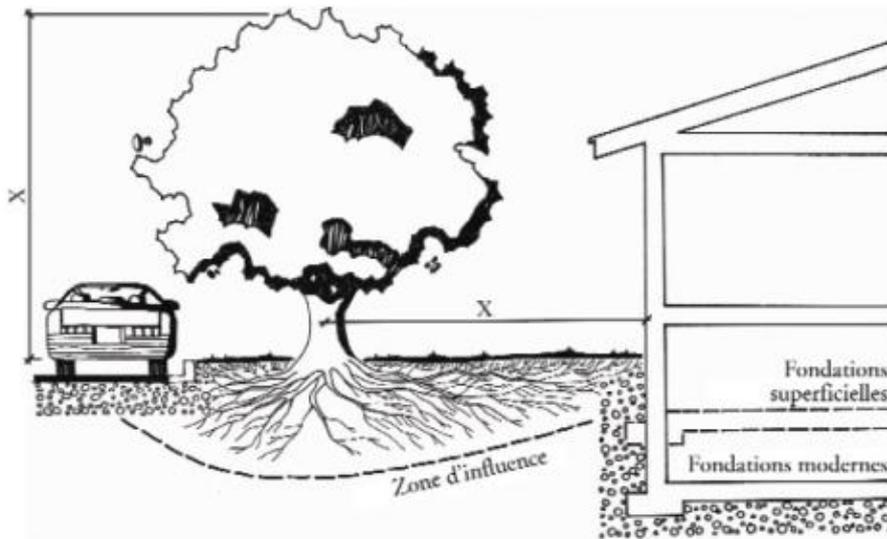
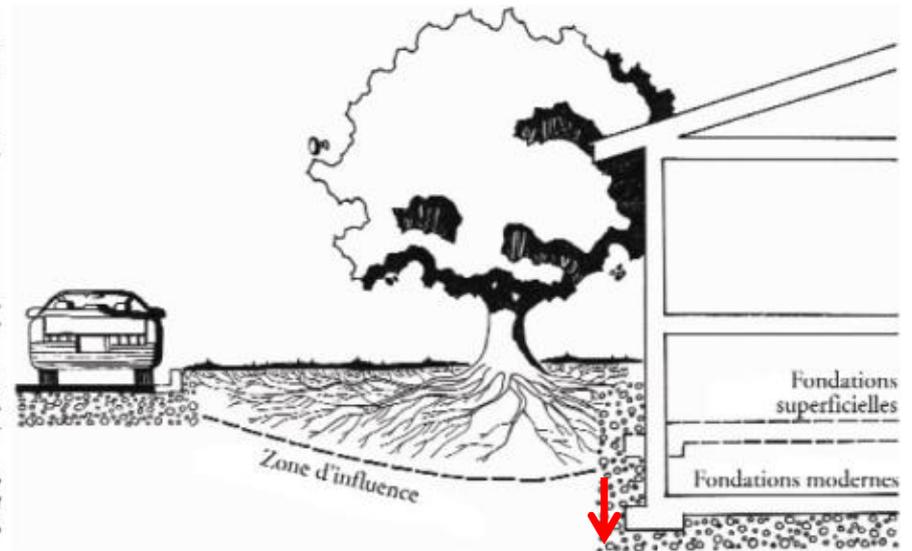


Fig. 16. — Mesures destinées à éviter les variations d'humidité sous les fondations.

# 6-2 - Effet des arbres sur les constructions très superficielles



Zone d'influence d'un arbre à maturité

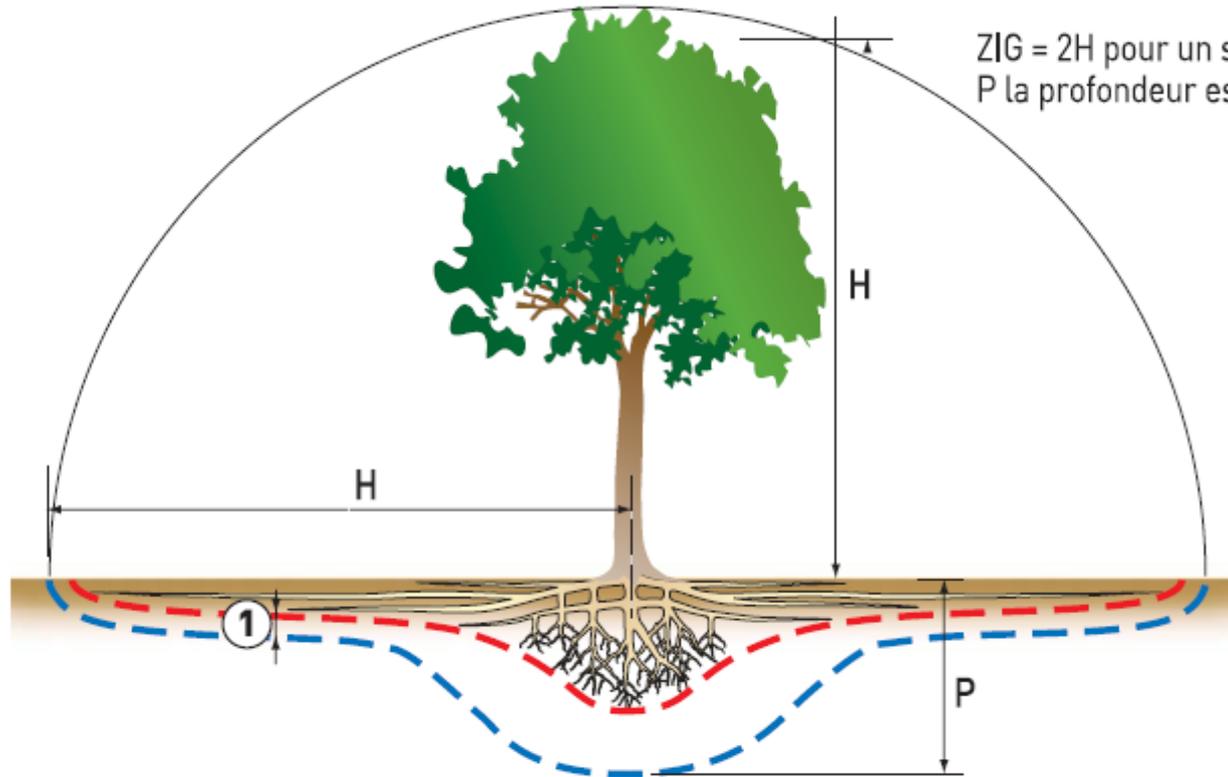


Arbre à maturité placé à proximité du bâti.  
Les fondations superficielles sont directement  
soumises à la zone d'influence.

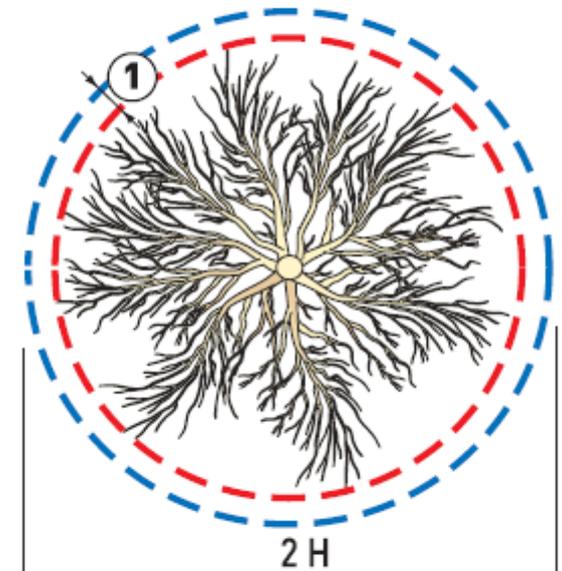
Source : SCHL

# 5-5:

## Zone d'influence géotechnique (ZIG) d'un arbre



ZIG = 2H pour un seul arbre  
P la profondeur est fonction de la nature de l'arbre

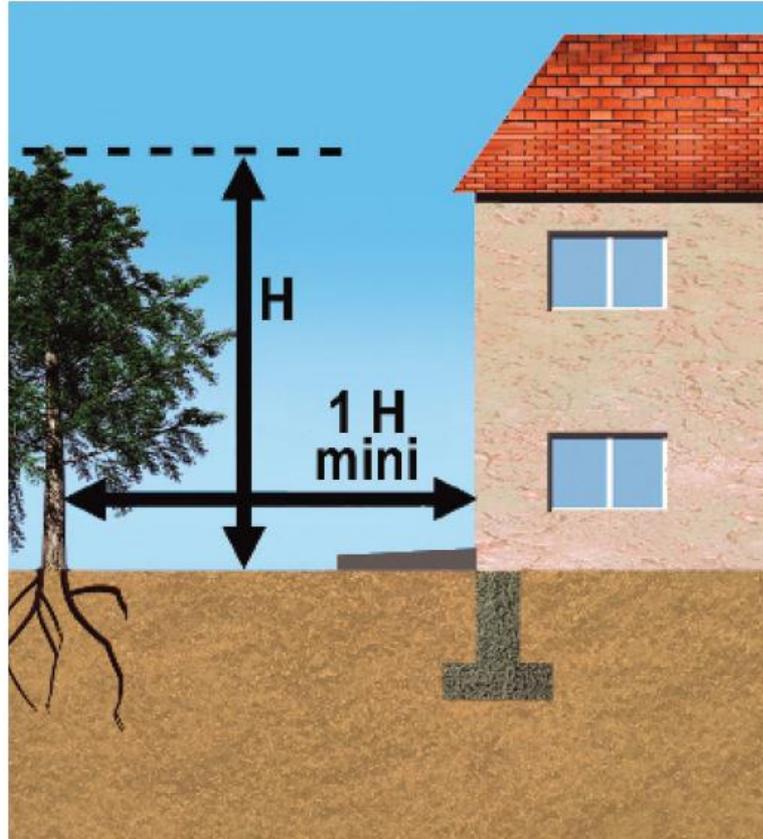


Vue de dessus de la ZIG, succion radiale des radicelles

- Volume de la motte de terre enchassée dans les racines
- Volume de sol impacté par la succion des racines et des radicelles

① Environ 70 cm impactés par la succion des radicelles

# 6-3 Donc les arbres doivent rester à distance ...

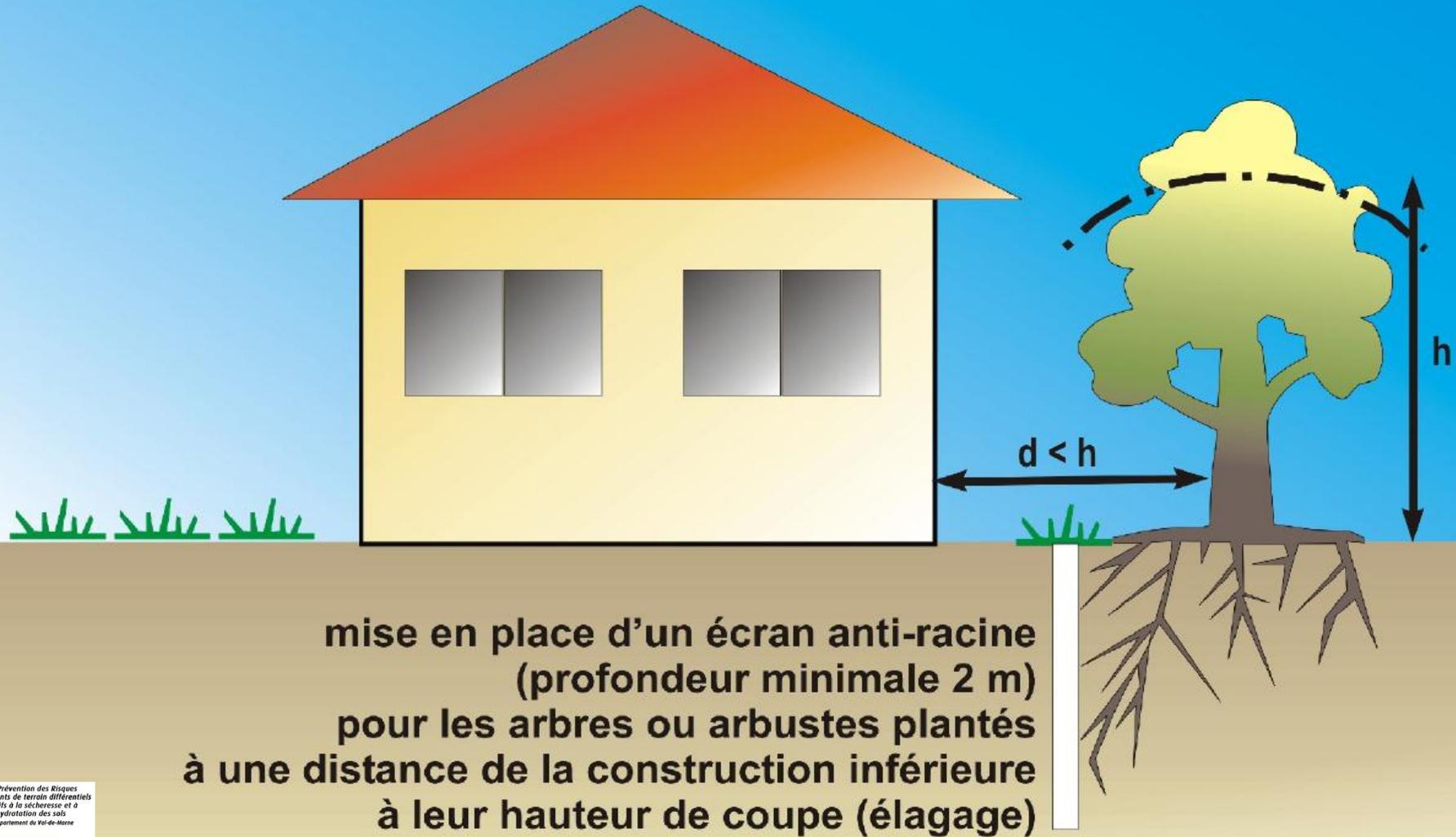


Distance recommandée :

Implantation distante d'au moins 1 fois la hauteur de l'arbre à maturité.

Source : d'après AQC

# ÉCRAN ANTI-RACINE



**MISSION**  
Plan de Prévention des Risques  
de mouvements de terrain différentiels  
consécutifs à la sécheresse et à  
la réhydratation des sols  
dans le département du Val-de-Marne

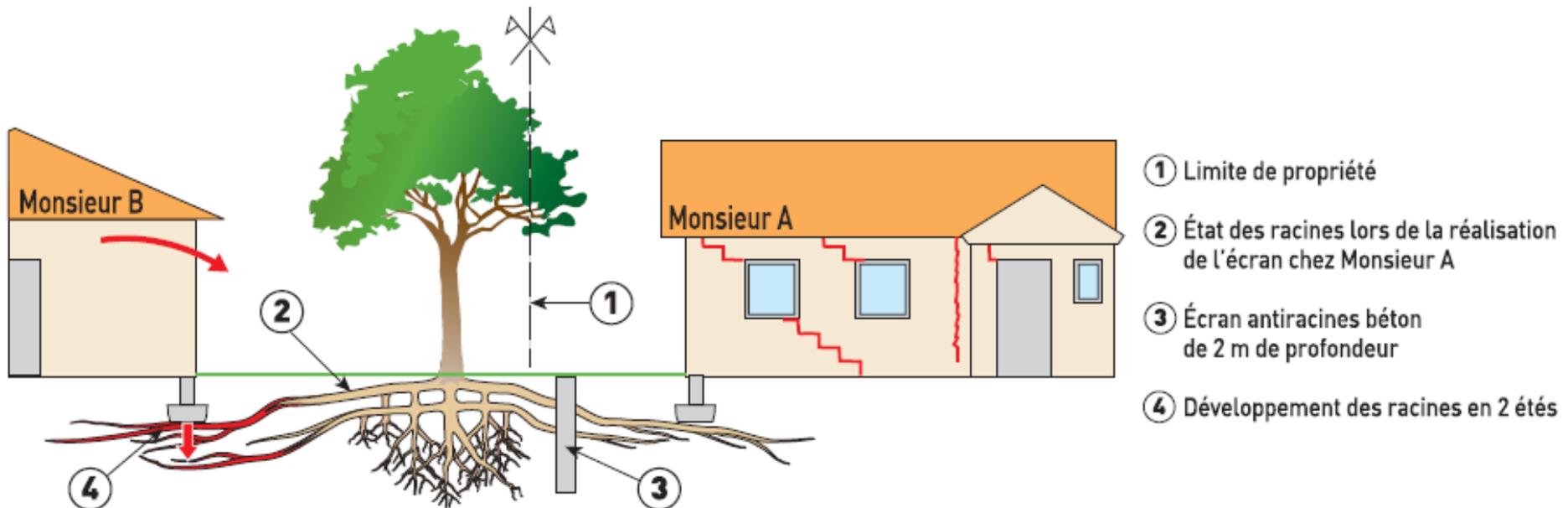
NOTE DE PRÉSENTATION

document d'enquête publique



# 5-6 : Le « sur sinistre » chez le voisin...

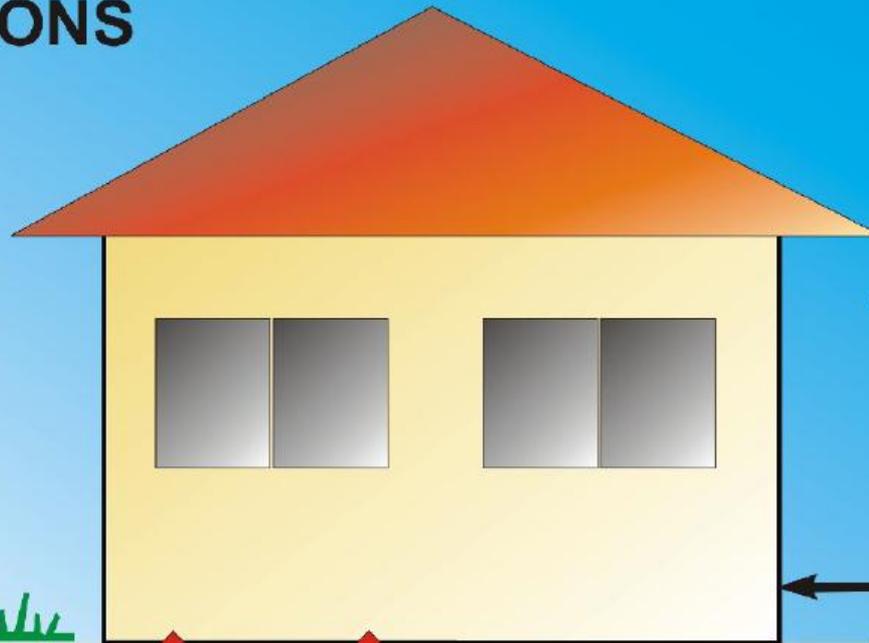
Développement des racines sous la maison de monsieur B, propriétaire des arbres, après la réalisation de l'écran antiracines chez Monsieur A



Les années passent et le voisin B de la maison neuve A, se désorganise...

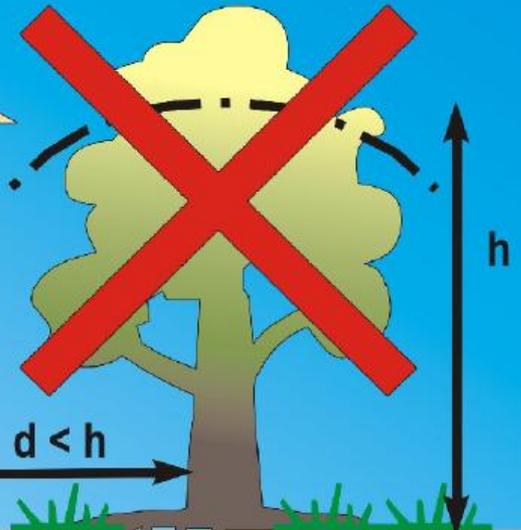
23/11/2015

# INTERDICTIONS



sous-sol partiel  
interdit

Cave partielle  
Mais aussi  
Un mauvais choix structurel...



arbres ou arbustes situés  
à une distance de la construction inférieure  
à leur hauteur de coupe (élagage) **interdit**  
**en zone B1** (sauf écran anti-racine)

→ Donc réparation partielle INTERDITE .....

# PRESCRIPTIONS POUR LES CONSTRUCTIONS NEUVES



Châinages  
horizontaux  
et verticaux

couvre-joint



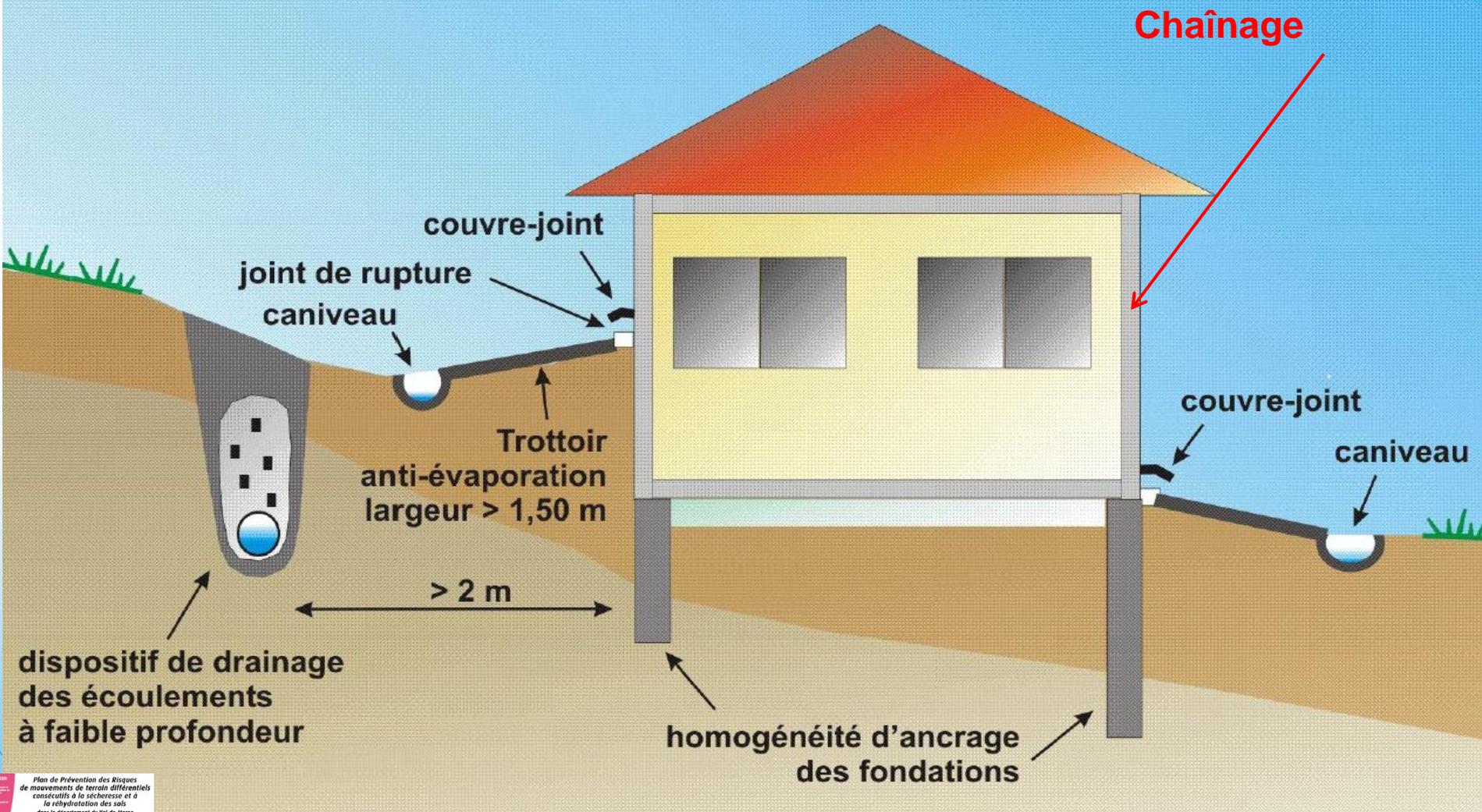
réalisation  
d'un vide sanitaire  
(recommandée)

joint de rupture

raccords souples au niveau  
des canalisations enterrées

profondeur minimale des fondations :  
- 0,80 m en zone moyennement exposée  
- 1,20 m en zone très exposée

# PRESCRIPTIONS POUR LES TERRAINS EN PENTE



DOSSIER  
Plan de Prévention des Risques  
de mouvements de terrain différentiels  
consécutifs à la sécheresse et à  
la réhydratation des sols  
dans le département du Val-de-Marne

NOTE DE PRÉSENTATION

DOSSIER D'ENQUÊTE PUBLIQUE

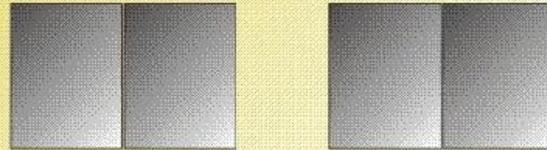
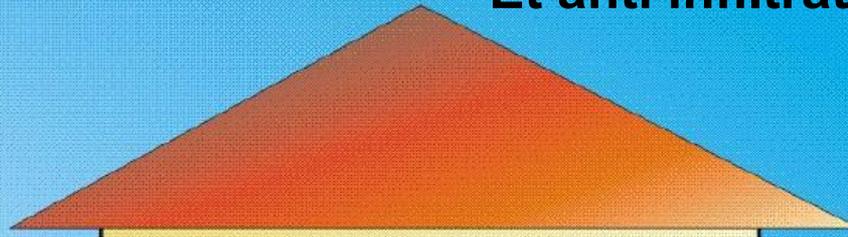
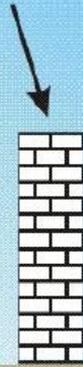
Préfecture  
Paris

Ministère de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Énergie  
Ministère de l'Équipement, du Territoire et des Transports

# DISPOSITIF ANTI-ÉVAPORATION

Et anti infiltration des eaux de pluie...

limite  
de propriété



géomembrane  
périphérique  
(avec bêche d'ancrage)



remblai  
compacté  
peu perméable  
(limons)



géomembrane verticale

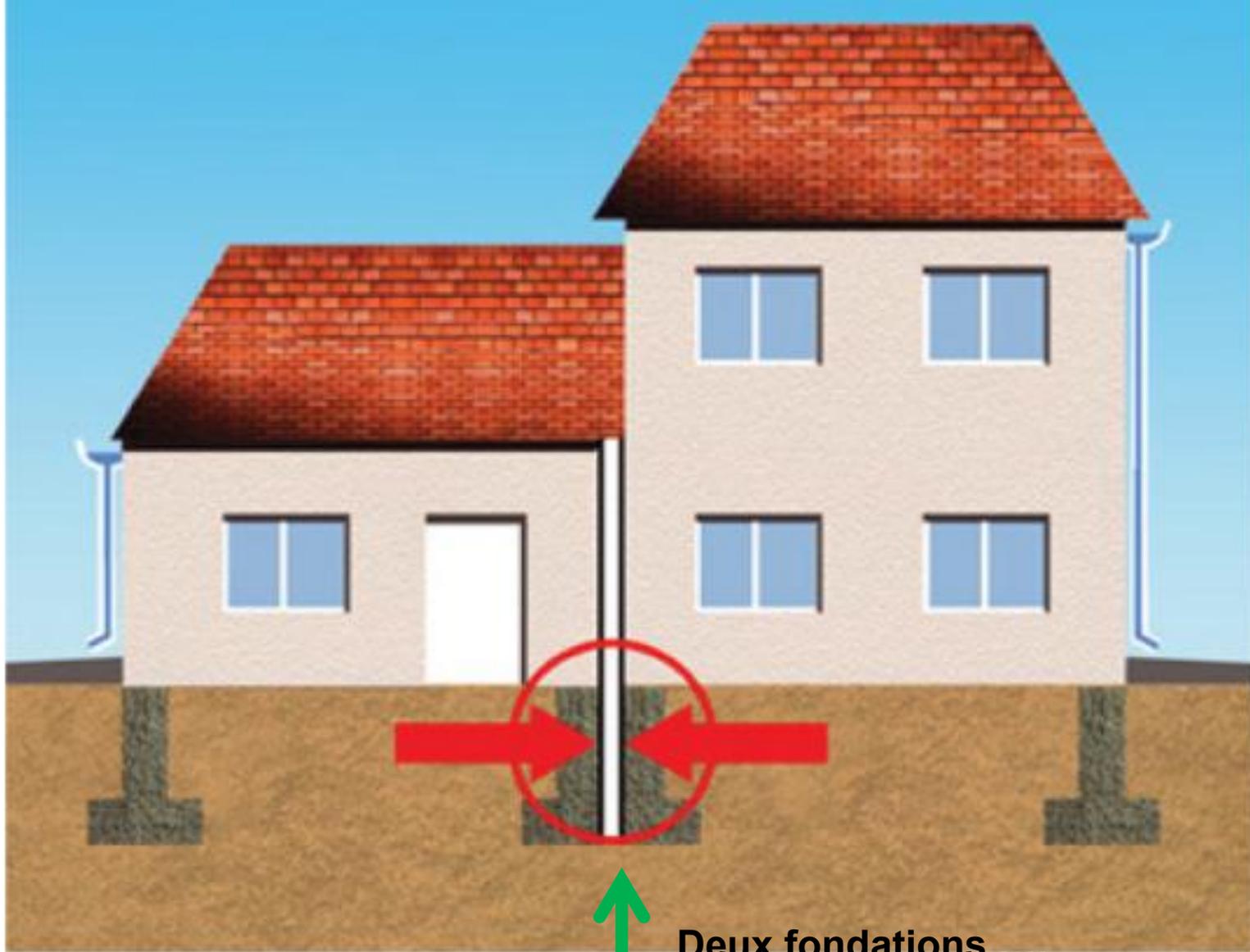
remblai  
compacté  
peu perméable  
(limons)

Plan de Prévention des Risques de mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols dans le département du Val-de-Marne

NOTE DE PRÉSENTATION

dossier d'enquête publique

A small image showing the cover of a public inquiry dossier with a map and text.



Deux fondations ....

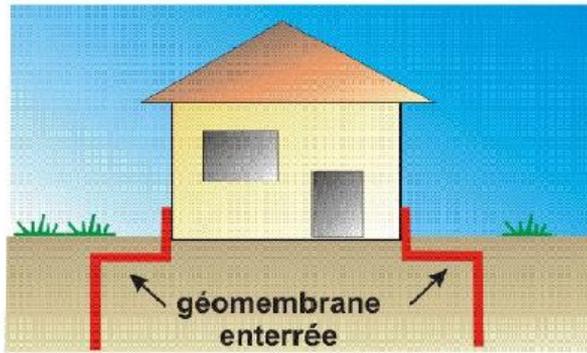
**Il est prescrit de désolidariser les parties de construction fondées différemment au moyen d'un joint de rupture sur toute la hauteur de la construction.**

Source : AQC

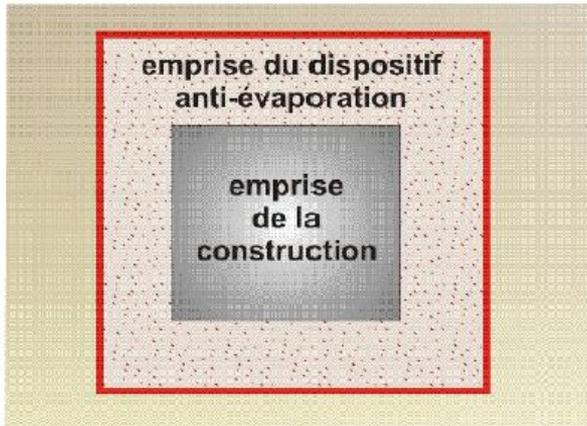
# 6-10-

## MAISON ISOLÉE

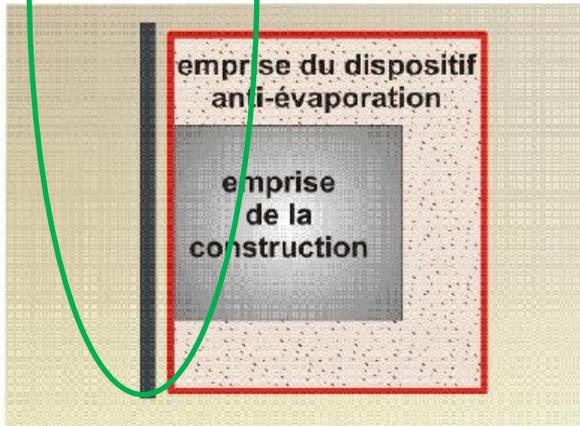
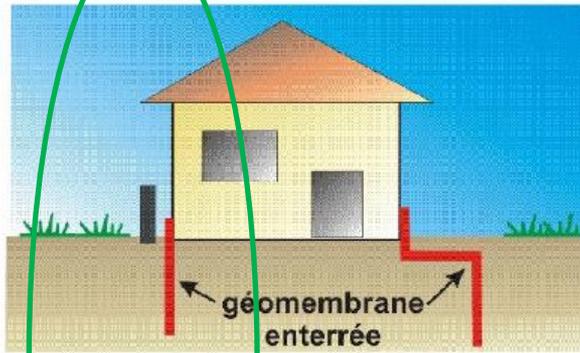
VUE EN COUPE



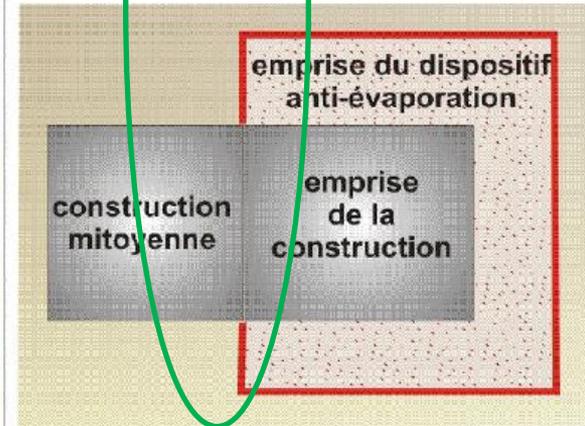
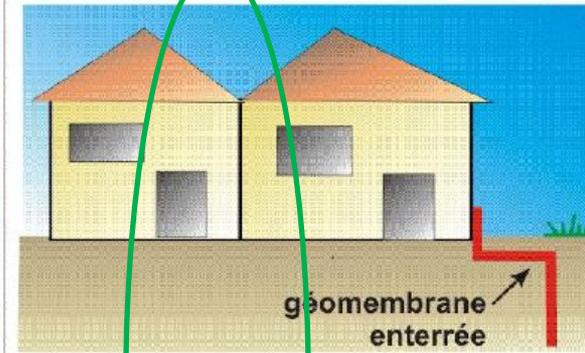
VUE EN PLAN



## MAISON EN LIMITE DE PROPRIÉTÉ



## MAISON MITOYENNE



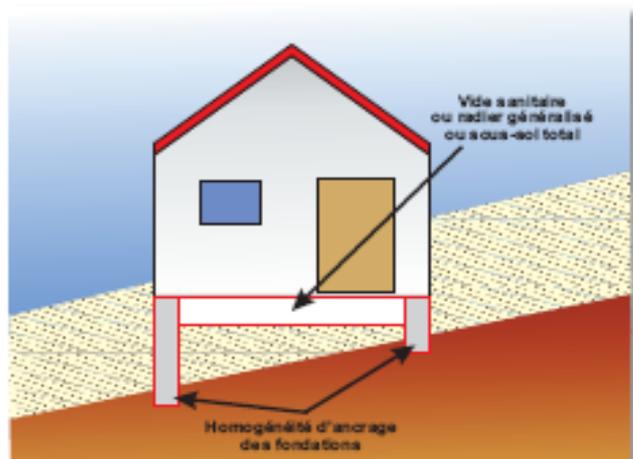
Mais tout n'est pas résolu chez le voisin et en limite de propriété ...

**Plan de Prévention des Risques de mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols dans le département du Val-de-Marne**

NOTE DE PRÉSENTATION

dossier d'enquête publique

### — Construire



#### Préciser la nature du sol

Avant de construire, il est recommandé de procéder à une reconnaissance de sol dans la zone d'aléa figurant sur la carte de retrait-gonflement des sols argileux (consultable sur le site [www.argiles.fr](http://www.argiles.fr)), qui traduit un niveau de risque plus ou moins élevé selon l'aléa.

Une telle analyse, réalisée par un bureau d'études spécialisé, doit vérifier la nature, la géométrie et les caractéristiques géotechniques des formations géologiques présentes dans le proche sous-sol afin d'adapter au mieux le système de fondation de la construction.

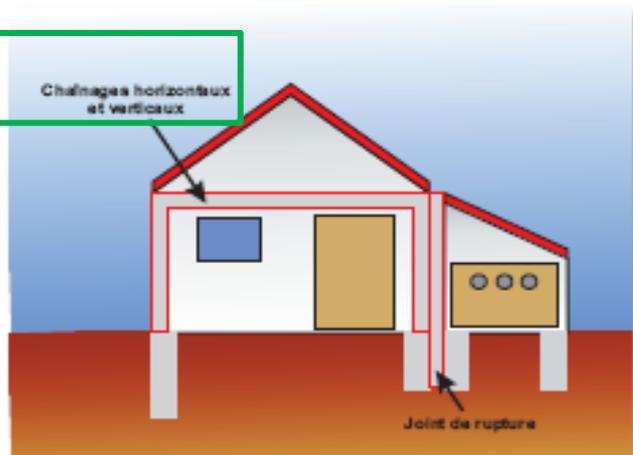
Si la présence d'argile est confirmée, des essais en laboratoire permettront d'identifier la sensibilité du sol au retrait-gonflement.

#### Réaliser des fondations appropriées

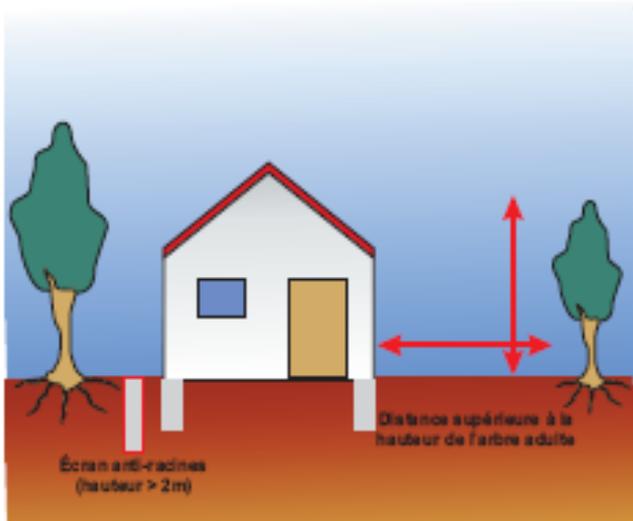
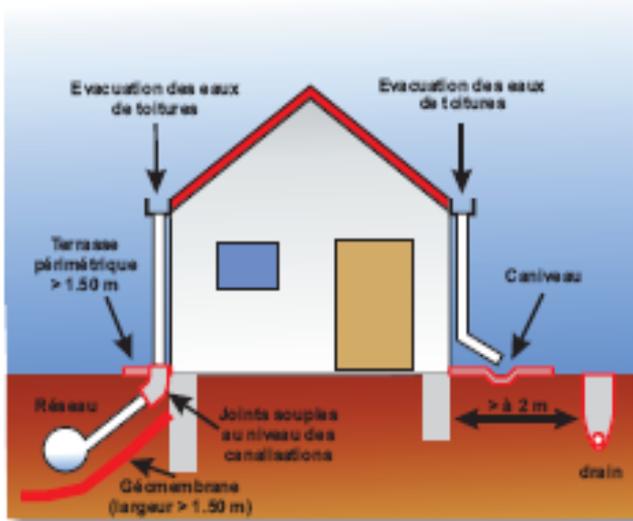
- Prévoir des fondations continues, armées et bétonnées à pleine fouille, d'une profondeur d'ancrage de 0,80 m à 1,20 m en fonction de la sensibilité du sol ;
- Assurer l'homogénéité d'ancrage des fondations sur terrain en pente (l'ancrage aval doit être au moins aussi important que l'ancrage amont) ;
- Eviter les sous-sols partiels, préférer les radiers ou les planchers porteurs sur vide sanitaire aux dallages sur terre plein.

#### Consolider les murs porteurs 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 les bâtiments accolés fondés différemment ou exerçant des charges variables.



## — Aménager, Rénover



### Eviter les variations localisées d'humidité

- Éviter les infiltrations d'eaux pluviales (y compris celles provenant des toitures, des terrasses, des descentes de garage...) à proximité des fondations ;
- Assurer l'étanchéité des canalisations enterrées (joints souples au niveau des raccords) ;
- Éviter les pompages à usage domestique ;
- Envisager la mise en place d'un dispositif assurant l'étanchéité autour des fondations (trottoir périphérique anti-évaporation, géomembrane...) ;
- En cas d'implantation d'une source de chaleur en sous-sol, préférer le positionnement de cette dernière le long des murs intérieurs.

### Prendre des précautions lors de la plantation d'arbres

- Eviter de planter des arbres avides d'eau (saules pleureurs, peupliers ou chênes par exemple) à proximité ou prévoir la mise en place d'écrans anti-racines ;
- Procéder à un élagage régulier des plantations existantes ;
- Attendre le retour à l'équilibre hydrique du sol avant de construire sur un terrain récemment défriché.

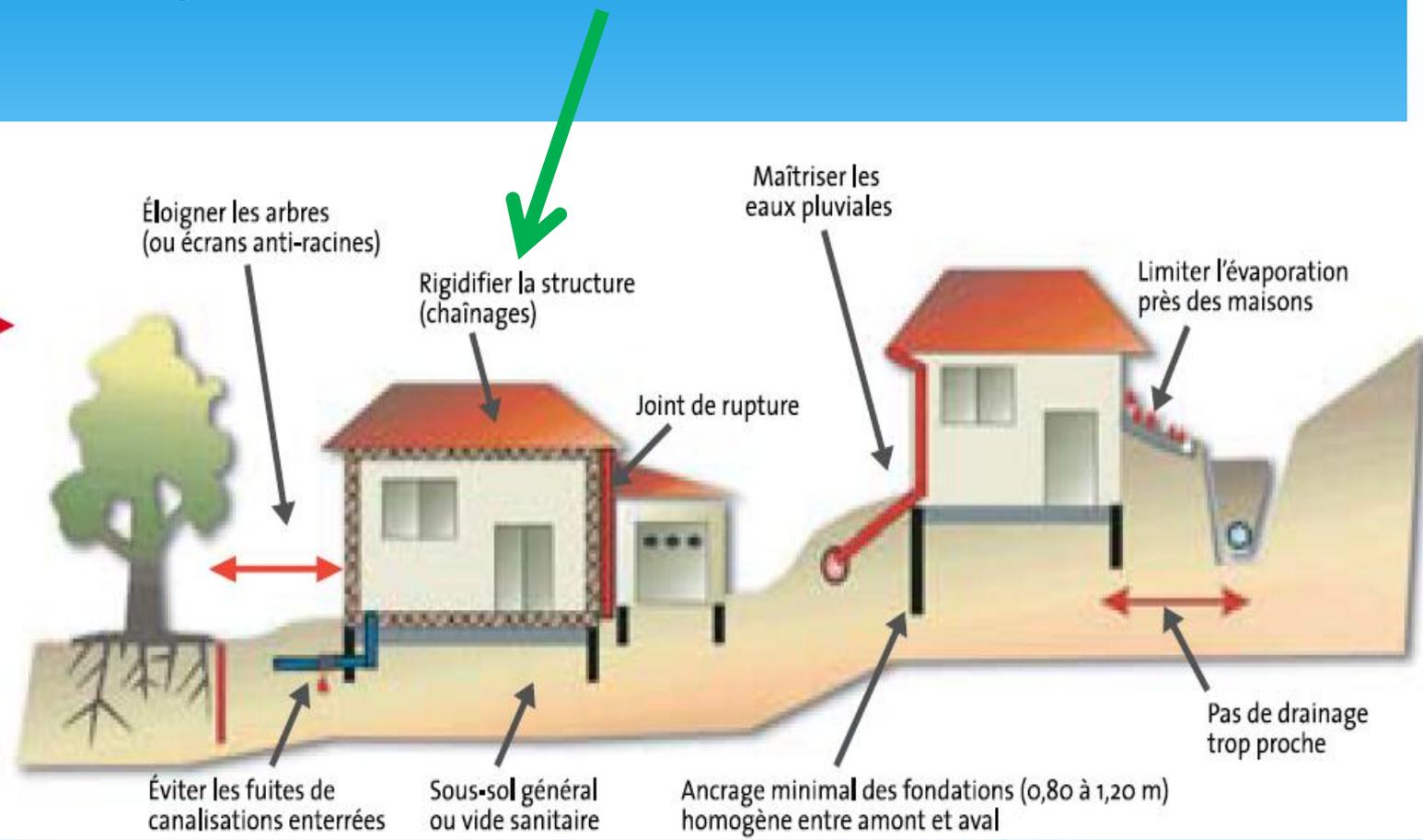
**Les chaînages des structures sont oubliés ...**

# 6-13 – Synthèse-

# Doc BRGM

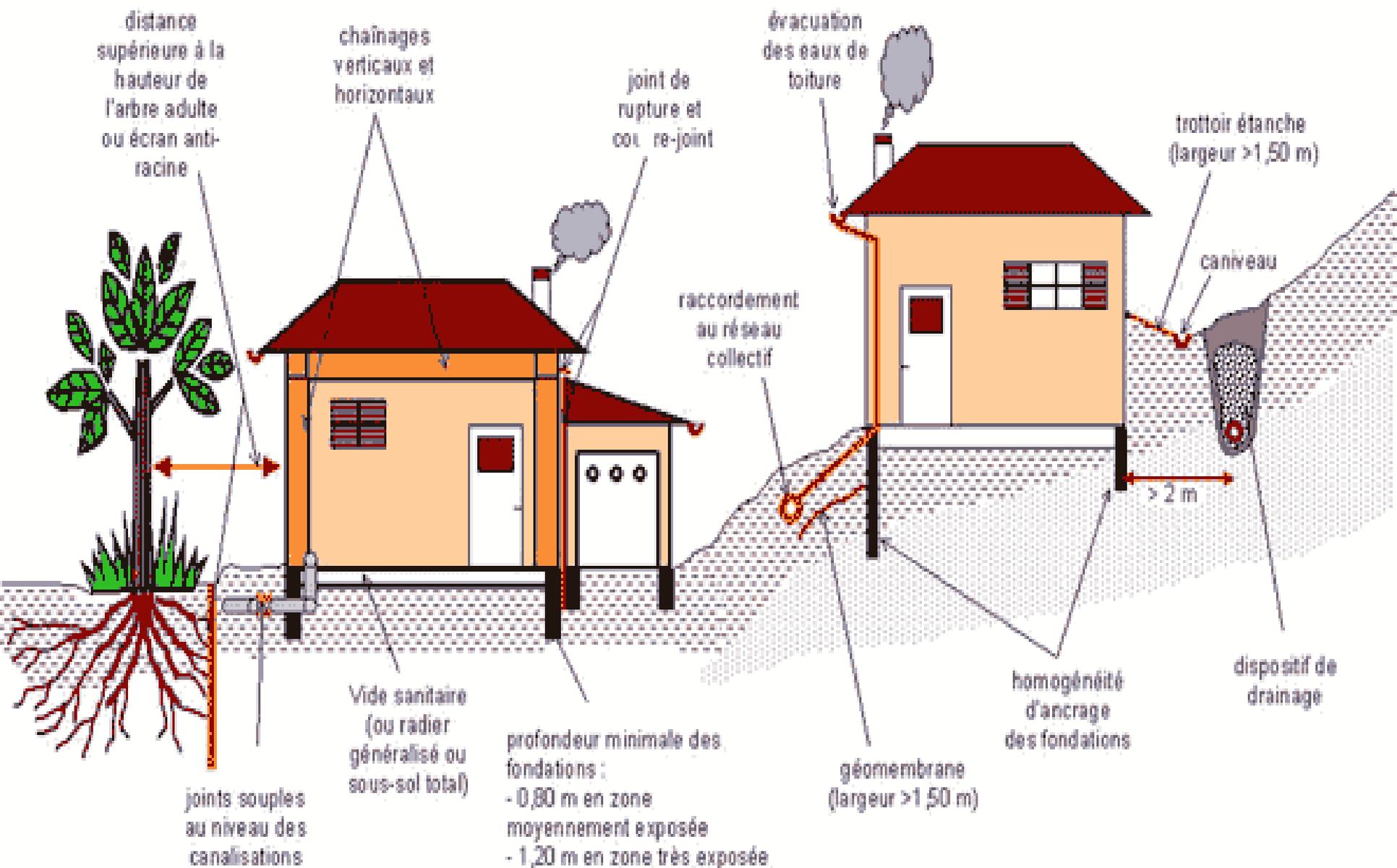
**Fig. 6 : Principales mesures préventives préconisées pour construire sur un sol sujet au phénomène de retrait-gonflement.**  
*Fig. 6: Main preventive measures recommended when building on a soil that is subject to shrinking-swelling.*

Source : BRGM – Marylène Imbault



Là on retrouve le besoin de chaînage...

# Doc BRGM



# Adaptation sol-structure

Coût 4,3 Md € entre 1989 et 2006

VRD

STRUCTURE

GEOTECHNIQUE

## Projet ARGIC

### SCHEMA DES DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

Sources : BRGM – Marylène Imbault

Éloigner les arbres (ou écrans anti-racines)

Rigidifier la structure (chainages verticaux et horizontaux)

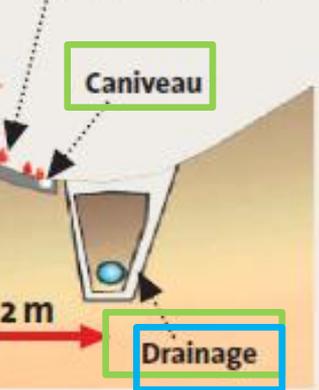
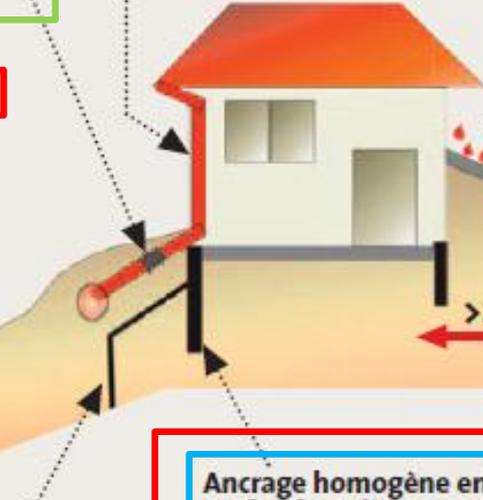
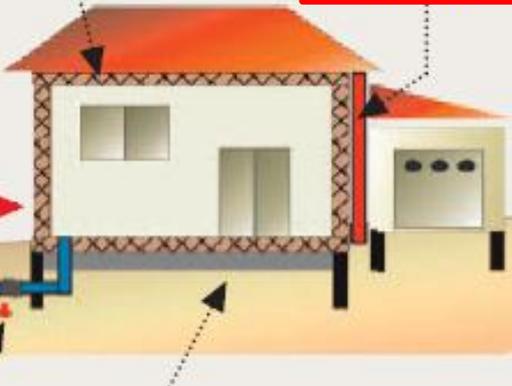
Raccordement souple

Maîtriser les eaux pluviales (réseau ou caniveau)

Limiter l'évaporation près des maisons : terrasse ou géomembrane (largeur > 1,50 m)

Joint de rupture

Caniveau



Éviter les fuites de canalisations enterrées

Sous-sol général ou vide sanitaire

Géomembrane avec retour vertical

Ancrage homogène entre amont et aval  
Profondeur d'ancrage au minimum de :  
- 0,80 m en aléa faible à moyen  
- 1,20 m en aléa fort

# Projet ARGIC

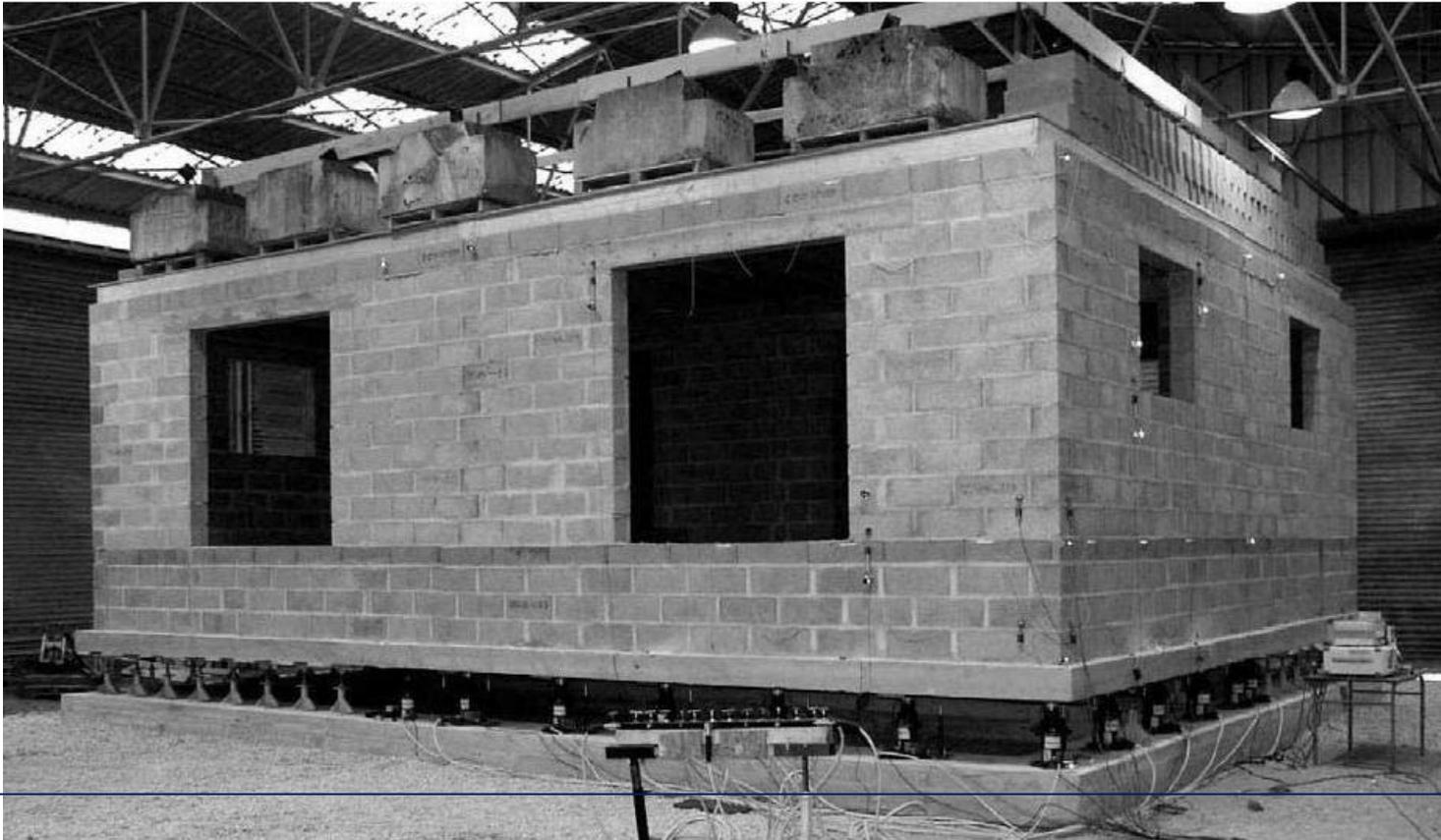
## Adaptation sol-structure

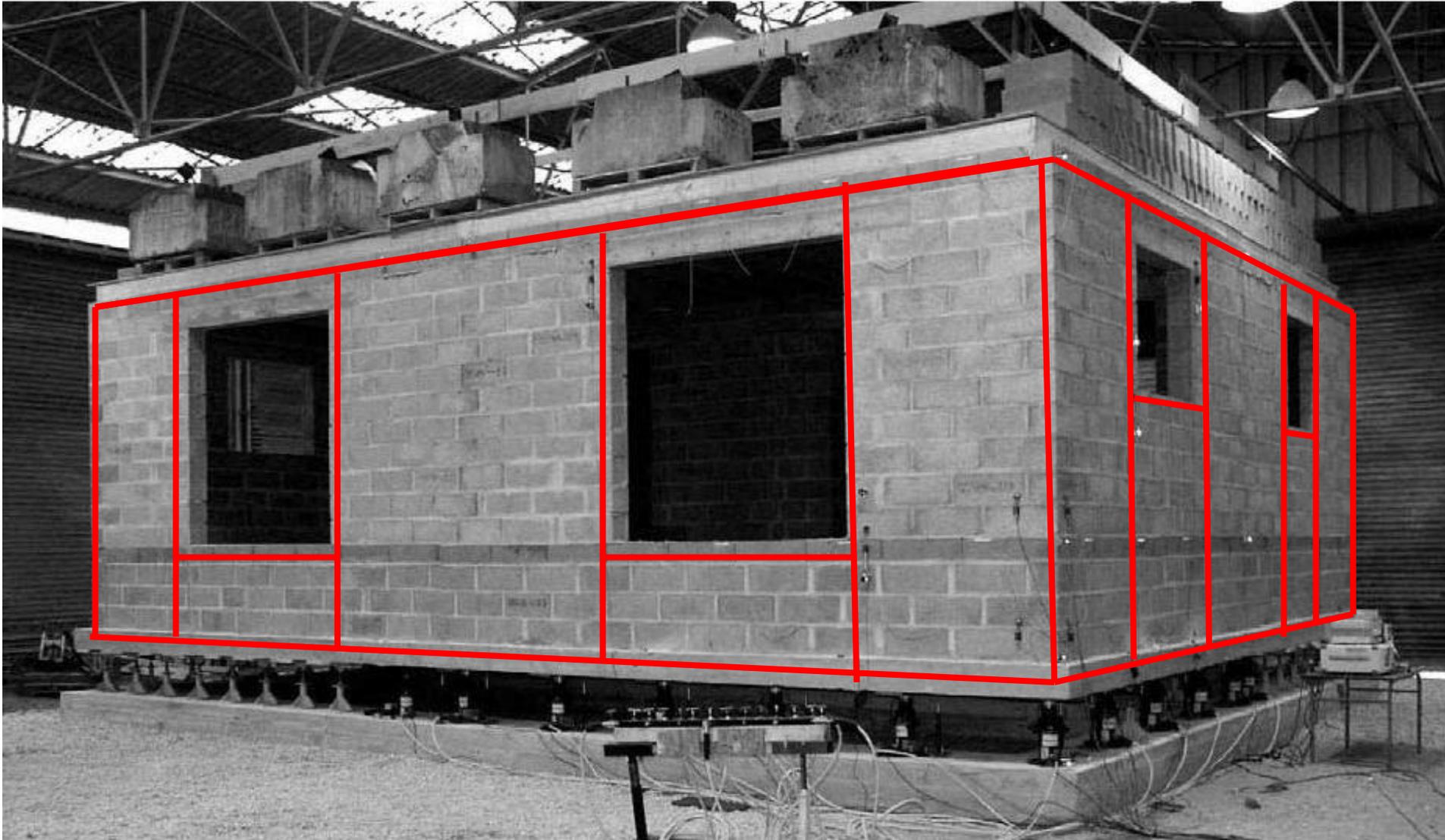
Coût 4,3 Md € entre 1989 et 2006

VRD

STRUCTURE

GEOTECHNIQUE

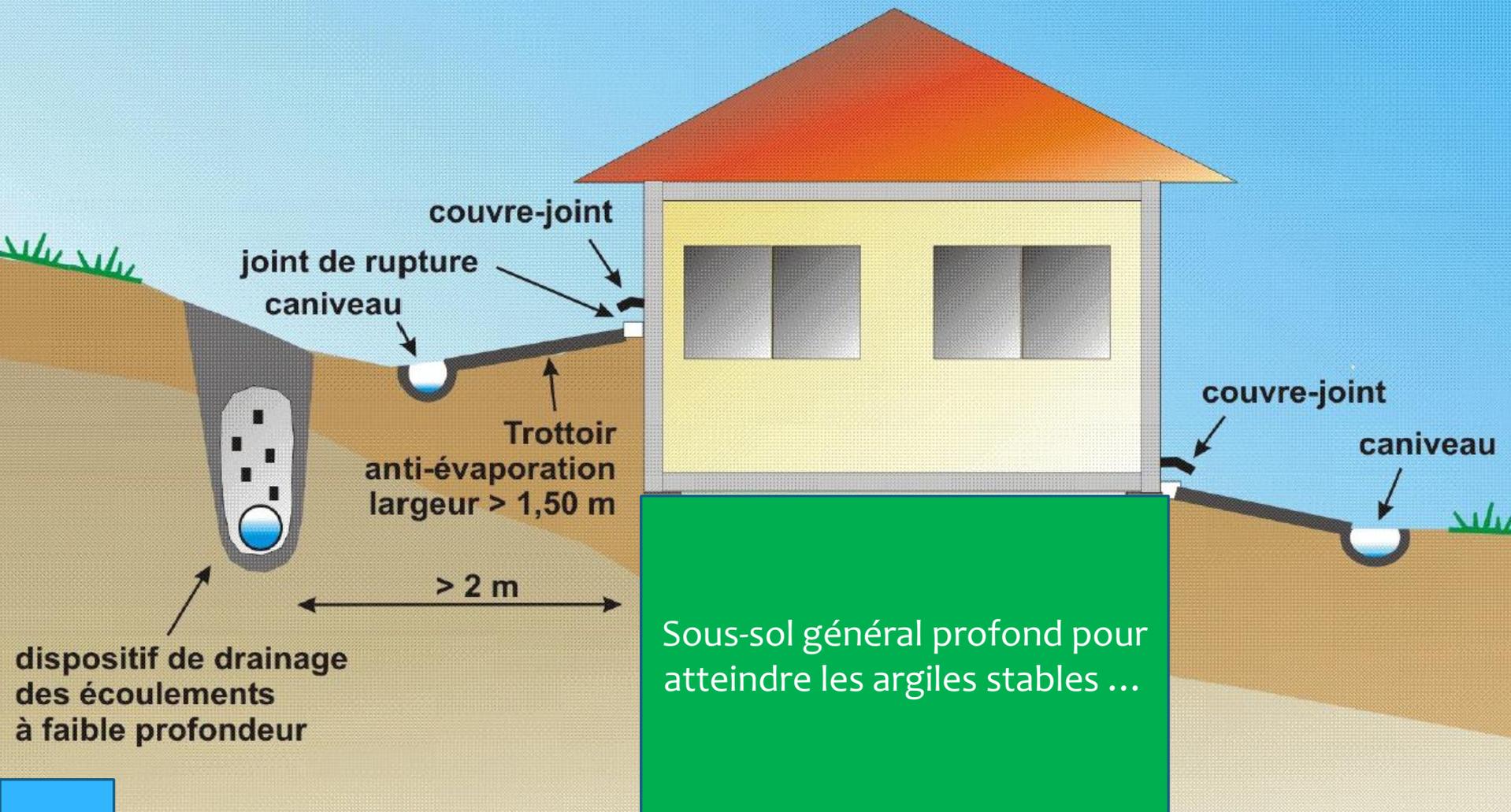




Observez la position des capteurs qui attendent les fissures...  
Suppression de l'appui des fondations en déchargeant les vérins de l'angle,  
la structure se comporte bien mieux si il y a des chaînages ....

# 6-14- Mais aussi : Le sous-sol complet

PRESCRIPTIONS POUR LES TERRAINS EN PENTE



# Plan sommaire du document :

- \* 1- **LE CONSTAT de quelques désordres**
- \* 2 - **Les causes géologiques**
- \* 3- **Comment s'y retrouver? Les mesures géotechniques**
- \* 4- **les conséquences sur les structures**
- \* 5- **Les règles de bonne adaptation au sol**
- \* 6- **Comment bien construire sur sol à variation de volume ?**
- \* 7- **Que doivent faire le sol, les fondations les structures ?**
- \* 8- **Les moyens de suivre les déformations**
- \* 9- **Comment réparer ?**
- \* 10- **Les principales conclusions**

# 7-1- En fait, les désordres se matérialisent par des déformations différentielles ...

- \* Que doit faire le sol ?
- \* Que doivent faire les fondations ?
- \* Que doivent faire les superstructures ?

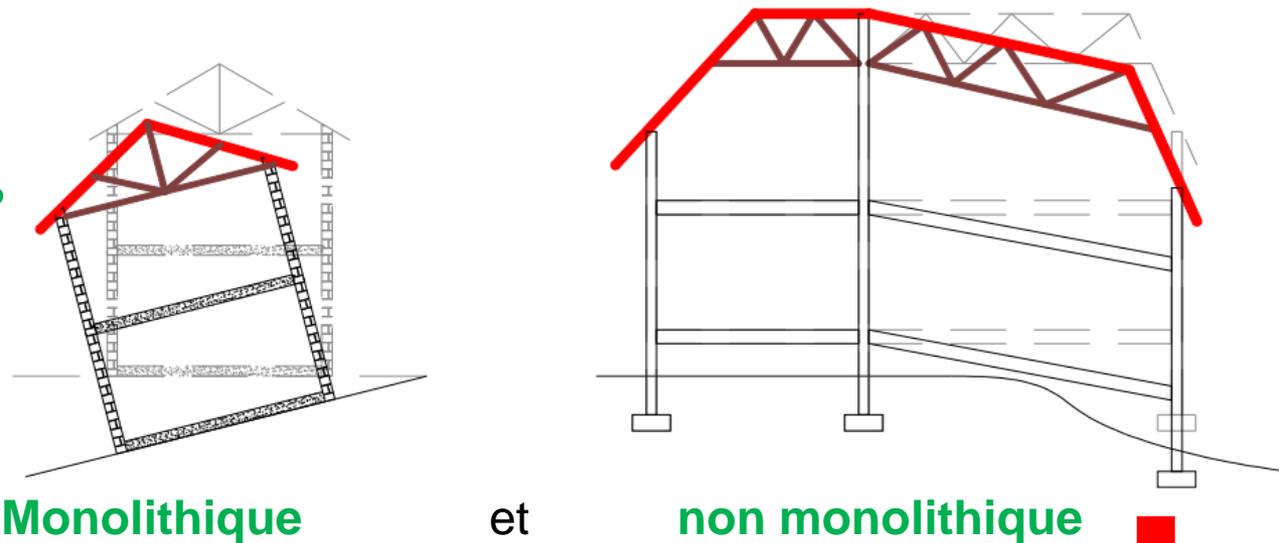


Figure 11 : Mouvements de terrain principaux

Solution qui ne  
raidit que les  
fondations...  
les fondations  
font tout, **les  
structures ne  
raidissent  
pas...!  
Utopique!**

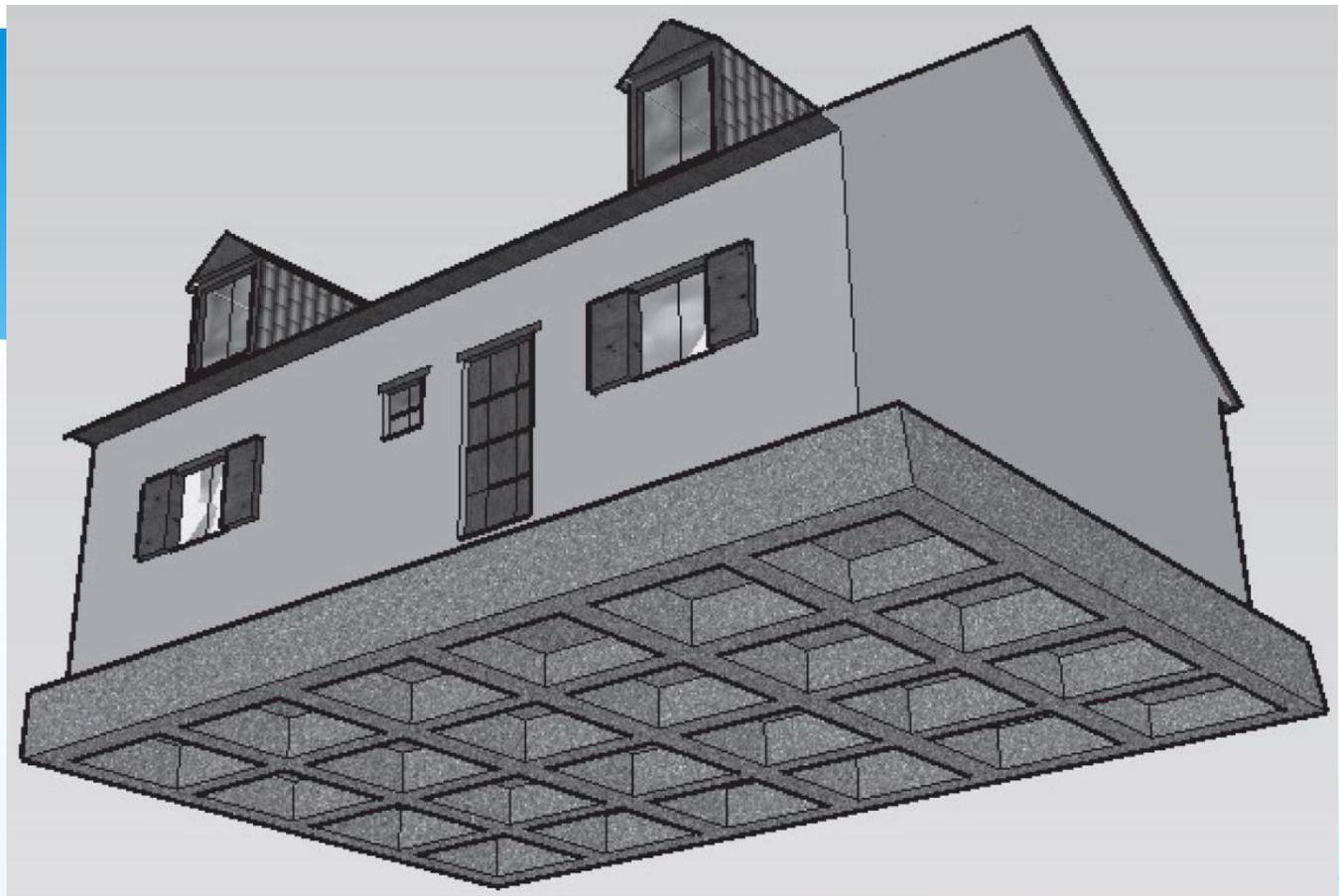


Figure 1: Radier fondation en forme de demi-gaufre [Briaud J.L., 2003]

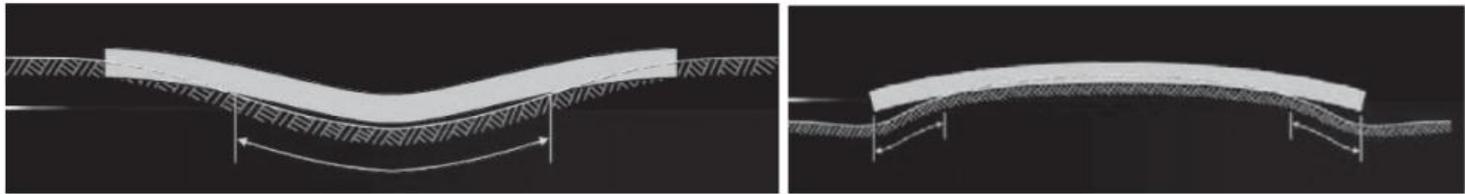
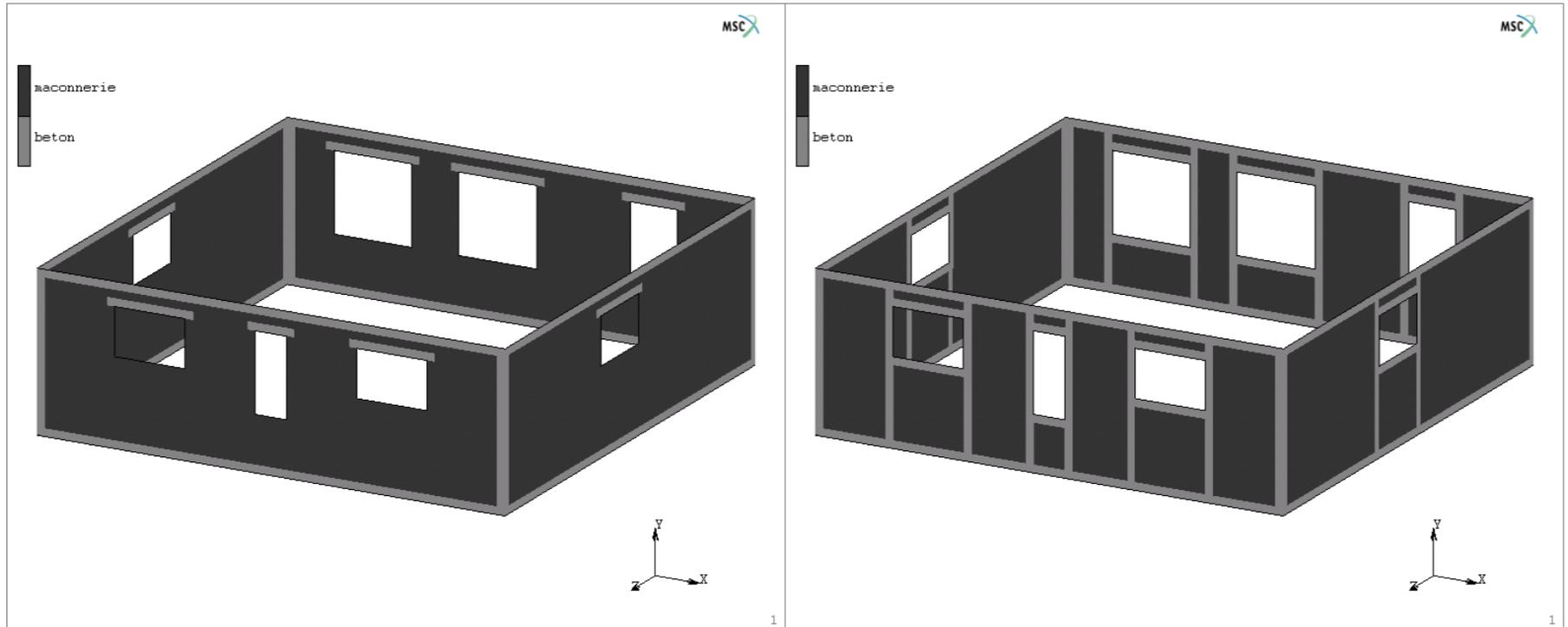


Figure 2: Effets induits par le retrait gonflement sur une dalle de rez-de-chaussée (Lytton et al., 2004)

## 7-3 - Moins c'est raide, plus ça casse...



**Figure 64 : Ouvertures dans la maison régulière fondée à 1,2 m – renforcements par simples linteaux ou par chaînages d'encadrement**

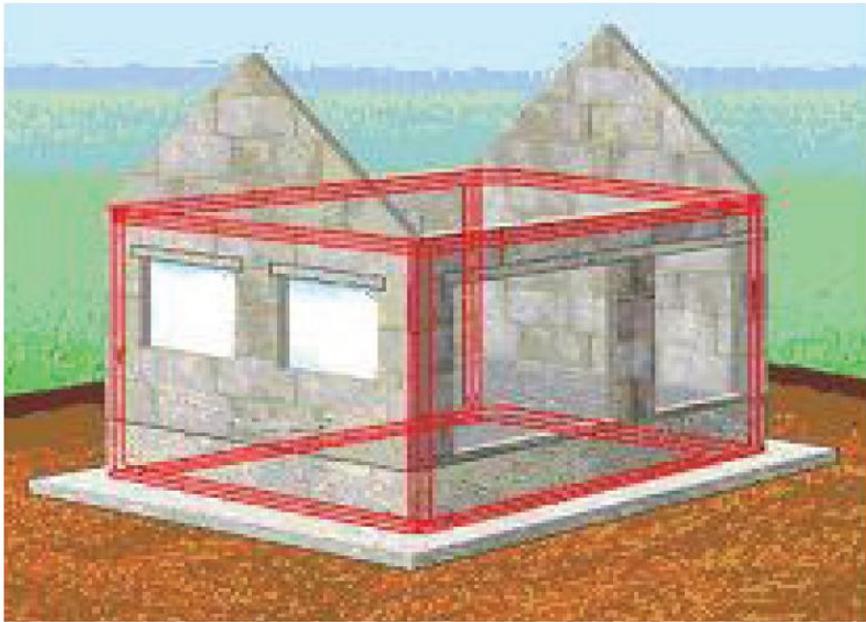
**Le deuxième, à l'expérience, est bien meilleur que le premier...  
Car la structure est moins déformable ...**

# Cherchez la fissure...!



En dessous de 1 CM par mètre linéaire, la pente ne se détecte pas...  
Il faut moins de 1,5% pour les parking de supermarché...-(CADY stable)

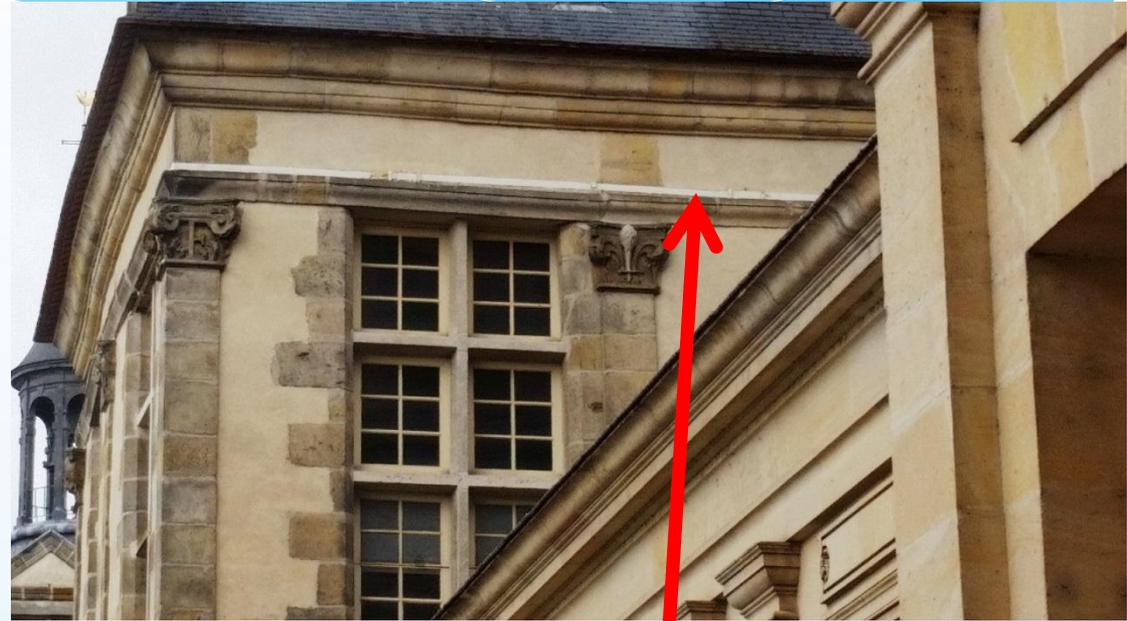
# 7-4- Donc les fondations ne font pas tout, Il faut chaîner les structures et les infrastructures...



Chaînages horizontaux et verticaux des murs porteurs  
liés selon les préconisations du DTU 20-1.  
Source : AQC

Source INTERNET

Même à Fontainebleau, le château a ses chaînages postérieurs à la construction...



Les anciens plaçaient des chaînages,  
les nouveaux les oublient....



# Beau travail de consolidation par contreforts (chaînage vertical) et chaînages horizontaux sur un bâtiment ancien réhabilité...



Passons pas les cathédrales ... Nous n'avons rien inventés depuis longtemps... Pour ce qui est des chaînages...

*Histoire des techniques*

*J P Laurent*

*2008*

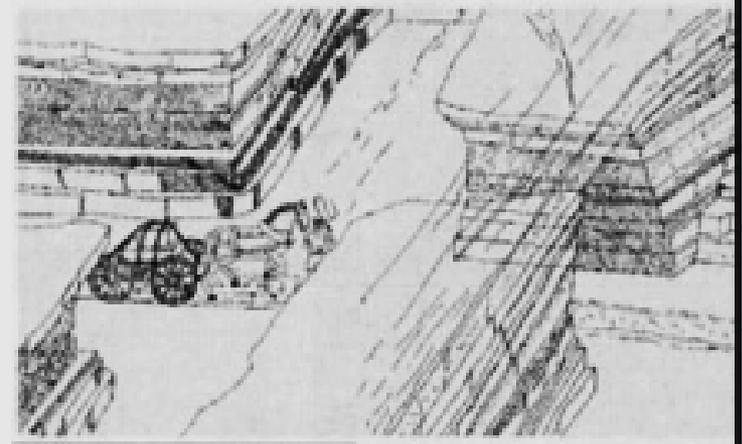
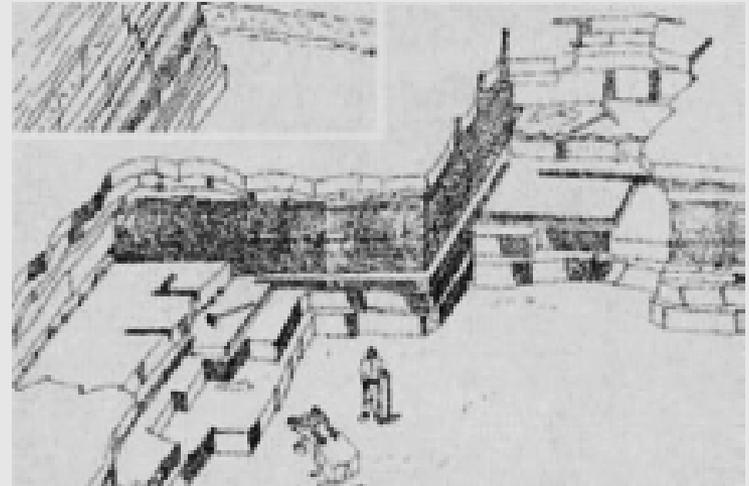
*Construction gothique*

Voir extraits ci-après

# CONSTRUCTION GOTHIQUE- Techniques de construction

## FONDATEIONS APPROXIMATIVES

- IL est peu d 'édifice construit sur pilotis (pieux)
- Les fondations sont réalisées par des massifs de blocage en pierre dont l'empattement devait permettre la répartition des charges
- Pour atténuer les effets de glissement ces fondations étaient reliées entre elles ( type semelles filantes surtout pour les colonnes)
- Souvent une liaison transversale permettait de réaliser un gril et bloquait les mouvements dans les deux directions



→ Donc peu de raideur en fondation...



- \* Mais beaucoup de tirants, ainsi la structure joue en fonction des saisons, des effets de température et du vent mais reste stable depuis des siècles...

( AMIENS)

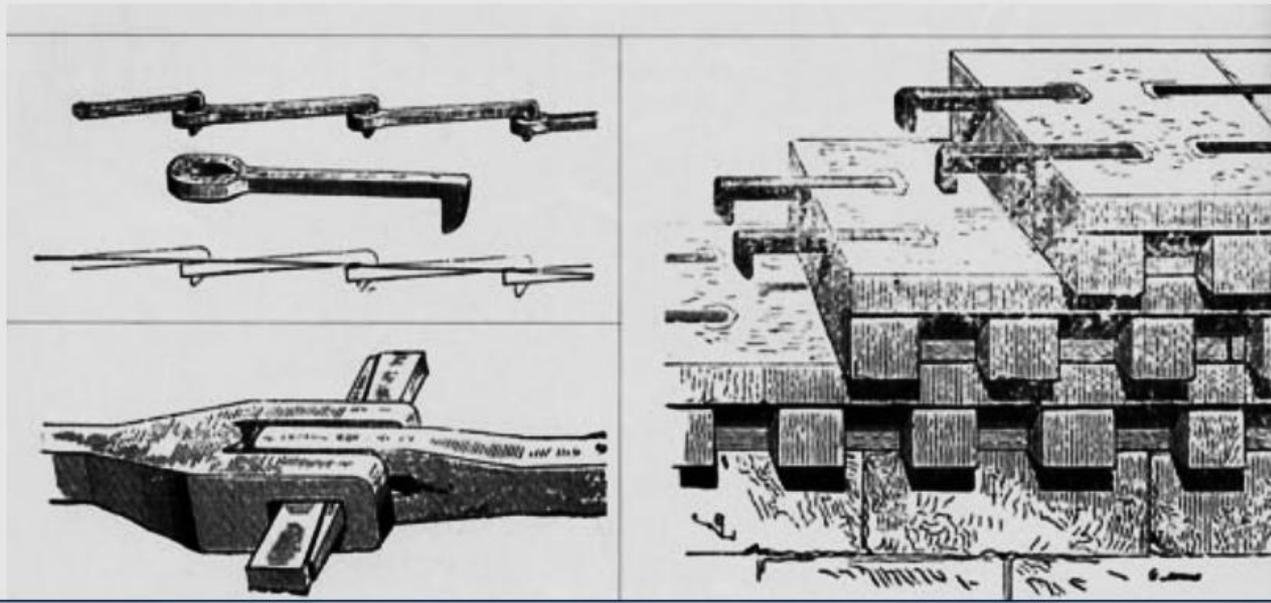
# CONSTRUCTION GOTHIQUE- Techniques de construction

## → LES CHÂINAGES ....

### MACONNERIES GOTHIQUES

#### Pierre de taille- Joints et crampons

- De plus l'épaisseur de mortier augmente permettant de renforcer à la fois la souplesse de répartition et le transfert des charges ( lits pouvant aller jusqu'à 1,5cm)
- Apparaît les attaches métalliques mais avec un scellement en plomb permettant le jeu nécessaire ;
- Certain niveau assise , toutes les pierres sont reliées entre elles par des attaches métalliques formant ceinture



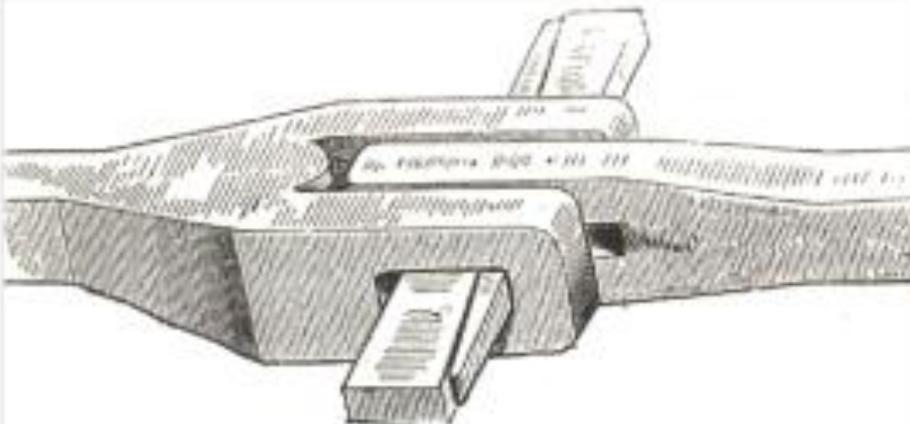
## IX. Consolidations par des barres en traction

Une utilisation capitale du fer puis de l'acier en traction dans l'histoire de la construction



Détail en fer de la Tour du Mangia du palais ducal de Sienne vers 1350

Détail de l'attache par coins biseaux



Détail d'une attache par coins biseaux d'après Eugène Viollet-le-Duc

- \* Mise en charge des tirants par glissement de deux coins métalliques



Vue générale de la tour de l'horloge de la mairie de Bologne et gros plan montrant les détails des traits de consolidations en fer

- \* Édifice de BOLOGNE
- \* (Italie) chaîné depuis des siècles

[www.constructalia.com/francais/rehabiliter\\_avec\\_lacier/ix\\_consolidations\\_par\\_des\\_barres\\_en\\_traction#.V-p6svmlRD8](http://www.constructalia.com/francais/rehabiliter_avec_lacier/ix_consolidations_par_des_barres_en_traction#.V-p6svmlRD8)

# hier

- \* Tirant de métal est ancre en fer pour retenir et chaîner les murs extérieurs

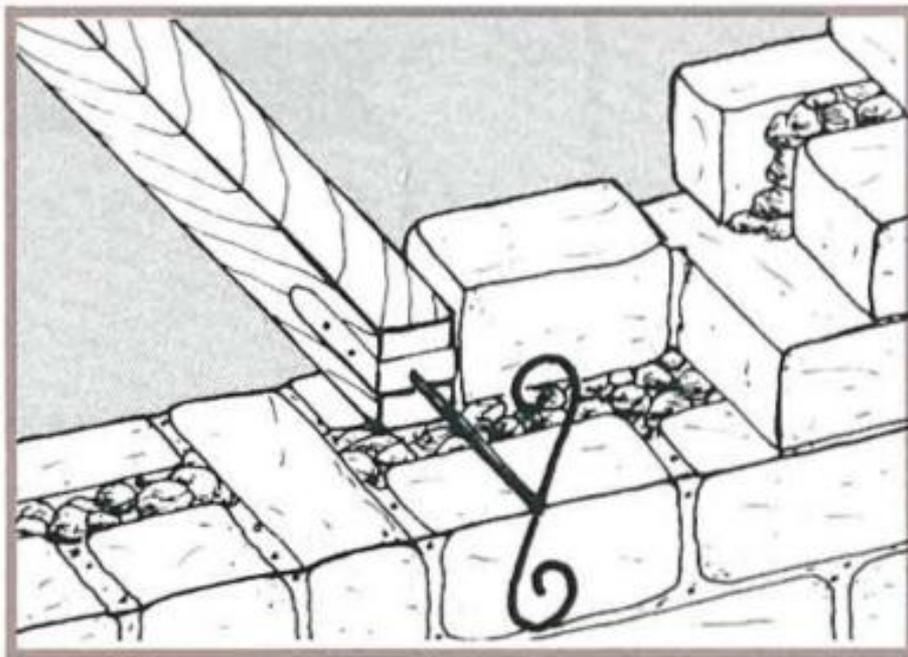


Fig 23: Plaques soudées - Italie



Fig 24: Plaques soudées de faible épaisseur - Basilicata (Italie)



Détail de la ceinture de maçonnerie

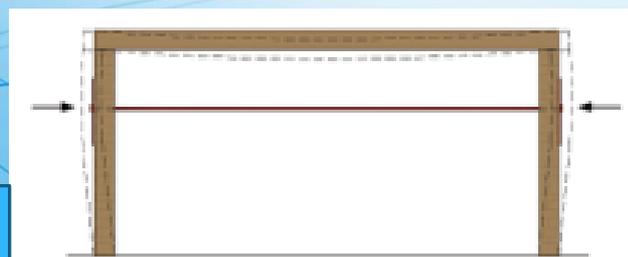
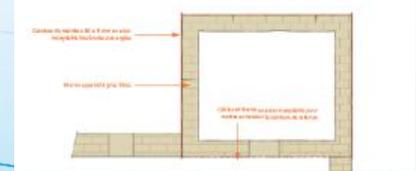
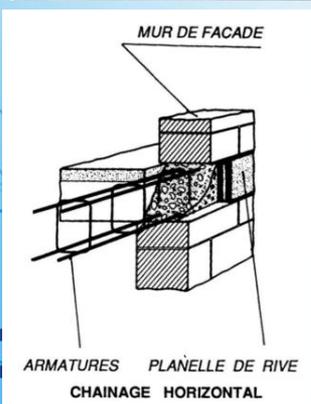
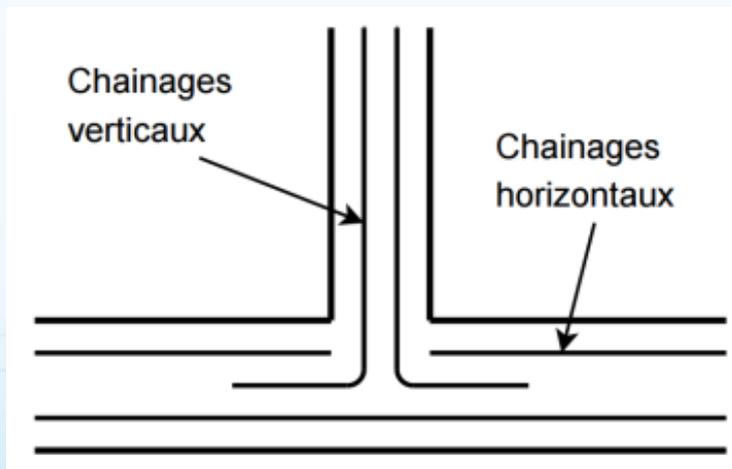
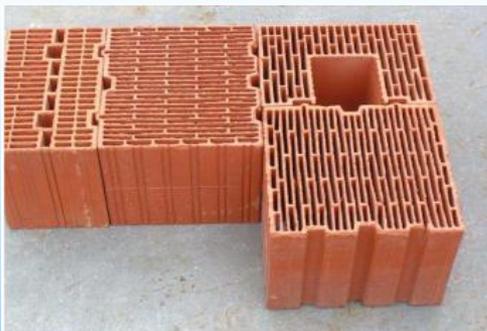


Schéma de principe de la consolidation

Nous annonçons la création de **BESTREMA**, un bureau d'études structure basé à Paris, s de cette société est de participer à la diffusion des connaissances sur la structure des mo

Les nouveaux articles que nous écrivons seront désormais mis en ligne sur [bestrema.fr](http://bestrema.fr)

# Aujourd'hui:



# 7-5- Chaîner les structures ...

Direction de la Prévention des pollutions et des risques - Sous-direction de la Prévention des risques majeurs  
20, avenue de Ségur, 75302 Paris 07 SP - <http://www.ecologie.gouv.fr> - <http://www.prim.net>

**Conditions de mise en œuvre :** Le dispositif mis en œuvre doit suivre les préconisations formulées dans le DTU 20.1 :

- « *Les murs en maçonnerie porteuse et les murs en maçonnerie de remplissage doivent être ceinturés à chaque étage, au niveau des planchers, ainsi qu'en couronnement, par un chaînage horizontal en béton armé, continu, fermé ; ce chaînage ceinture les façades et les relie au droit de chaque refend* ». Cette mesure s'applique notamment pour les murs pignons au niveau du rampant de la couverture.

- « *Les chaînages verticaux doivent être réalisés au moins dans les angles saillants et rentrant des maçonneries, ainsi que de part et d'autre des joints de fractionnement du bâtiment* ».

La liaison entre chaînages horizontaux et verticaux doit faire l'objet d'une attention particulière : ancrage des armatures par retour d'équerre, recouvrement des armatures assurant une continuité.

Les armatures des divers chaînages doivent faire l'objet de liaisons efficaces (recouvrement, ancrage, etc.), notamment dans les angles du bâtiment.

**Mesures d'accompagnement :** D'autres mesures permettent de rigidifier la structure :

- la réalisation d'un soubassement « monobloc » (préférer les sous-sols complets aux sous-sols partiels, les radiers ou les planchers sur vide sanitaire, plutôt que les dallages sur terre-plein) ;

# 7-6- CHAÎNAGES HORIZONTAUX - DTU 20 1

*Norme française homologuée* par décision du Directeur Général d'AFNOR le 10 septembre 2008 pour prendre effet le 10 octobre 2008.

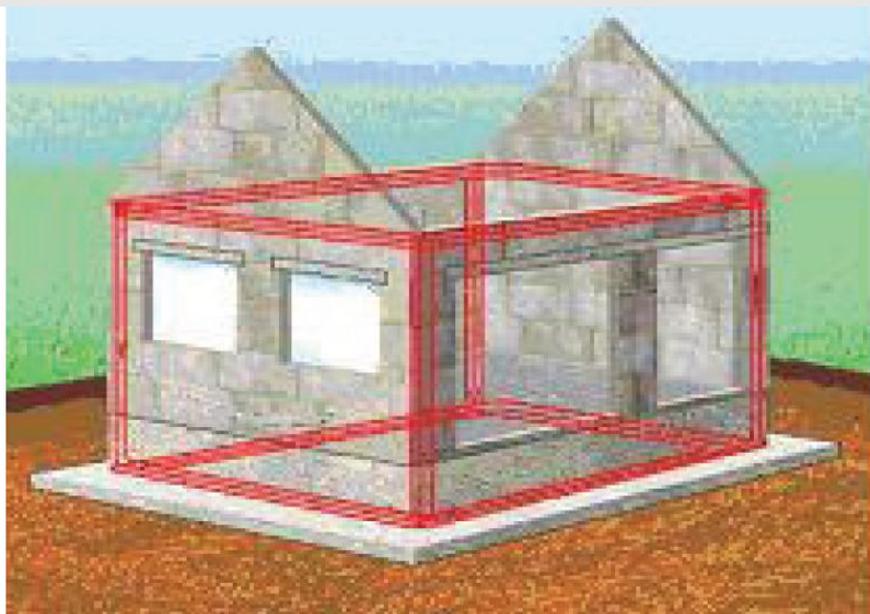
Avec la partie P1-2 de la norme homologuée NF DTU 20.1, remplace la norme expérimentale P 10-202-1, d'avril 1994 et ses amendements A1, de décembre 1995 et A2, de décembre 1999.

## Analyse

Le présent document a pour objet de définir les dispositions constructives minimales applicables aux **maçonneries** traditionnelles de petits éléments dont l'exécution est définie dans la norme NF DTU 20.1 P1-1.

### 6.2.1 Chaînages horizontaux

La section des armatures des chaînages horizontaux en béton armé, obligatoires au niveau de chaque plancher ou de dallage, doit respecter les dispositions de la norme [NF DTU 20.1 P4](#), Règles de calcul et dispositions constructives minimales. Cette prescription s'applique également aux murs de combles, dont la hauteur est supérieure à 0,60 m.



Chaînages horizontaux et verticaux des murs porteurs  
liaisonnés selon les préconisations du DTU 20-1.

Source : AQC

Transformer les structures en  
« caisse à bière indéformable »



# Chaînage à postérieur...

Histoire belge...



# 7-7- CHAÎNAGES HORIZONTAUX - DTU 20 1

## 3.1.1 Chaînages horizontaux

Les murs en **maçonnerie** porteuse et en **maçonnerie** de remplissage sont ceinturés au niveau du plancher bas du rez-de-chaussée ou du dallage, à chaque étage, au niveau des planchers, ainsi qu'en couronnement des murs libres en tête, par un chaînage horizontal en béton armé, continu, fermé ; ce chaînage ceinture les façades et les relie au droit de chaque refend.

### NOTE

Dans le cas de **maçonnerie** de remplissage, la fonction de chaînage est normalement assurée par l'ossature.

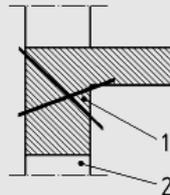
### 3.1.1.1 Section transversale du béton

La section transversale du béton de ces chaînages doit être limitée en façade ([Figure 1](#)).

### NOTE

Les sections importantes de béton constituent, en l'absence de précautions particulières, une source de désordres dans les **maçonneries**.

Figure 1 Disposition proscrite



### Légende

- 1 Chaînage
- 2 Mur en maçonnerie

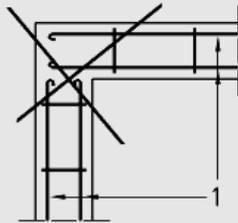
En général, la hauteur d'un chaînage de façade est celle du plancher qui lui est associée ([Figure 2](#)). Dans le cas de planchers autres que les planchers en béton armé (par exemple, planchers à solivages en bois ou en métal, certains planchers en béton précontraint ne comportant pas d'armatures dépassant en about, etc.), des chaînages plats peuvent être réalisés ([Figure 3](#)).

# 7-8- CHAÎNAGES HORIZONTAUX - DTU 20 1

## 3.1.1.2 Armatures

Les armatures des chaînages horizontaux doivent respecter les règles de bonne construction du béton armé (recouvrements, ancrages, etc.). Des liaisons efficaces doivent être assurées entre les armatures des divers chaînages (Figures 4 et 5).

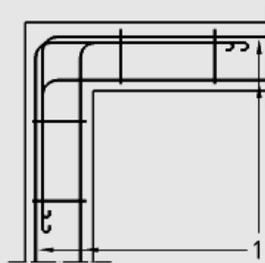
Figure 4 Disposition proscrite



### Légende

1 Chaînage horizontal

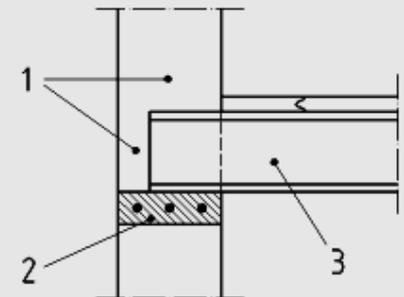
Figure 5 Disposition conforme



### Légende

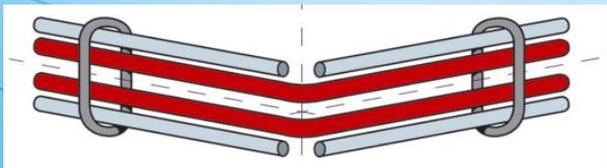
1 Chaînage horizontal

Figure 3 Chaînage plat



### Légende

- 1 Maçonnerie
- 2 Chaînage plat
- 3 Plancher en bois ou en métal



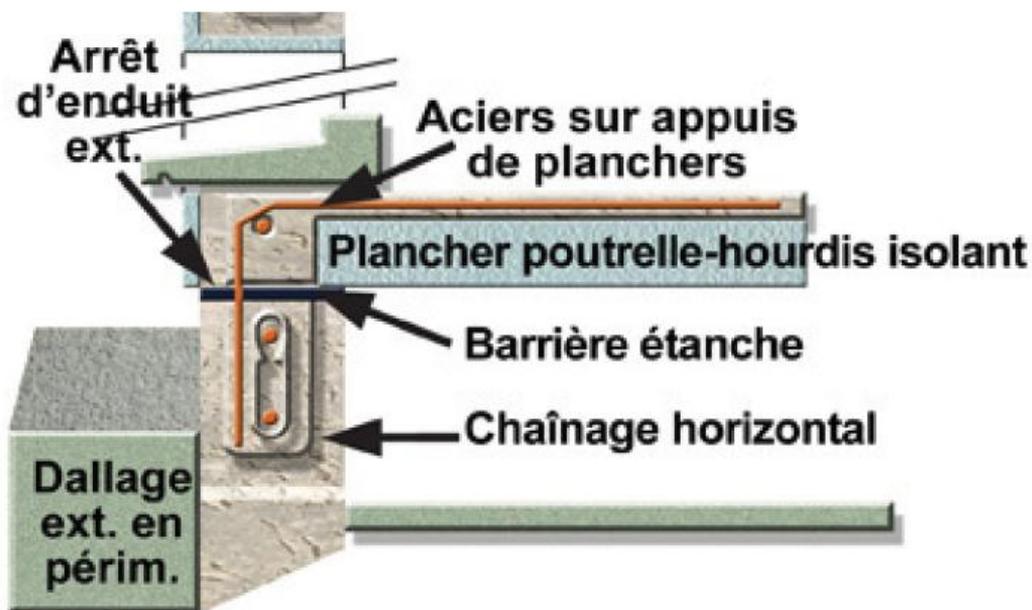
**Au moins depuis l'année 1995**



Les fondations en 3D d'une maison individuelle - Je construis ma maison avec Standarm

**Au moins depuis l'année 1995**

En particulier, au niveau de chaque plancher ainsi qu'au couronnement des murs, la continuité et le recouvrement des armatures de chaînage concourants en un même nœud permettent de prévenir la rotation de plancher. Ainsi, la structure résistera mieux aux mouvements différentiels.



Exemple de chaînage horizontal  
Source : d'après AQC

De plus, le DTU recommande des chaînages verticaux (poteaux d'angles), mesure qui devient obligatoire lorsque le plancher haut du dernier étage est en béton armé ou précontraint.

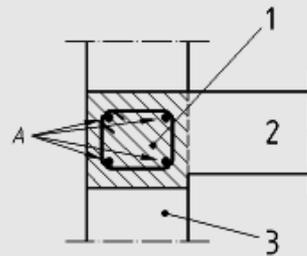
Il est conseillé de poser à chaque angle de la construction un bloc spécial à armatures croisées et dans lequel on aura déposé une armature spéciale (poteau). Ce bloc sera relié à la fondation puis

Source INTERNET

**Au moins depuis l'année 1995**

# 7-10- CHAÎNAGES HORIZONTAUX - DTU 20 1

Figure 6 Armatures minimales des chaînages



## Légende

- 1 Chaînage
- 2 Plancher
- 3 Mur

La section hachurée correspond à la section concernée par le chaînage.

En outre, la section des armatures longitudinales des chaînages  $A_n$ , telle qu'elle résulte du pourcentage précédent, ne peut être inférieure à :

- $3 \text{ cm}^2$  dans le cas d'aciers de la nuance FeE235 ;
- $1,57 \text{ cm}^2$  dans le cas d'aciers de la nuance FeE400 ;
- $1,50 \text{ cm}^2$  dans le cas d'aciers des nuances FeE450 et FeE500.

**Au moins depuis l'année 1995**

# 7-11- CHAÎNAGES VERTICAUX - DTU 20 1

**Norme française homologuée** par décision du Directeur Général d'AFNOR le 10 septembre 2008 pour prendre effet le 10 octobre 2008.

Avec la partie P1-2 de la norme homologuée NF DTU 20.1, remplace la norme expérimentale P 10-202-1, d'avril 1994 et ses amendements A1, de décembre 1995 et A2, de décembre 1999.

## 6.2.2 Chainages verticaux

Leur section doit permettre la mise en place correcte du béton.

### NOTE

Une alvéole de section carrée de 10 cm de côté ou circulaire de 10 cm de diamètre est, en général, suffisante.

Ils sont réalisés en utilisant de préférence des blocs spéciaux, dits blocs d'angle (Figure 12) en cas d'isolation par l'intérieur ou répartie permettant de réaliser l'habillage requis (Figure 13 b).

À l'inverse, en cas d'isolation par l'extérieur, les chaînages verticaux peuvent régner sur toute l'épaisseur de murs adjacents (Figure 13 a).

Figure 12 Exemples de blocs spéciaux d'angle

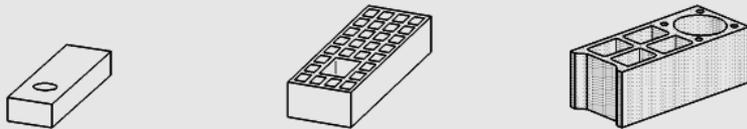
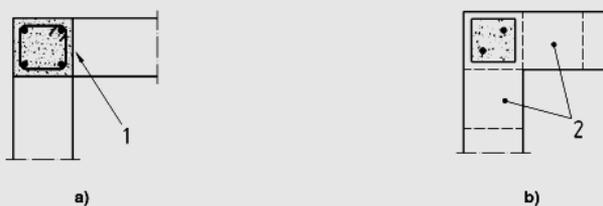
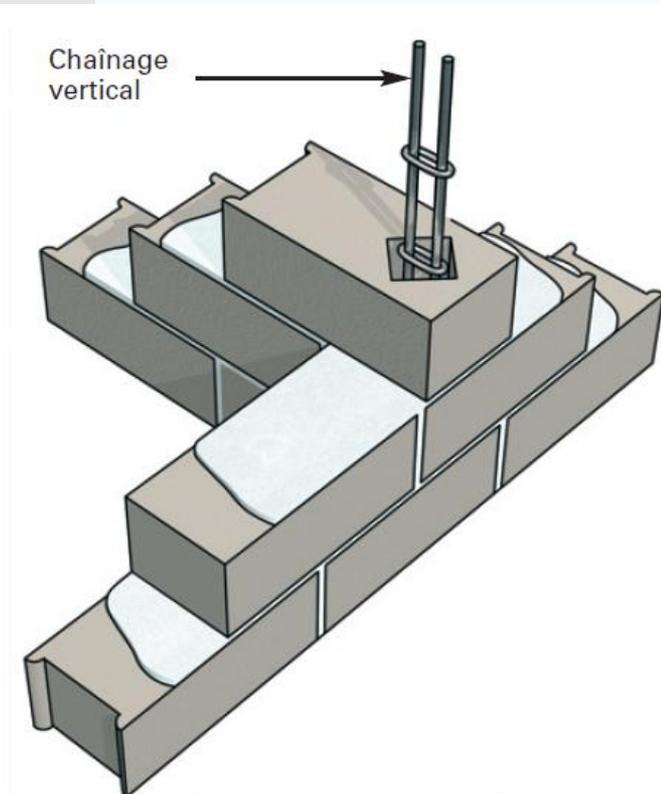


Figure 13 Exemples de chaînages verticaux



### Légende

- 1 Chaînage d'angle
- 2 Blocs spéciaux d'angle



**Au moins depuis l'année 1995**

# 7-12- Et CHAÎNAGES VERTICAUX - DTU 20 1

## 3.1.2 Chaînages verticaux

Sauf exception, des chaînages verticaux doivent être établis lorsque les deux conditions ci-après sont réunies :

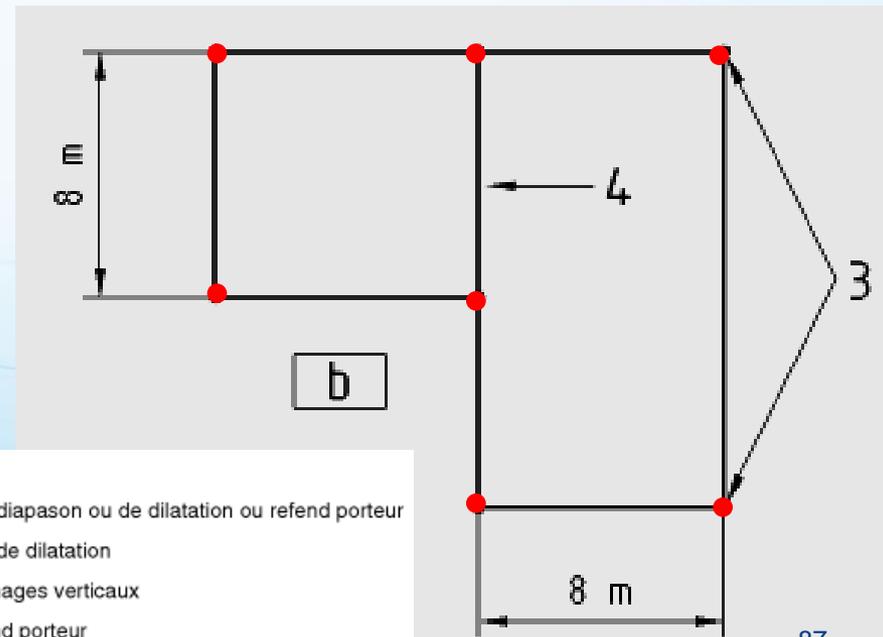
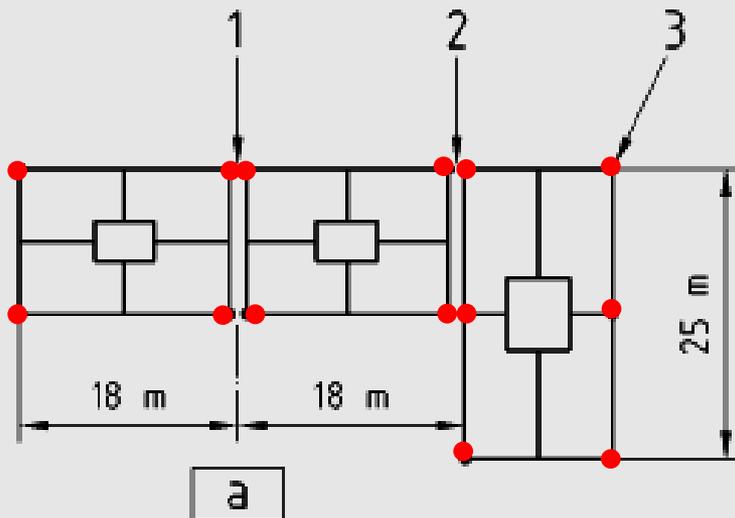
- les murs en **maçonnerie** sont porteurs ;
- ces murs sont réalisés avec l'un des matériaux ci-après (référéncés dans la norme [NF DTU 20.1 P1-2](#)) :
  - briques creuses de terre cuite (à face de pose continue ou à rupture de joint) à perforations horizontales ;
  - briques de terre cuite à perforations verticales à enduire ou destinées à rester apparentes ;
  - blocs creux de granulats courants ;
  - blocs creux de granulats légers ;
  - blocs de béton cellulaire autoclavé.

### NOTE 1

L'utilité des chaînages verticaux est double : ils ceinturent la **maçonnerie** en liaison avec les chaînages horizontaux et s'opposent, par ailleurs, au soulèvement des dalles de planchers en béton armé dans les angles.

Ces chaînages doivent être réalisés au moins dans les angles saillants et rentrants des **maçonneries**, ainsi que de part et d'autre des joints de fractionnement du bâtiment (Figure 8).

Figure 8 Exemples d'implantation des chaînages verticaux pour immeuble collectif et maison individuelle (a) et coupe horizontale (b)



### Légende

- 1 Joint diapasone ou de dilatation ou refend porteur
- 2 Joint de dilatation
- 3 Chaînages verticaux
- 4 Refend porteur

**Au moins depuis l'année 1995**

# 7-13- CHAÎNAGES VERTICAUX - DTU 20 1

## 6.2.2.1 Armatures des chaînages verticaux

La section d'armatures des chaînages verticaux, réalisée en acier à haute adhérence de la nuance Fe E 500, doit être au moins équivalente à celle qui correspond à 2 HA 10.

Ces armatures doivent être ancrées par retour d'équerre dans les planchers ou les chaînages horizontaux.

### NOTE

Les recouvrements sont établis pour assurer la continuité entre chaînages verticaux et horizontaux ([NF DTU 20.1 P4](#), Règles de calcul et dispositions constructives minimales).

## 6.2.2.2 Chaînages verticaux complémentaires

Des chaînages verticaux intermédiaires seront également prévus dans ces murs dans le cas où leur longueur le justifie, selon [NF DTU 20.1 P4](#) (Règles de calcul) et en l'absence de dispositif temporaire de contreventement.

**Raidisseur –  
règle AQC  
P.S.87-**

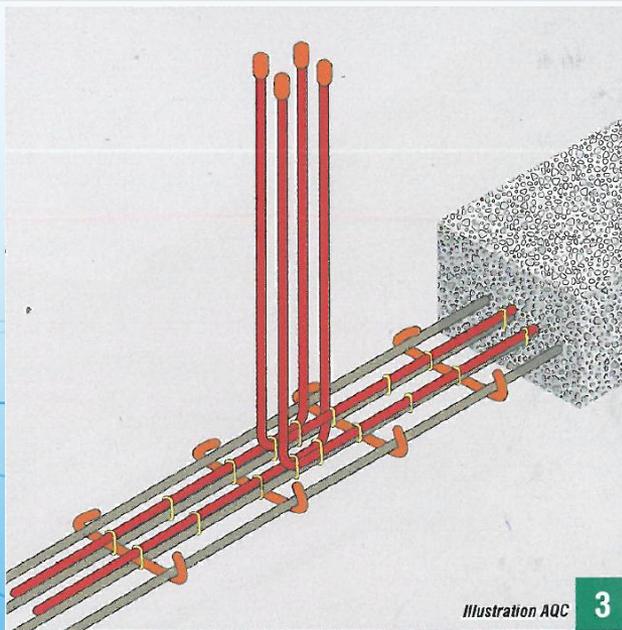
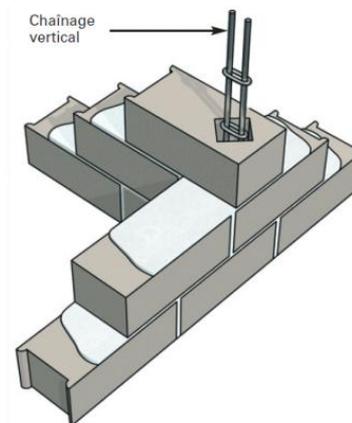


Illustration AQC

3

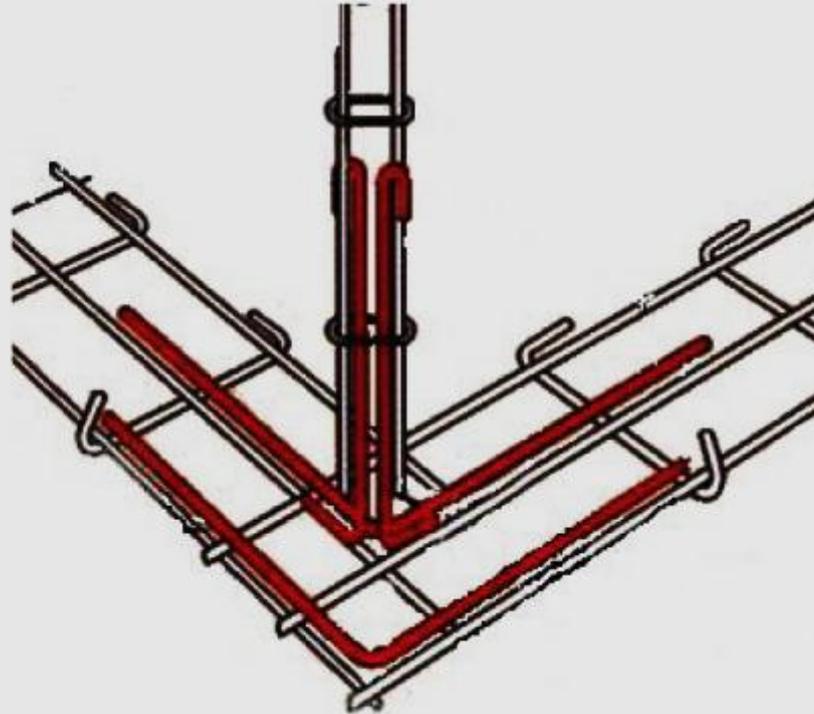
### Jonctions avec les refends

Pour la jonction avec les refends, la solution de base consiste à effectuer le montage simultané des deux murs avec croisement des éléments d'un rang sur l'autre (harpage). On obtient ainsi une liaison continue entre les deux murs. L'utilisation d'éléments d'angle pour constituer le harpage permet d'incorporer un chaînage vertical.



Liaison façade/refend avec chaînage vertical

Cette armature d'angle sera reliée à l'armature chaînage (armature verticale) où sera coulé également du béton (squelette de la maison). Il existe pour les ouvertures (fenêtres, portes...) des pré-linteaux qui peuvent servir de fond de coffrage lors du coulage du béton (ils remplacent ainsi les planches de coffrage en bois).



**Armature poteau dans chaque angle de la fondation**  
Source : d'après [www.infosconstruction.com](http://www.infosconstruction.com)

# 7-15- Et Chaînage incliné sur les pointes des pignons

## 6.2.3 Chaînages inclinés

Un chaînage de couronnement en béton armé, incliné dans le cas des pointes de pignon, couronnera le mur dès lors que la hauteur sous pointe de pignon est supérieure à 1,5 m.

Les chaînages des rampants des pignons de toit peuvent être en béton armé, en éléments préfabriqués en béton, en béton cellulaire armé ; la charpente du toit en pannes s'appuie sur ces murs.

### NOTE 1

Le chaînage ne dispense pas de dispositifs temporaires de contreventement en attente de la pose de la charpente.

L'armature sera la même que celle des chaînages verticaux et sera liaisonnée à celle des chaînages verticaux ou horizontaux par des recouvrements de 50 fois le diamètre afin d'en assurer la continuité.

### NOTE 2

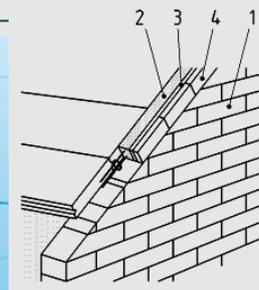
Afin d'éviter l'utilisation de planelles en façade, on pourra masquer le chaînage incliné des pignons par des planches de rives ou des rabats de la couverture (tuiles, zinc, etc.).

### NOTE 3

Le chaînage incliné pourra faciliter la fixation des sabots métalliques portant les pannes.

### NOTE 4

Dans le cas de **maçonnerie** en béton cellulaire autoclavé, il faut découper les éléments de rive à la pente voulue, soit au moyen d'une scie à lames après montage de l'ensemble des rangs, soit par découpe des éléments avant leur montage en visant à limiter la section de dressement du rampant (Figure 14).



**Au moins depuis l'année 1995**

# 7-16- Les rampants: le DTU 20.1 ( maçonnerie)

## Chaînage sur les rampants de toiture

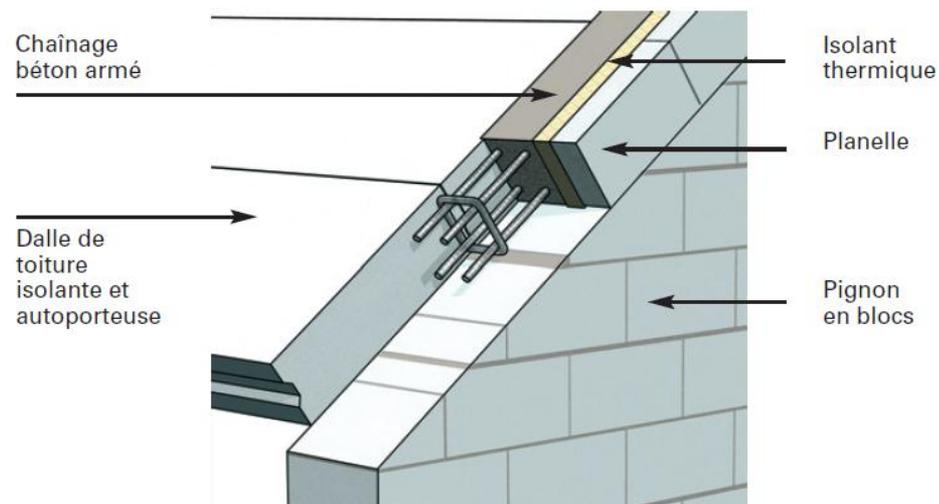
**NF DTU 20.1 P1-1**

Octobre 2008

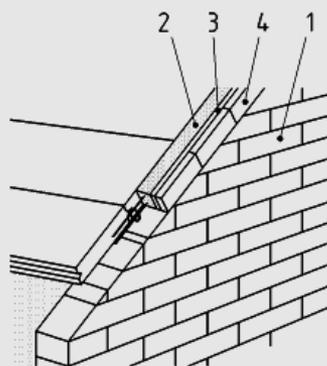
P 10-202-1-1

Pour la section de béton, on a le choix entre :

- le chaînage classique de plancher comportant une planelle de coffrage côté extérieur. Ce type de chaînage convient lorsque la pointe de pignon porte la toiture ;



Pignon et toiture en béton cellulaire, chaînage classique incliné



### Légende

- 1 Maçonnerie en élévation
- 2 Chaînage en béton armé
- 3 Isolant
- 4 Planelle

**Au moins depuis l'année 1995**

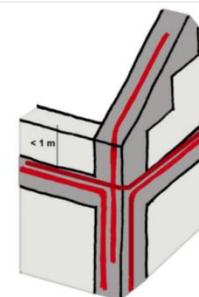
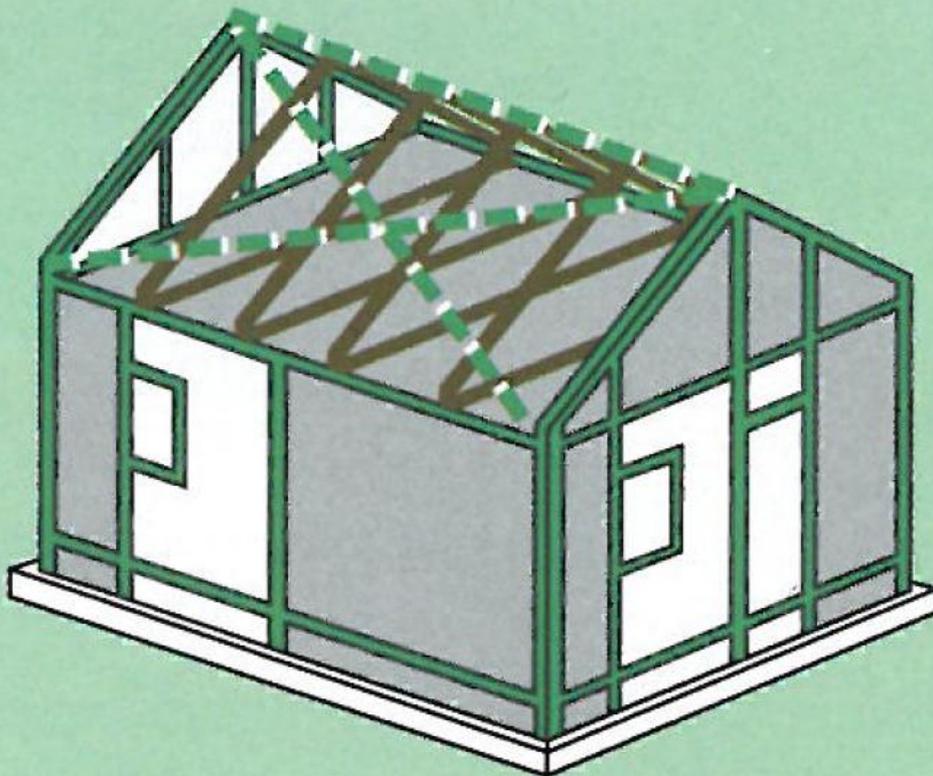


Fig. 38 - Armatures de liaison du chaînage haut du dernier niveau (une seule nappe représentée, armatures des chaînages non dessinées). Leur section totale doit être égale à celle du chaînage.

# 7-17- On retrouve les chaînages dans : AQC – Séisme -

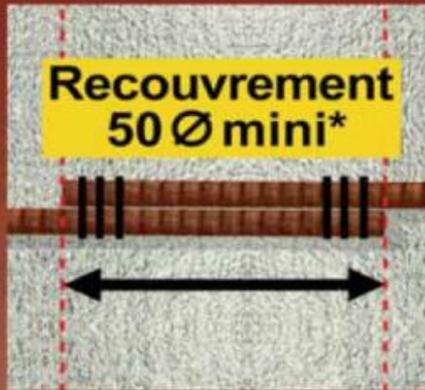
Importance des chaînages horizontaux  
et verticaux



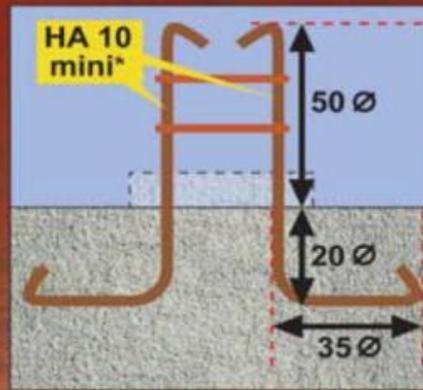
Concerne  
tous types  
de structures :  
maçonnerie,  
bois, métal...

6

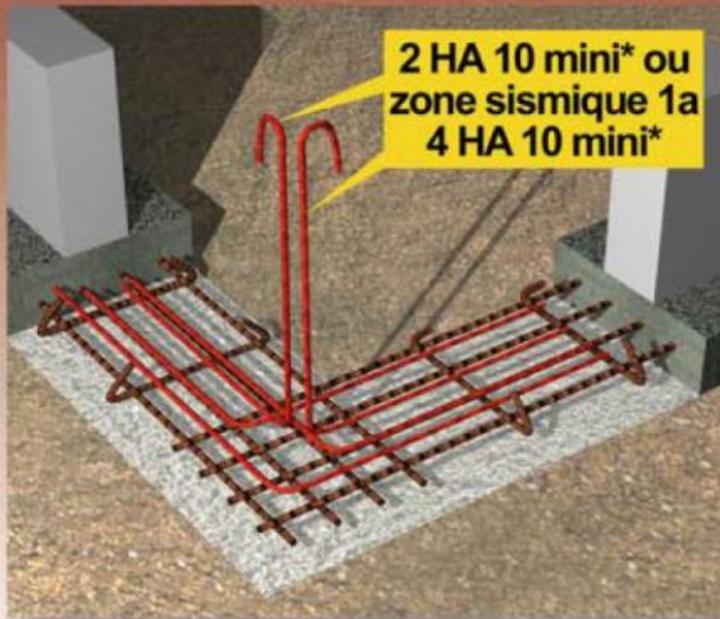
## Armatures : points singuliers



*Recouvrement des aciers*



*Attentes poteaux*



*Armatures d'angles*

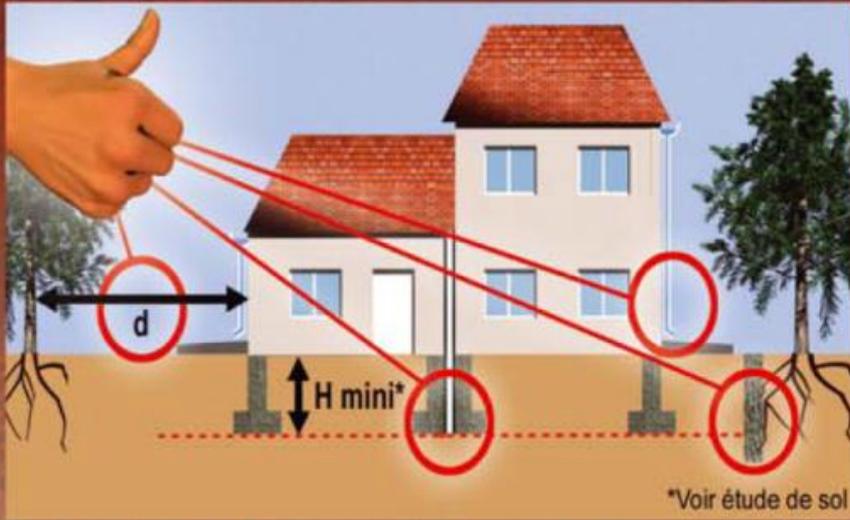
\*selon DTU 13.12  
et règles PS-MI89  
révisées 92

# 7-18- SÉISME

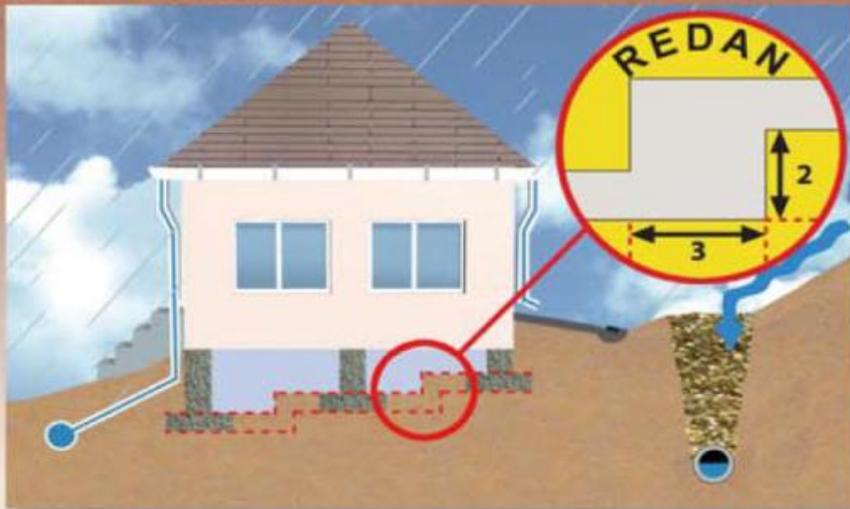
Il y a une forte similitude  
entre les chaînages des constructions  
sur sols à variation de volume  
et les chaînages demandés  
en zone fiable sismique

7

## Points particuliers



**Points sensibles**



**Terrain en pente**

# 7-19- SÉISME

Il y a une forte similitude entre les chaînages des constructions sur sols à variation de volume et les chaînages demandés en zone fiable sismique

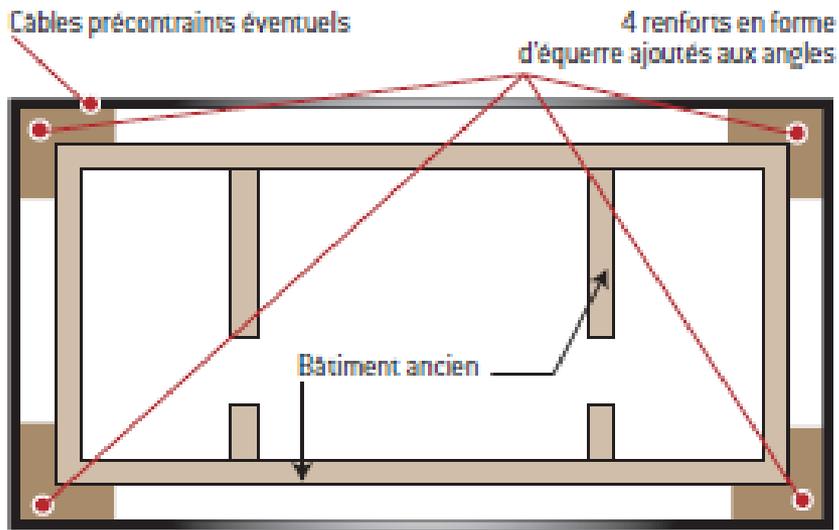
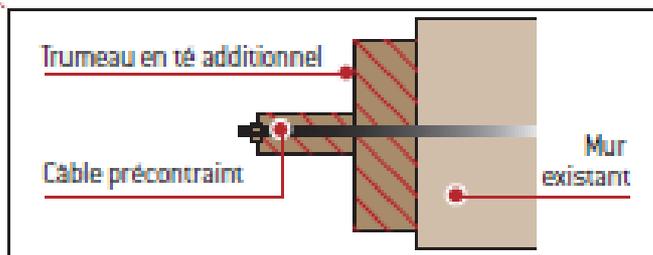
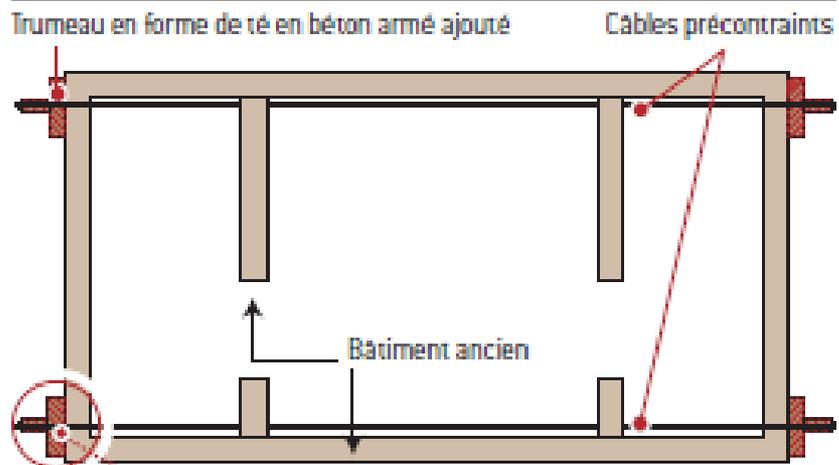


Figure 1. Exemple de renforcement par ajout de 4 renforts en forme d'équerre + serrage en précontraint (vue en plan)



Principales techniques de renforcement en sisme

# 7-20- SÉISME

## mais largement valable pour un raidissement de structure

# 7-21-

## Principales techniques de renforcement

- Renforcement du système de fondations (fig. 6, 7, 8, 9).

Objectifs :

- augmentation de la surface d'assise pour réduction de la pression sur le sol ;
- augmentation de la rigidité et renforcement du ferrailage de la semelle.

- Renforcement par application de matériaux composites (fibres carbone, verre...) ou par chemisage en béton armé (fig. 8, 10 et 11).
- Renforcement par remplissage des portiques (fig. 3 et 4).

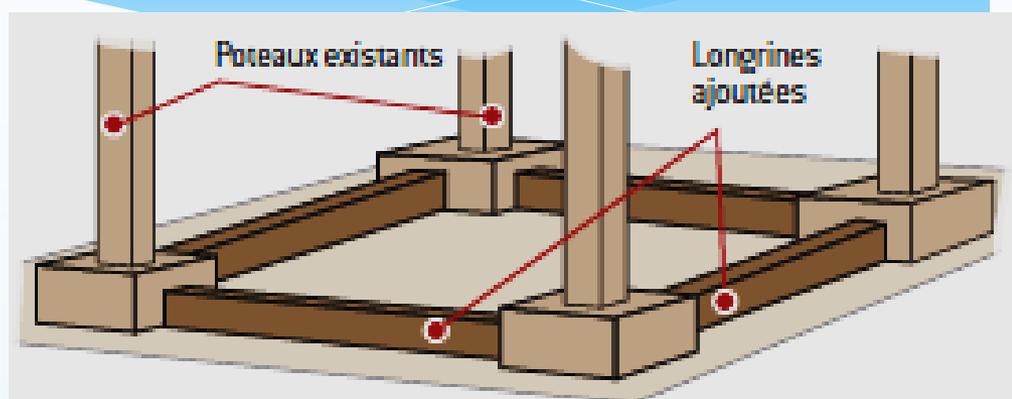


Figure 9. Fondations solidarises par ajout de longrines

**Conclusion partielle :**  
**Ne pas tout demander à  
l'indéformabilité du sol**

**Pensez à la raideur nécessaire des  
superstructures...**

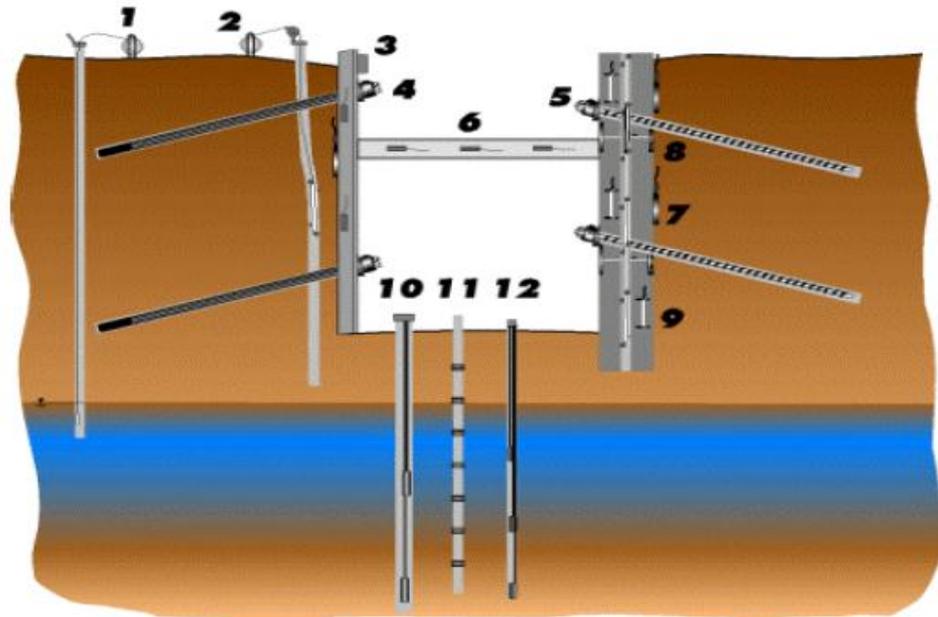
**C'est l'ensemble qui doit bien se  
comporter.**

# Sommaire du document :

- \* 1- **LE CONSTAT de quelques désordres**
- \* 2 - Les causes géologiques
- \* 3- Comment s'y retrouver? Les mesures géotechniques
- \* 4- les conséquences sur les structures
- \* 5- Les règles de bonne adaptation au sol
- \* 6- Comment bien construire sur sol à variation de volume ?
- \* 7- Que doit faire le sol, les fondations les structures ?
- \* **8- Les moyens de suivre les déformations**
- \* 9- Comment réparer ?
- \* 10- les principales conclusions

## 8- Les moyens de suivre les mouvements des structures

- 1 piézomètre ouvert
- 2 tube et sonde inclinométrique
- 3 nivelle électronique (suivi d'inclinaison)
- 4 peson de mesure de l'effort d'appui
- 5 capteur hydraulique (efforts dans l'appui)
- 6 extensomètres à corde vibrante / jauges collées
- 7 capteur de contraintes totales intégré dans une paroi moulée
- 8 capteur de contraintes totales accroché à la surface de la structure
- 9 extensomètres à corde vibrante / jauge de déformation intégrée à la structure
- 10 piézomètre fermé
- 11 extensomètre mobile, type INCREX (distance entre des points de mesure)
- 12 extensomètre fixe (distance entre encastrement et tête)



Doc internet :

Figure 2.2. Exemple d'outils d'instrumentation pour une excavation.  
Example of measurement devices for an excavation. (Boart Longyear Interfels)

# Une mesure de pente à partir d'une horizontale émise par un LASER de mur à mur donne une réponse globale et rapide.



2,75 CM puis 6,5 CM puis 10,5CM montrent une pente que l'oeil ne peut pas voir.

En dessous de 1 CM par mètre linéaire, la pente ne se détecte pas...  
Il faut moins de 1,5% pour les parking de supermarché...-(CADY stable)

# Sommaire du document :

- \* 1- LE CONSTAT de quelques désordres
- \* 2 - Les causes géologiques
- \* 3- Comment s'y retrouver? Les mesures géotechniques
- \* 4- les conséquences sur les structures
- \* 5- Les règles de bonne adaptation au sol
- \* 6- Comment bien construire sur sol à variation de volume ?
- \* 7- Que doivent faire le sol, les fondations les structures ?
- \* 8- Les moyens de suivre les déformations
- \* 9- **Comment réparer ?**
- \* 10- Les principales conclusions

# 9- Comment réparer

?

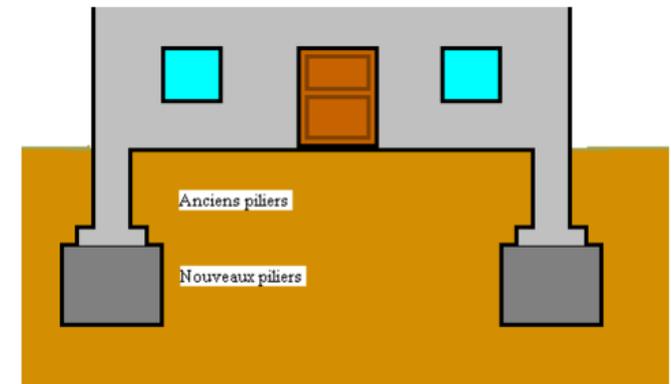


Figure I-32 : Reprise en sous-œuvre : piliers (schéma de S.Trillaud)

- Poser d'autres pieux ainsi qu'un cerclage en béton qui iront s'ancrer sous la zone active, ou au moins dans une zone plus stable et plus dense, subissant moins de variation d'humidité;

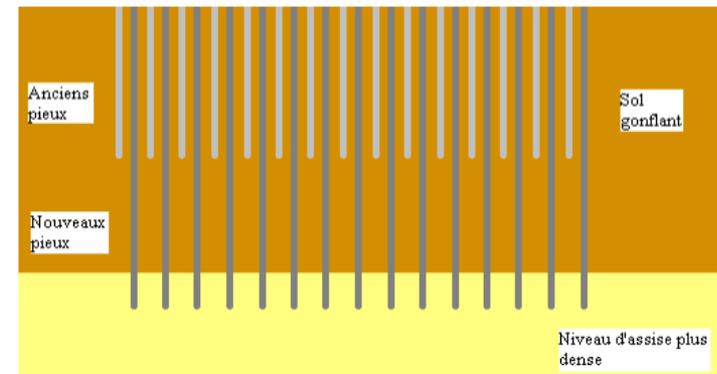


Figure I-33 : Reprise en sous-œuvre : pieux (schéma de S.Trillaud)

- Reprendre en sous-œuvre par ajout d'un vide sanitaire sous le bâtiment (qui n'a pas été conçu pour) et donc reprendre toute la structure afin de l'adapter à ses nouvelles fondations (ajout de vérins).
- Reprendre en sous-œuvre par ajout d'un vide sanitaire sous le bâtiment (qui n'a pas été conçu pour) et donc reprendre toute la structure afin de l'adapter à ses nouvelles fondations (ajout de vérins).

REPUBLIQUE FRANÇAISE



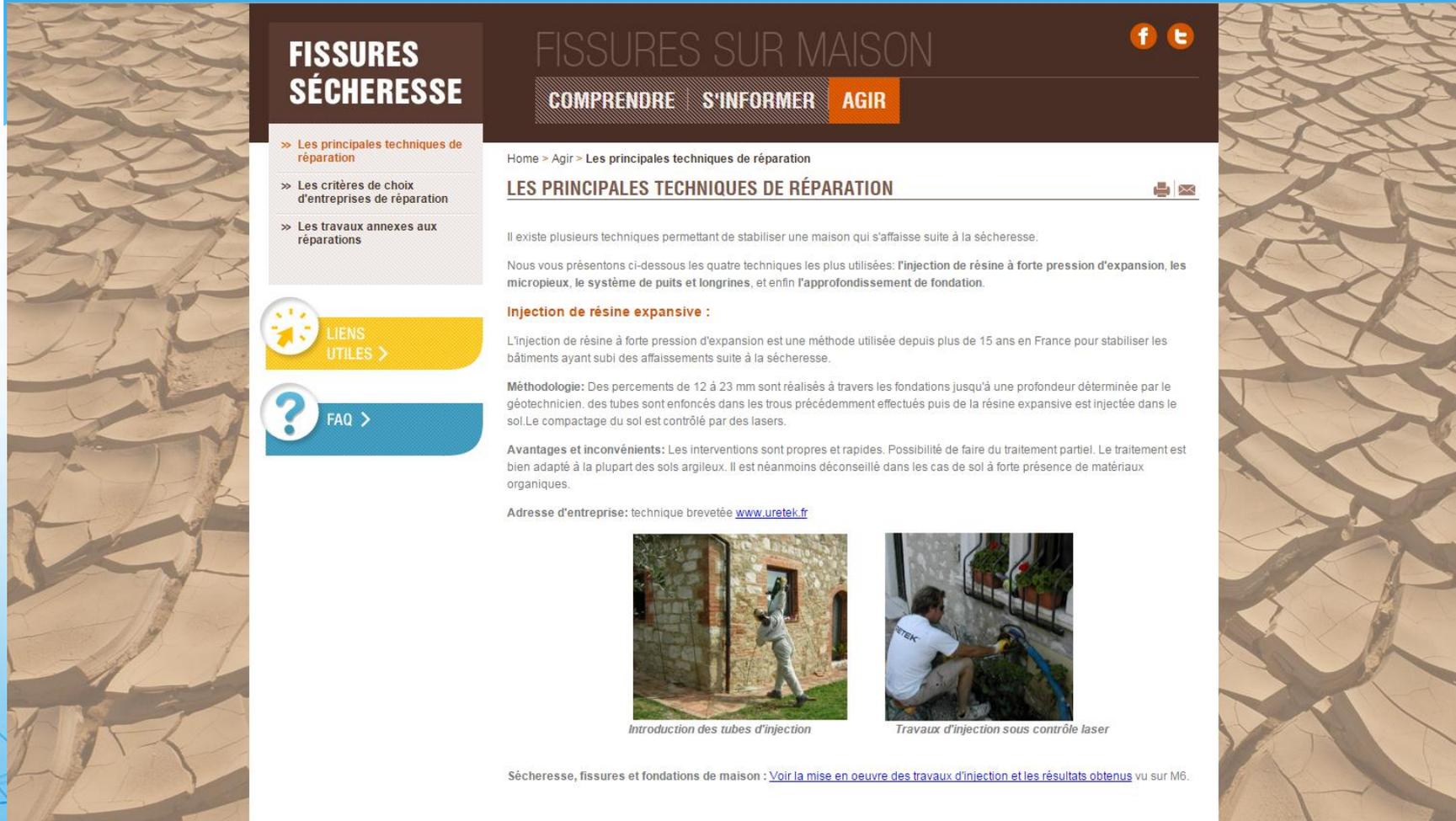
UNITE DE SCIENCE DU SOL  
ROUTE DE ST CYR  
78026 VERSAILLES CEDEX

ANALYSE COMPARATIVE DE POLITIQUES DE  
PREVENTION DU RISQUE DE « SECHERESSE  
GEOTECHNIQUE »

Modélisation et visualisation du phénomène

Daniel Tessier, coordonnateur

# 9-2 On peut aussi compenser le tassement définitif par injection de mousse expansive...



**FISSURES SÈCHERESSE**

- » Les principales techniques de réparation
- » Les critères de choix d'entreprises de réparation
- » Les travaux annexes aux réparations

**LIENS UTILES >**

**FAQ >**

## FISSURES SUR MAISON

COMPRENDRE | S'INFORMER | AGIR

Home > Agir > Les principales techniques de réparation

### LES PRINCIPALES TECHNIQUES DE RÉPARATION

Il existe plusieurs techniques permettant de stabiliser une maison qui s'affaisse suite à la sécheresse.

Nous vous présentons ci-dessous les quatre techniques les plus utilisées: l'injection de résine à forte pression d'expansion, les micropieux, le système de puits et longrines, et enfin l'approfondissement de fondation.

**Injection de résine expansive :**

L'injection de résine à forte pression d'expansion est une méthode utilisée depuis plus de 15 ans en France pour stabiliser les bâtiments ayant subi des affaissements suite à la sécheresse.

**Méthodologie:** Des percements de 12 à 23 mm sont réalisés à travers les fondations jusqu'à une profondeur déterminée par le géotechnicien, des tubes sont enfoncés dans les trous précédemment effectués puis de la résine expansive est injectée dans le sol. Le compactage du sol est contrôlé par des lasers.

**Avantages et inconvénients:** Les interventions sont propres et rapides. Possibilité de faire du traitement partiel. Le traitement est bien adapté à la plupart des sols argileux. Il est néanmoins déconseillé dans les cas de sol à forte présence de matériaux organiques.

Adresse d'entreprise: technique brevetée [www.uretek.fr](http://www.uretek.fr)



Introduction des tubes d'injection



Travaux d'injection sous contrôle laser

Sécheresse, fissures et fondations de maison : Voir la [mise en oeuvre des travaux d'injection et les résultats obtenus](#) vu sur M6.

Et pour le phénomène de gonflement ???? Que fait-on?

- Injection du coulis de ciment par l'intermédiaire du tube armature.

Le micropieu étant réalisé, il faut ensuite assurer sa liaison en tête avec la fondation de l'ouvrage.

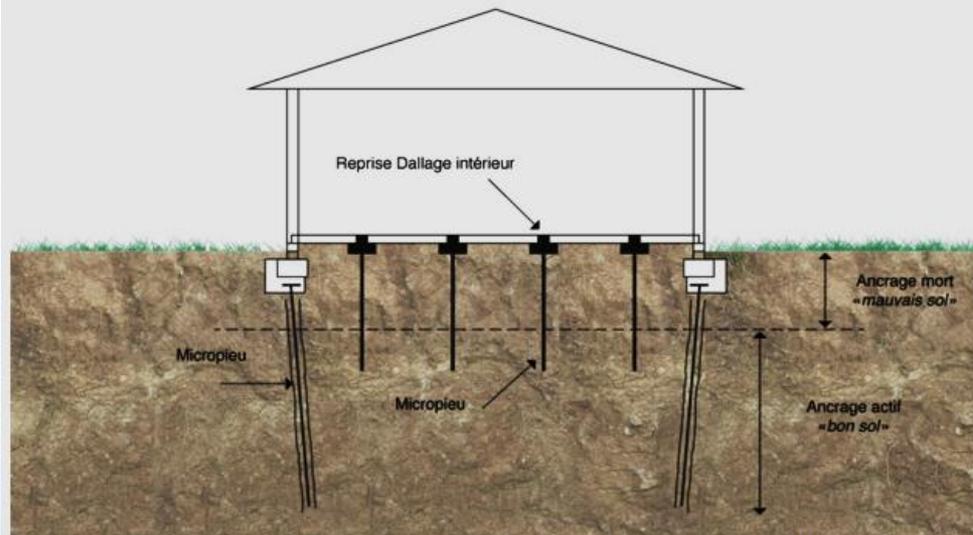


Schéma de reprise en sous-œuvre par Micropieux sous semelles de fondation et sous dallage sur remblai.

# 9-3 : Réparer : micropieux

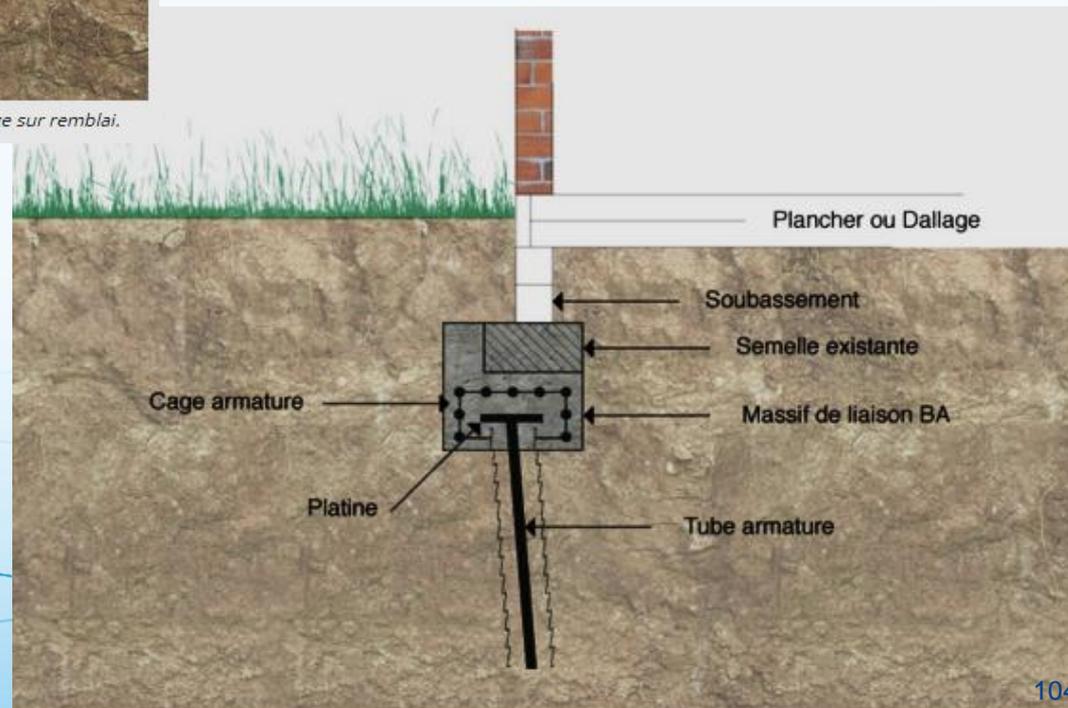
[www.sos-expert.com/batiment/fiches-construction/fondation-libage/temsol-reprise-en-sous-oeuvre-par-micropieux](http://www.sos-expert.com/batiment/fiches-construction/fondation-libage/temsol-reprise-en-sous-oeuvre-par-micropieux)

Cet article a été rédigé par Mr URENA Sylvain, directeur de la société TEMSOL

En final, on ne sait plus si c'est l'approfondissement, le raidissement ou le micropieux qui a apporté la solution ...

Les croquis ne sont pas adaptés pour un sol gonflant...

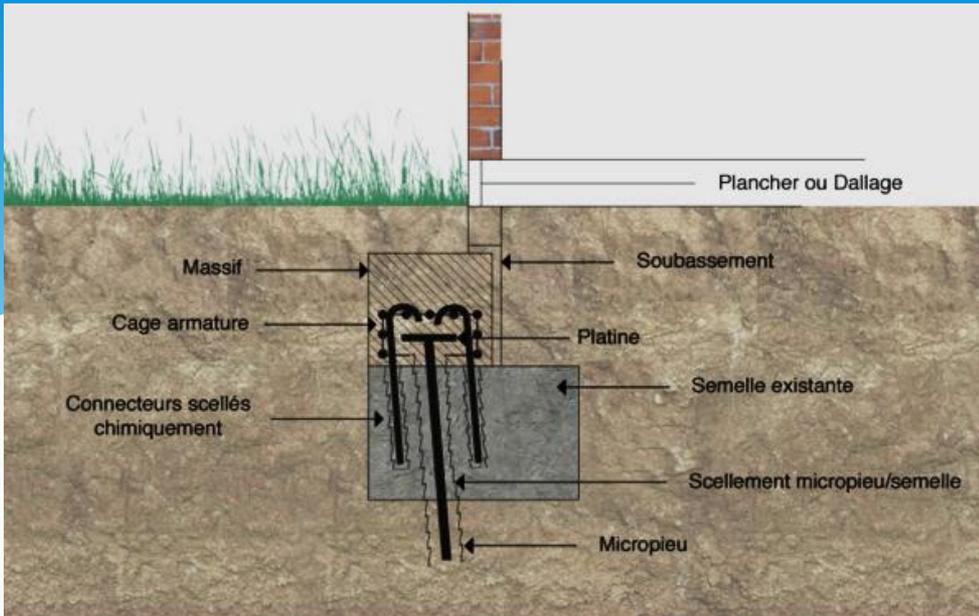
internet



Coupe sur liaison micropieux/Massif BA en sous-oeuvre (créé sous semelle de fondation existante).

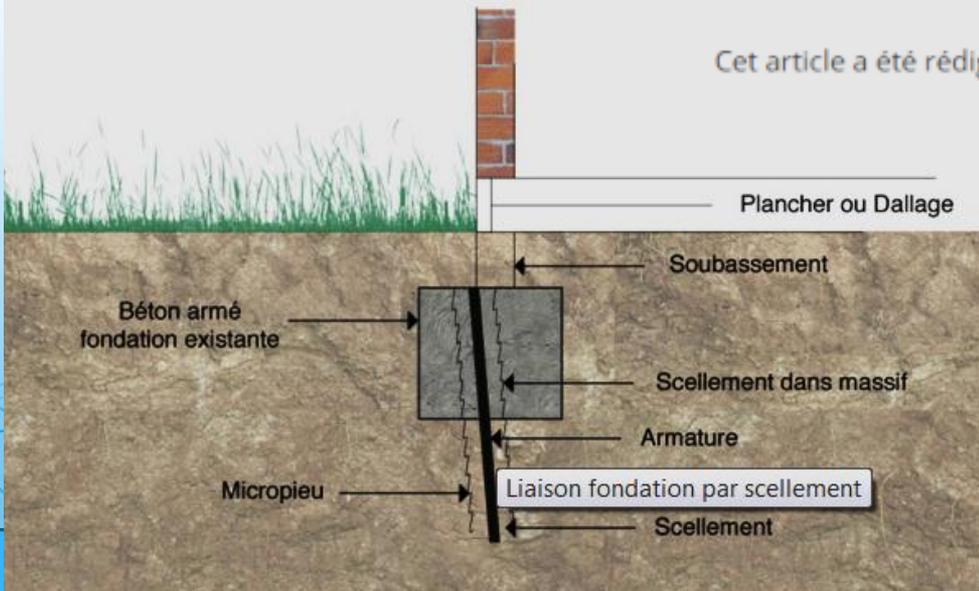
# 9-4: RÉPARER MICROPIEUX

Dans ce cas, ce ne peut être que le micropieu ou le raidissement ...



*Liaison Micropieu/Fondation par massif béton engravé au-dessus de la semelle de fondation existante.*

Cet article a été rédigé par Mr URENA Sylvain, directeur de la société TEMSOL



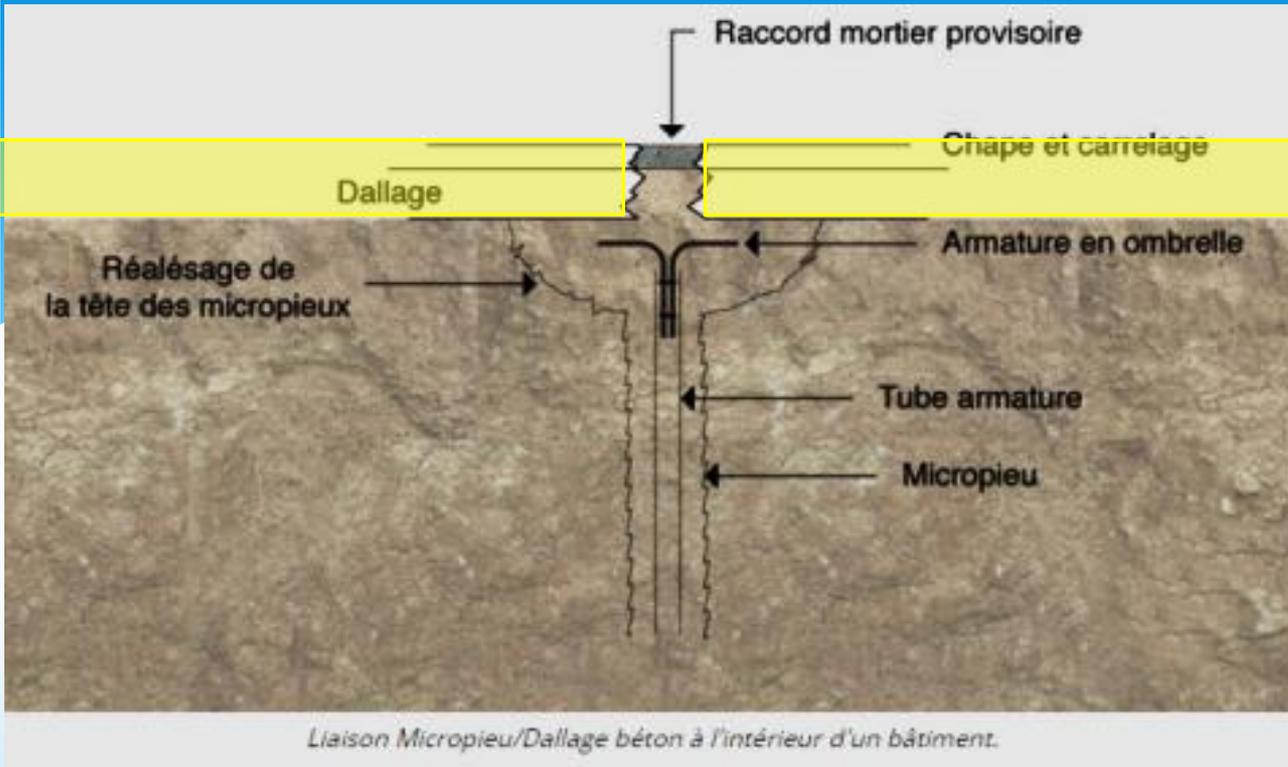
*Liaison Micropieux/Fondation existante par scellement.*

Le ferrailage initial de la semelle existante doit alors être très conséquent..

Pourquoi alors le sinistre ?

**Notez qu'il n'est pas évoqué le raidissement des superstructures..**

## 9-5- Reprise sous dallage : micropieux



Cet article a été rédigé par Mr URENA Sylvain, directeur de la société TEMSOL

- Pour le tassement : OK, le plot sous dallage deviendra un chapiteau de poteau **mais si il y a gonflement que fait-on ?**
- **Doit on considérer qu'un simple dallage puisse un jour devenir un plancher sans avoir les ferrailages correspondant ?**
- **Quid pour la futur garantie décennale sur les reprises ?**

# 9-6- Désordres après micropieux :

## ► Les principales situations rencontrées

### 1. Reprises en sous-oeuvre partielle par micropieux

Dans le cas de pavillons comportant un sous-sol partiel, il est tentant de ne reprendre en sous-oeuvre que la partie sur vide sanitaire ou sur terre-plein, celle-ci étant, le plus souvent, la seule sinistrée et, dans tous les cas, la plus touchée.

Mais, si la partie reposant en profondeur sur des micropieux se trouve, dès lors, durablement stabilisée, il n'en est pas de même de la partie sur sous-sol. Une nouvelle période sèche peut y générer un léger tassement, provoquant l'ouverture d'une fissure à la jonction entre les deux parties de la maison.

Il faut donc éviter les reprises partielles. Dans certaines situations extrêmes, il sera même parfois nécessaire de reprendre les fondations réalisées à l'intérieur des maisons, voire le dallage intérieur.

### 2. Reprises en sous-oeuvre totales par micropieux

Dans ce cas de figure, l'importance des dépenses engagées est telle que l'échec de la réparation est très mal ressenti.

Trois cas de non-fonctionnement de la réparation se rencontrent couramment :

- les micropieux ne sont pas assez nombreux ;
- les micropieux ne soutiennent pas la fondation ;
- les micropieux sont trop courts.

#### Cas n° 1

La semelle fléchit entre deux micropieux. Il est fréquent de rencontrer des semelles de 30 cm de hauteur, de béton de qualité médiocre et dont le ferrailage est inexistant. Une telle semelle ne manquera pas de se déformer fortement, voire se casser dès la première période sèche suivant la reprise en sous-oeuvre. Ce sera le cas s'il a été décidé de réaliser des micropieux espacés de 3 mètres ou plus.



**EXCELLENCE**  
**SMA**  
FONDATION D'ENTREPRISE  
DES METIERS DU BTP

# 10- PRINCIPALES CONCLUSIONS

- 1- Bien caractériser le sol, est-ce un gonflement ou une rétractation ou un simple tassement du sous-sol ?
- 2- Seuls les essais de laboratoire donnent la réponse... la mesure de la teneur en eau sur site donne la profondeur à partir de laquelle on peut ancrer les fondations
- 3- Penser à la rétractation des argiles (Retrait) mais aussi au risque de gonflement ou regonflement des argiles qui se réhumidifient.
- 4- Après vérification des structures et des infrastructures, obtenir tout au moins le raidissement minimal des structures telle que demandée par le DTU 20.1. ou les règles P.S. pour les zones faiblement sismiques.
- 5- Attention à la bonne conception géotechnique mais aussi structurelle, de la solution micropieux.

# Bibliographie utilisée



## OUVRAGES GÉNÉRAUX

### FONDATEMENTS ET OUVRAGES EN TERRE

G. Philipponnat & B. Hubert  
Editeur Eyrolles - 1997

6 ex 624.1 PHI

### ÉLÉMENTS DE MÉCANIQUE DES SOLS

F. Schlosser  
Editeur Presses de l'ENPC - 1992/97

5 ex 624.1 SCH

### MÉCANIQUE DES SOLS

D. Cordary  
Editeur Tec et Doc - Lavoisier - 1995

3 ex 624.1 COR

### INTRODUCTION À LA GÉOTECHNIQUE

R.D. Holtz, W.D. Kovacs  
Editeur Ecole Polytechnique de Montréal - 1991

3 ex 624.1 HOL

### SOIL MECHANICS

R.F. Craig  
Editeur Chapman & Hall - 1996

6 ex 624.1 CRA

### GEOTECHNICAL ENGINEERING

R. Lancellotta  
Editeur Balkema - 1995

6 ex 624.1 LAN

### GÉOTECHNIQUE – Recueil de normes

tome 1 : Essais en laboratoire  
tome 2 : Essais sur site  
tome 3 : Justification des ouvrages. Exécution des travaux.  
Editeur AFNOR - 1999

1 ex 624.15 GEO

### SOIL MECHANICS IN ENGINEERING PRACTICE

K. Terzaghi, R.B. Peck & G. Mesri  
Editeur John Wiley & sons - 1996

1 ex 624.1 TER

## ELASTICITY AND GEOMECHANICS

R.O. Davis & A.P.S. Selvadurai  
Editeur Cambridge University Press - 1996

1 ex 624.1 DAV

## MOHR CIRCLES, STRESS PATHS AND GEOTECHNICS

R. H. G. Parry  
Editeur Spon - 1997

1 ex 624.1 PAR

## AIDE-MÉMOIRE D'HYDRAULIQUE SOUTERRAINE

M. CASSAN  
Editeur Presses de l'ENPC - 1993

1 ex 627 CAS

## HYDRAULIQUE SOUTERRAINE

F. Schneebeli  
Editeur Eyrolles - 1987

3 ex 624.1 SCH

Document du BRGM

Document SMA BTP

Document INRA

Article monsieur PHILLIPONNAT

**Et : Et nombreuses sources d' INTERNET  
pour articles sur les chaînages....**



INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE TOULOUSE  
Département de Sciences et Technologies Pour l'Ingénieur

5<sup>ème</sup> année - Ingénierie de la Construction

extraits

GÉOTECHNIQUE 1  
Cours

Jacques Lérau  
Maître de Conférences

Année universitaire 2005 - 2006



Agence Qualité Construction • Renforcer le bâti existant en zone sismique • 2011

**Merci de votre attention**

FIN