

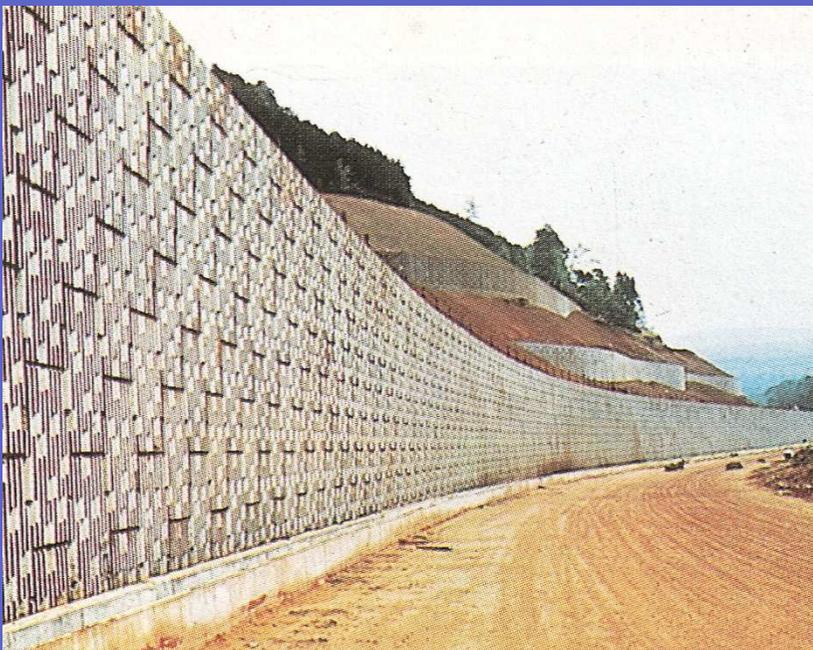


**Henri VIDAL (1925 – 2007)**

**Inventeur de la Terre Armée**

**et**

**Pionnier du renforcement des sols**



# Henri VIDAL

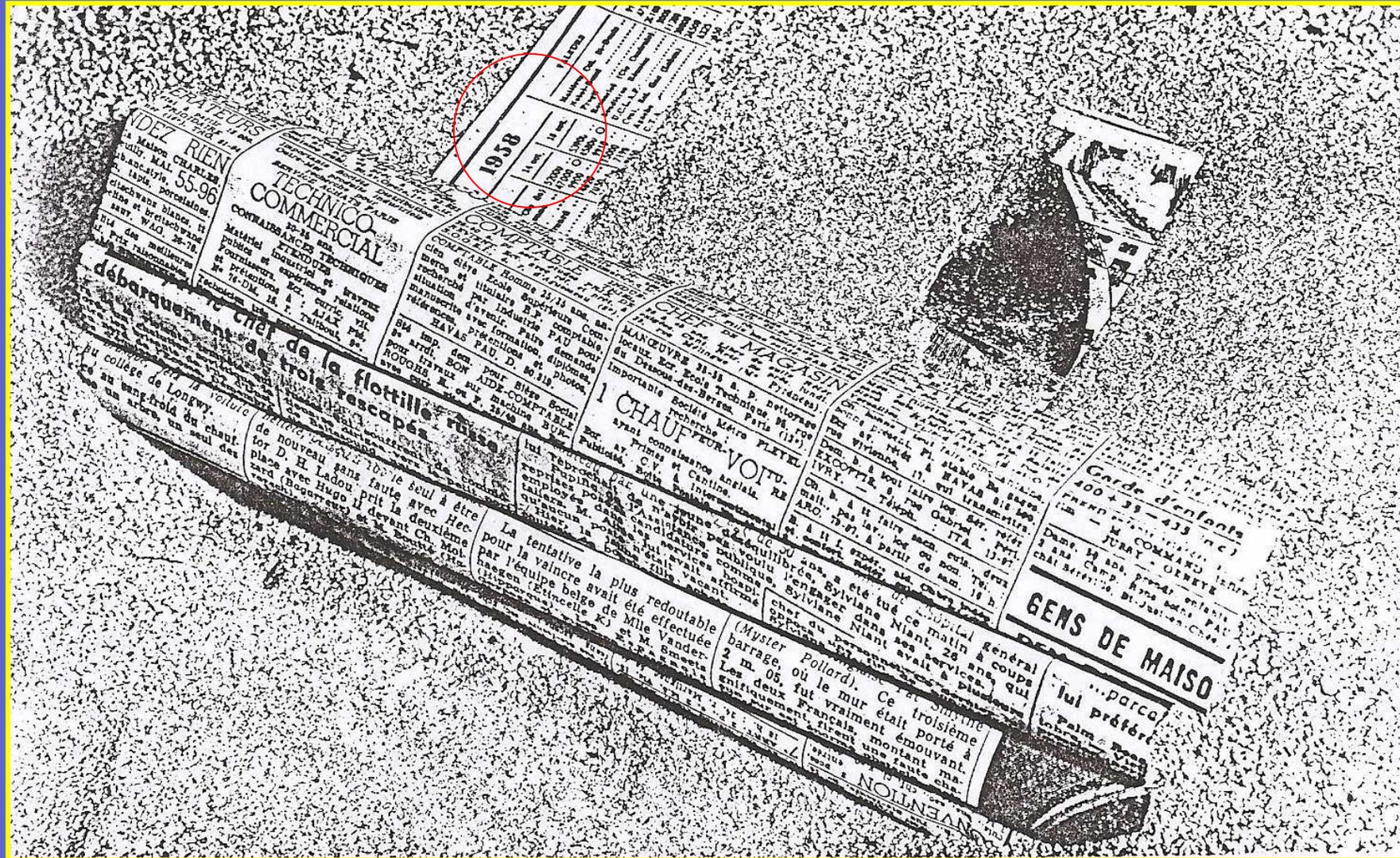
1. L'invention et les premiers ouvrages
2. Développement et recherches.
3. Henri Vidal pionnier du renforcement des sols

L'INVENTION  
ET  
LES PREMIERS OUVRAGES

# PREMIERS MODELES REDUITS DE MURS EN TERRE ARMEE

1957 : Plage d'Ibiza – Sable et aiguilles de pin ....

1958 -1962 : Modèles réduits en papier journal. Réflexions. Intuitions. Calculs.



# Le brevet de base de la Terre Armée

(27 mars 1963)

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE

SERVICE  
de la PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

**BREVET D'INVENTION**

P.V. n° 929.421      N° 1.393.988  
Classification internationale :      E 02 b

Perfectionnement aux ouvrages de construction.

M. HENRI VIDAL résidant en France (Seine-et-Oise).

Demandé le 27 mars 1963, à 14<sup>h</sup> 42<sup>m</sup>, à Paris.  
Délivré par arrêté du 22 février 1965.  
(Bulletin officiel de la Propriété industrielle, n° 14 de 1965.)  
(Brevet d'invention dont la délivrance a été ajournée en exécution de l'article 11, § 7, de la loi du 5 juillet 1844 modifiée par la loi du 7 avril 1902.)

Les premiers ouvrages sortis de la main de l'homme ont emprunté l'essentiel de leurs matériaux à la nature, principalement au sol. C'est ainsi que parmi les constructions les plus anciennes, des fossés, remblais, canaux, huttes, etc., ont été exécutés en terre. De nos jours encore certaines régions connaissent, pour l'exécution de bâtiments, l'usage du torchis, c'est-à-dire d'un mélange de terre argileuse et de paille ou foin mis en place entre des branches.

Au cours des siècles, le progrès des techniques a conduit à une réduction du domaine d'application de la terre comme matériau de construction. C'est ainsi que le béton armé, s'il utilise des éléments tirés du sol, les agrégats — le plus souvent après traitement (concassage, criblage, lavage, etc.) — exige la mise en œuvre de deux constituants d'origine essentiellement industrielle, l'acier, pour les armatures et le ciment pour la liaison entre agrégats et armatures.

Ce n'est qu'au cours des dernières années, que sous l'effet de l'utilisation généralisée des engins de terrassement et du développement de la mécanique des sols, de nombreux ouvrages de haute technicité ont été exécutés, dans des conditions économiques, en terre : digues, routes, pistes d'aérodrome, barrages, etc.

La présente invention se propose de réaliser une nouvelle application de la terre comme matériau de construction. Elle a plus particulièrement pour objet un ouvrage de construction caractérisé en ce qu'il comprend principalement des éléments granuleux ou pulvérulents et des armatures disposées de telle sorte que ces éléments sont maintenus les uns par rapport aux autres, soit par frottement direct avec les armatures, soit par frottement avec d'autres éléments en contact avec les armatures, l'ensemble formant ainsi un volume doué de cohésion et capable de résistance.

Par « éléments granuleux ou pulvérulents », il faut entendre des grains normalement tirés du sol et

le terme « armature » vise des éléments de grande longueur résistant à la traction tels que ceux qui sont utilisés dans le béton armé et dans les plastiques armés.

Alors que dans un massif de terre non cohérente l'équilibre ne peut être obtenu que sous l'effet du frottement interne des grains, dans un ouvrage suivant l'invention le frottement grains-armatures est un facteur de stabilité qui, combiné avec le frottement des grains entre eux, permet d'obtenir des profils d'équilibre ou des volumes stables qui seraient impossibles en l'absence d'armature. Dans les ouvrages suivant l'invention, la cohésion a une origine très différente de celle qui caractérise les massifs en béton, armé ou non, où elle est due à la liaison rigide créée par la prise et le durcissement du ciment, différente également des constructions en torchis dont la cohésion est créée par l'effet de collage de l'argile.

Dans les ouvrages suivant l'invention, les armatures font sentir leur action sur une certaine zone qui les entoure mais il va de soi que même si les armatures sont prolongées jusqu'à la surface libre de l'ouvrage, cette action, génératrice de cohésion, est moins efficace sur la surface libre où la poussée des grains tend à chasser ces derniers hors du massif, de sorte qu'il est le plus souvent nécessaire de prévoir sur la surface libre d'un ouvrage suivant l'invention un moyen pour retenir les grains qui se trouvent sur la surface ou au voisinage de cette dernière.

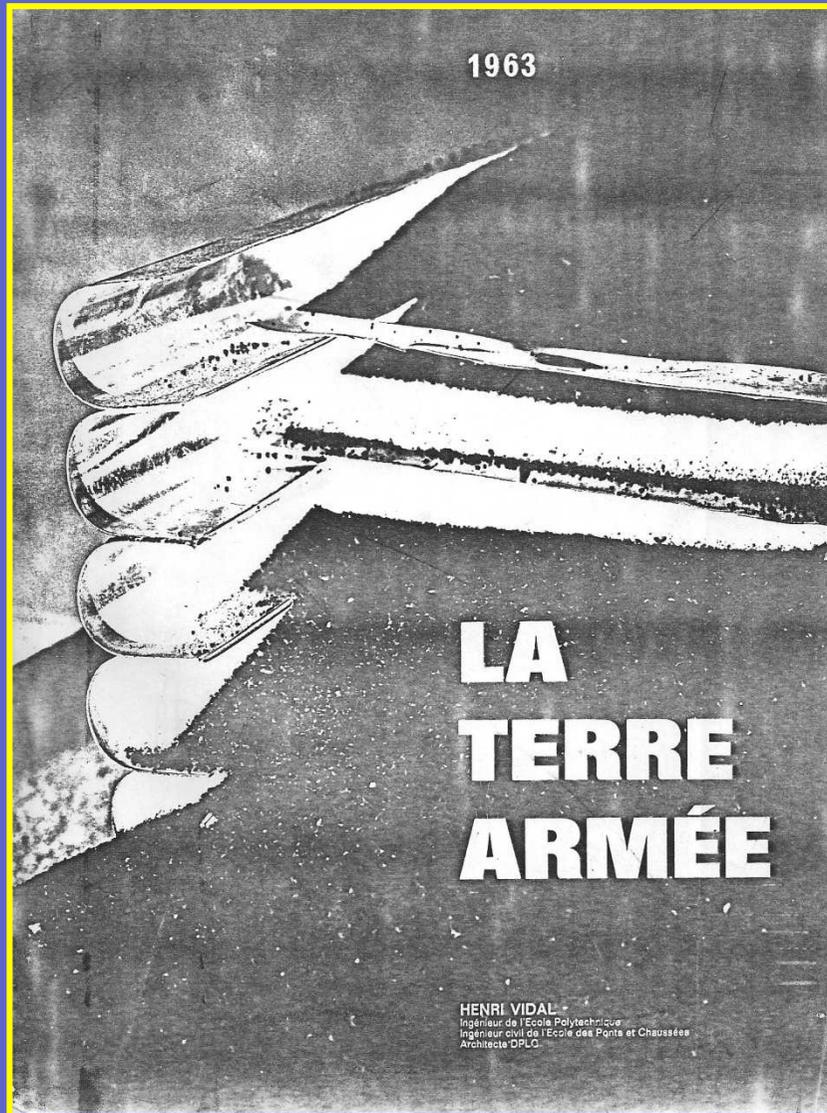
Dans la plupart des cas, ce moyen est constitué par une sorte d'habillage distinct des grains et de l'armature; on l'appellera dans la suite « peau ». Cette peau peut être réalisée sous diverses formes, mais son mode d'exécution préféré est constitué par des éléments doués d'une certaine rigidité, de profil en U, dont les ailes servent à la fois à les ancrer dans le massif de grains et à les juxtaposer les uns par rapport aux autres. Cette peau ne joue à proprement parler aucun rôle dans la stabilité de l'ouvrage, étant

N° 1.393.988      M. Vidal      8 planches. - Pl. I

The drawings illustrate the following figures:

- Fig. 1:** A circular cross-section showing two internal reinforcement elements (1) and a central core (2).
- Fig. 2:** A cross-section of a layered structure with reinforcement elements (1) and a core (2) within a grain mass (3).
- Fig. 3:** A cross-section showing a reinforcement element (1) embedded in a grain mass (3) with a central core (2) and a surface layer (5).
- Fig. 4:** A cross-section showing a reinforcement element (1) embedded in a grain mass (3) with a central core (2) and a surface layer (7).
- Fig. 5:** A cross-section showing a reinforcement element (1) embedded in a grain mass (3) with a central core (2) and a surface layer (7a, 7b, 7c).
- Fig. 6:** A perspective view of a reinforcement element (1) with a central core (2) and a surface layer (7).
- Fig. 7:** A circular cross-section showing a reinforcement element (1) with a central core (2) and a surface layer (7a, 7b, 7c).
- Fig. 8:** A cross-section showing a reinforcement element (1) with a central core (2) and a surface layer (7a, 7b, 7c).
- Fig. 9:** A cross-section showing a reinforcement element (1) with a central core (2) and a surface layer (7a, 7b, 7c).
- Fig. 10:** A cross-section showing a reinforcement element (1) with a central core (2) and a surface layer (7a, 7b, 7c).

En 1963, Henri Vidal publie un volumineux document sur la Terre Armée, rédigé en environ un mois à l'hôtel Vistaero au-dessus de Menton.....C'est l'aboutissement d'un travail solitaire et passionné de près de 6 ans...Ouvrage bien diffusé...Film...



## 1.INTRODUCTION

- Principe de la Terre Armée
- Caractéristiques et avantages
  - a) Matériau économique
  - b) L'un des plus simples
  - c) Mise en œuvre facile et rapide
  - d) Matériau souple
  - e) Matériau architecturalement lourd
  - f) Calcul relativement facile

## 2. ETUDE THEORIQUE

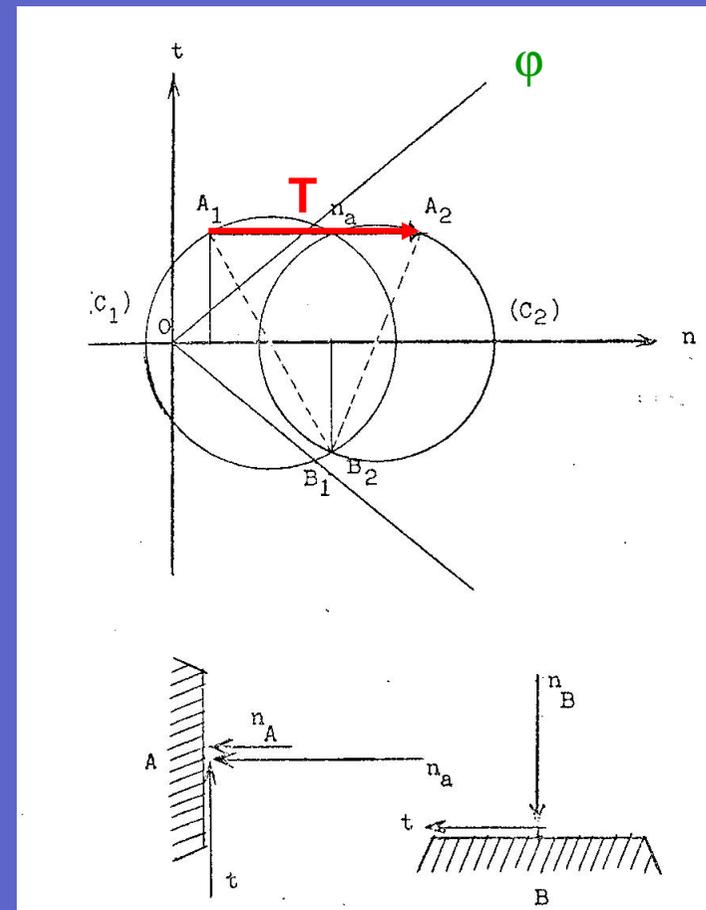
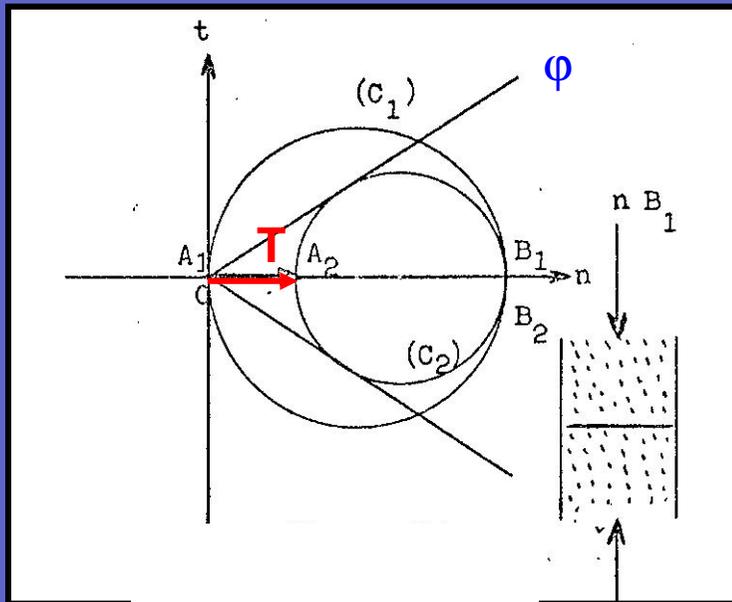
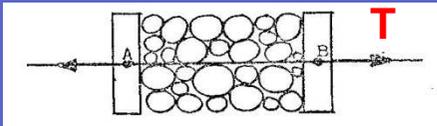
## 3. REALISATION PRATIQUE

## 4). EXEMPLES D'OUVRAGES

- La TERRE ARMÉE est un MATERIAU doué d'une COHESION créée par les ARMATURES ( *Henri VIDAL 1963*).

T.A. = sol granulaire + armatures métalliques

- Analogies : - Béton armé - Tissus des êtres vivants (peau)
- Théorie de la Terre Armée (1963)

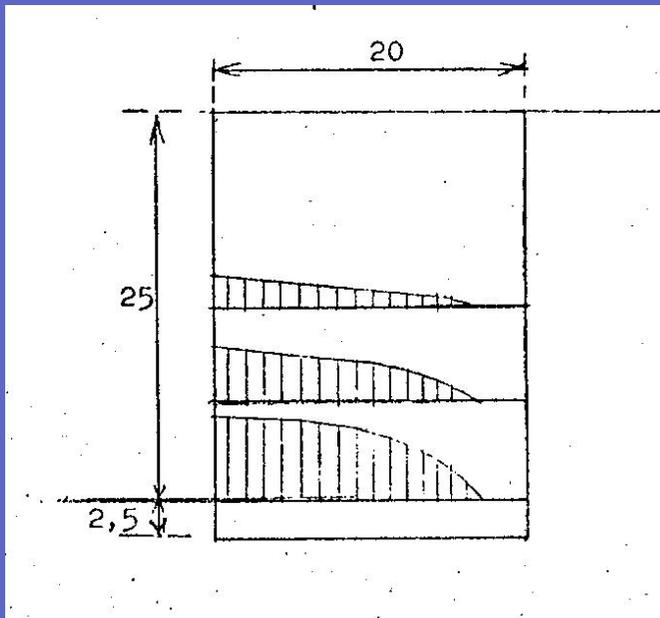


- Calcul de la Terre Armée (Vidal 1963)

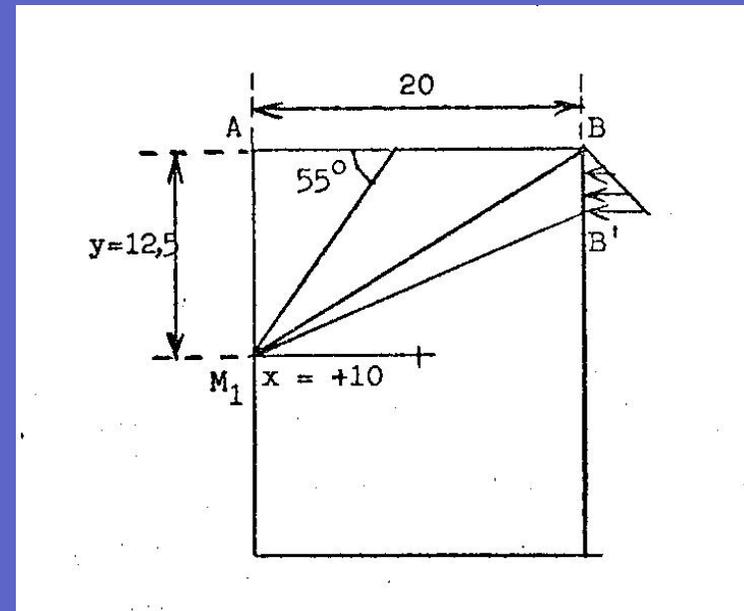
- 1) Calcul des tractions  $T$  dans les armatures du massif de sol supposé élastique pour que les états de contrainte restent entre les droites intrinsèques :

$$\tau = \pm \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (\text{calcul précédent})$$

- 2) Vérification de la stabilité par des plans de rupture.



Tractions dans les armatures



Vérification par plans de rupture

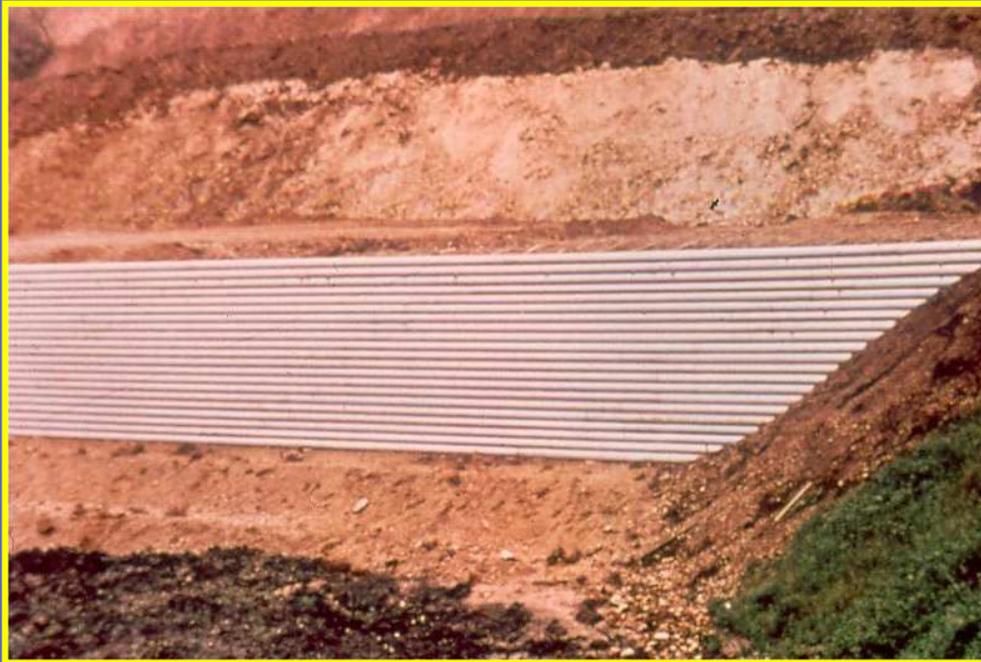
# MUR DE PRAGNIERES

Premier mur en Terre Armée construit en 1965 par EDF

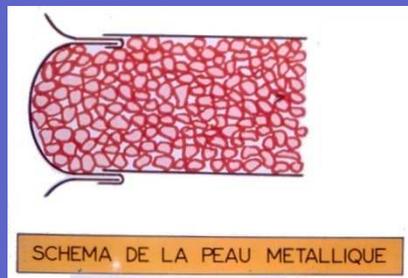
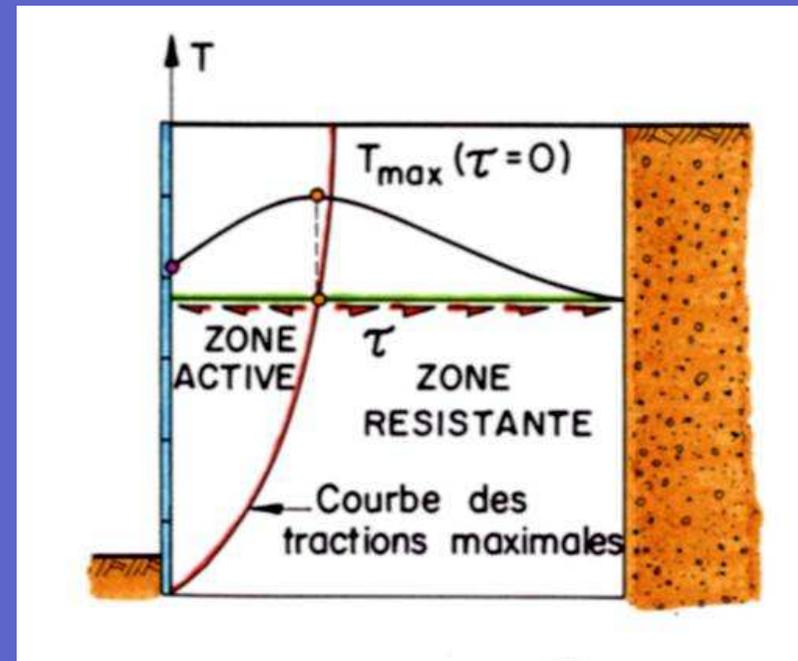


# LE MUR EXPERIMENTAL D'INCARVILLE

Au début de l'année 1968, Henri Vidal persuade un ingénieur des Ponts et chaussées de construire un mur expérimental en Terre Armée et obtient de la Direction du LCPC que ce mur soit instrumenté. Le LCPC réalisait déjà des essais en modèle réduit....



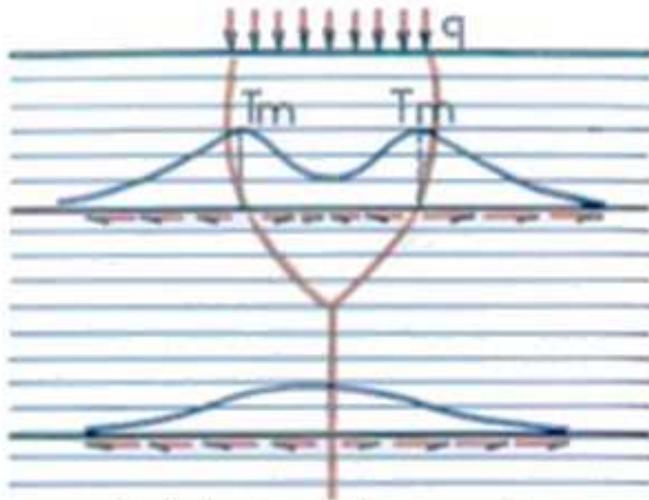
H = 10 m



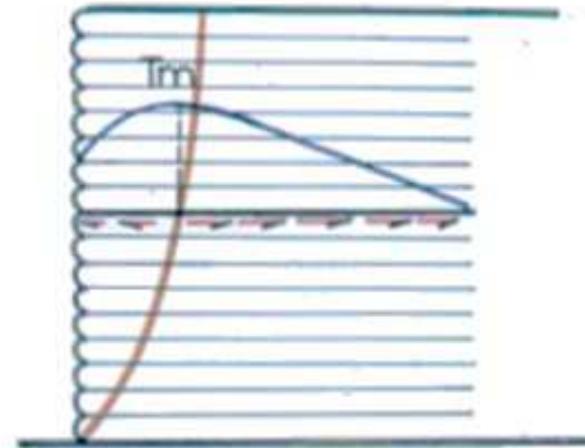
Les résultats ont prouvé le bon comportement de la Terre Armée et la validité des premiers calculs, mais ont aussi commencé à montrer le fonctionnement interne d'un mur...

HV Am

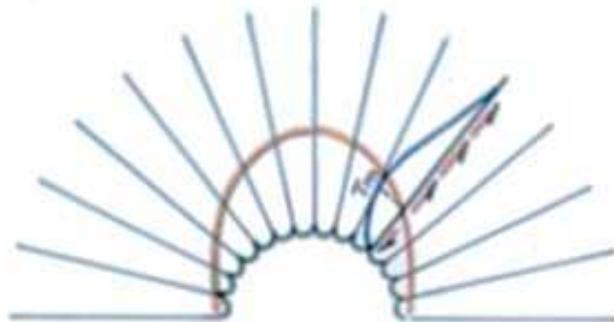
# COHESION A GRANDE ECHELLE DANS LES OUVRAGES



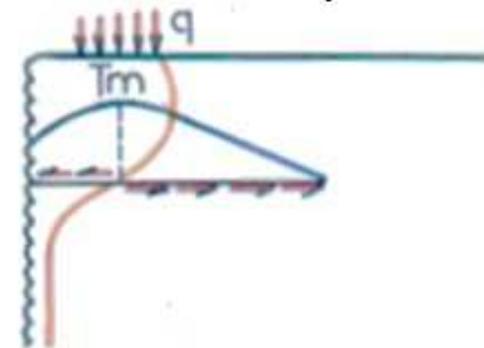
Sol de fondation armé



Mur en terre armée  
sous l'effet de la pesanteur



Voûte en terre armée

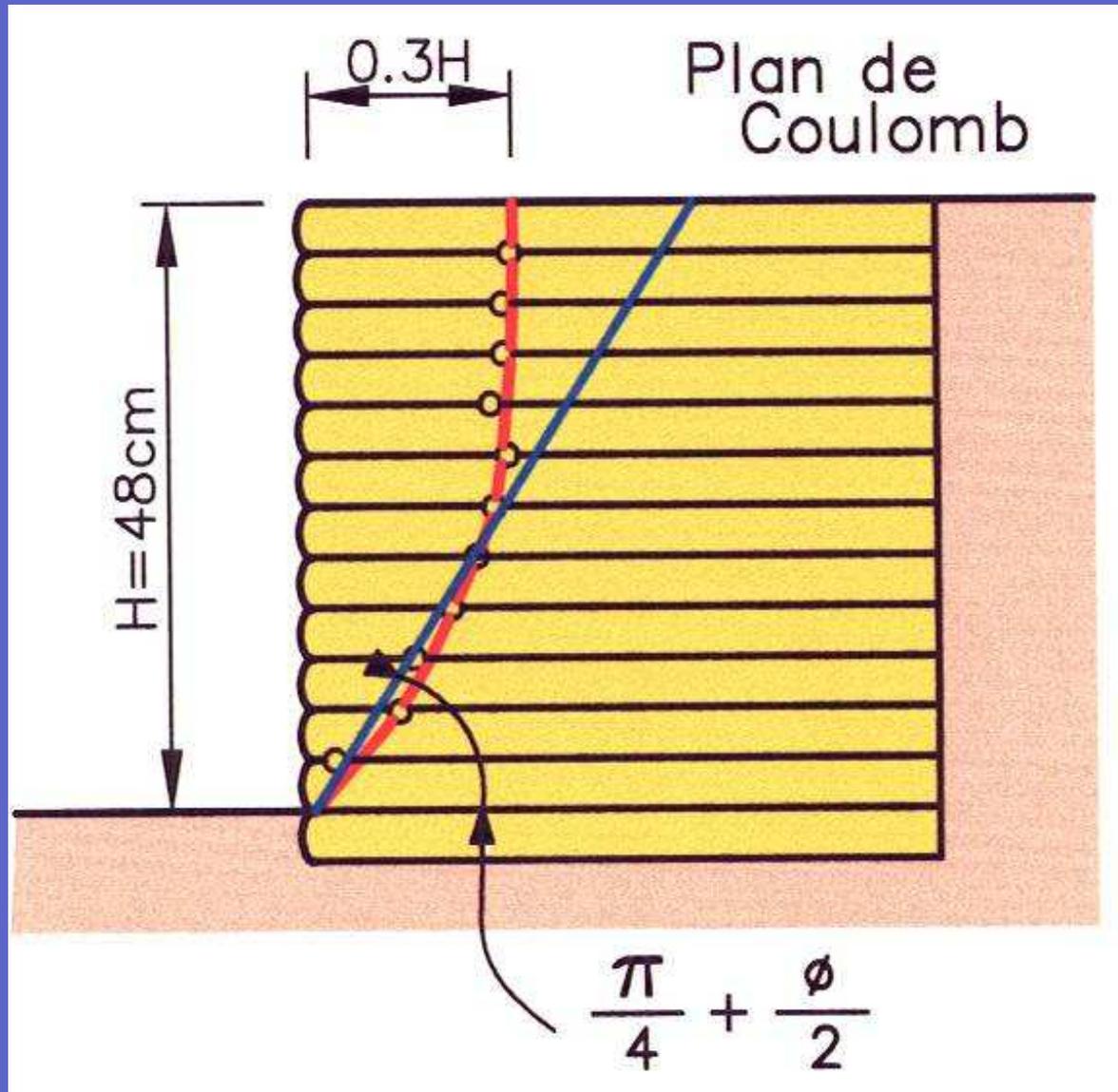


Culée en terre armée  
(effet de la surcharge seule)

TRACTION DANS LES ARMATURES  
LIEUX DES MAXIMA



# RUPTURE DE MURS EN MODELE REDUIT BIDIMENSIONNEL



Phénomène  
de  
bifurcation

# LES PREMIERS OUVRAGES AUTOROUTIERS

Autoroute A 8 (Roquebrune –Menton) : 5.000 m<sup>2</sup> (parement) de murs en 1969

Collaboration LCPC –J.Tanzi IPC Alpes Maritimes – H; Vidal



Mur du Peyronnet

Henri Vidal entreprend la réalisation d'un nouveau film sur le Terre Armée

DEVELOPPEMENT  
RECHERCHES  
PROTECTION DES BREVETS

(1970 - ...)

# LA DURABILITE DES ARMATURES

Henri Vidal n'a cessé d'y travailler depuis 1960. En 1975, après beaucoup de recherches et des échecs, il fut décidé de ne plus utiliser que l'acier galvanisé.

## 1. Les métaux

- Acier galvanisé : corrosion lente, ~uniforme, vitesse dégressive, prévisible. 40 ans de recherches antérieures (EU). Aucun échec. Grande expérience par pose et prélèvement de témoins de corrosion.
- Métaux passivables :
  - Corrosion par pîques, brutable et très difficilement prévisible, en dépit de recherches favorables en caisses au LCPC.
  - *Aluminium AG4MC* : rupture du mur de quai du Cap d'Agde (1974).
  - *Acier « inoxydable » F17* : corrosion d'ouvrages en région parisienne (1975).

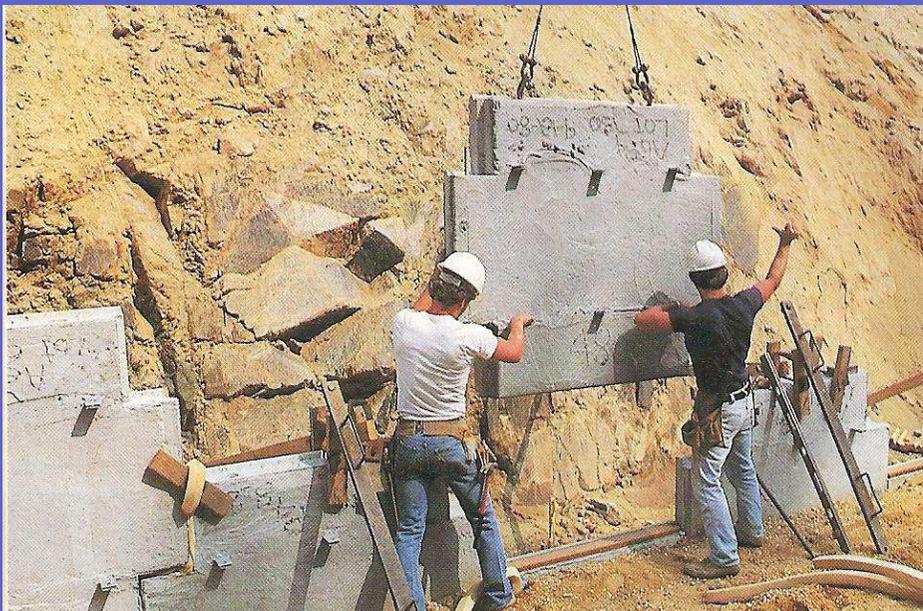
## 2. Les plastiques (géosynthétiques)

Dégradation progressive par rupture des macromolécules.

- *Sangles de Tergal tissé* : Mur de Poitiers(1971) : 50% de perte de résistance en 10 ans.

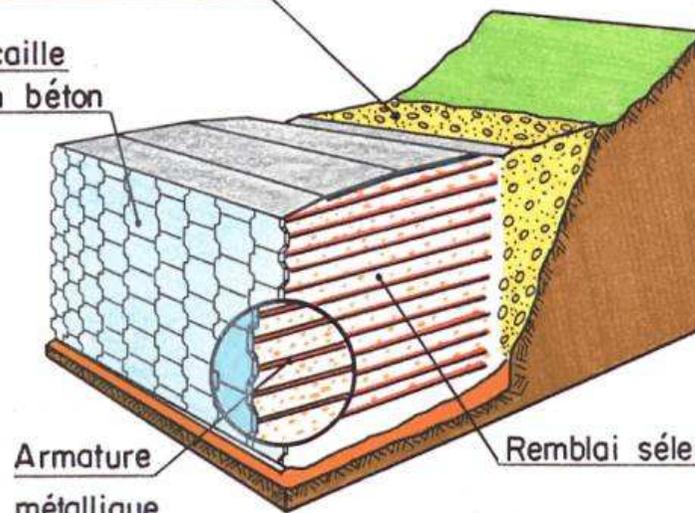
# LA PEAU EN ECAILLES DE BETON

(1970)



Remblai en tout venant

Ecaille  
en béton



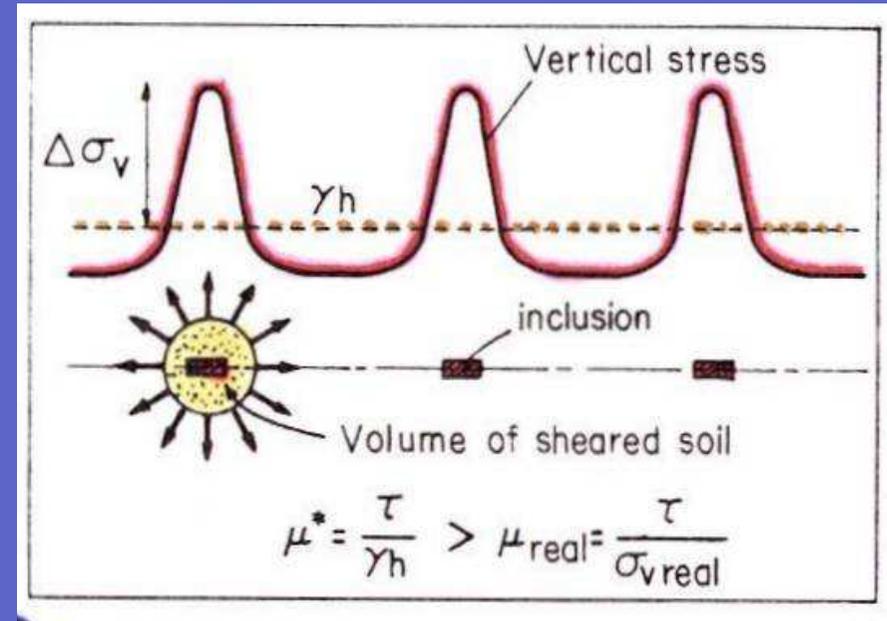
Armature  
métallique

Remblai sélectionné

# ARMATURES A HAUTE ADHERENCE



Nervures sur l'armature

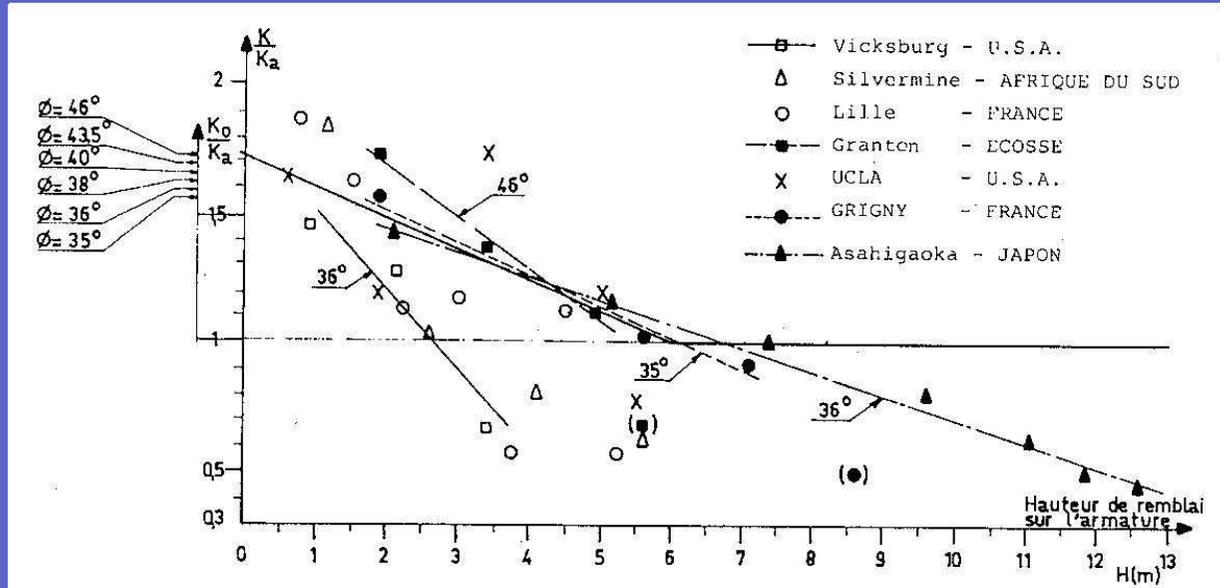
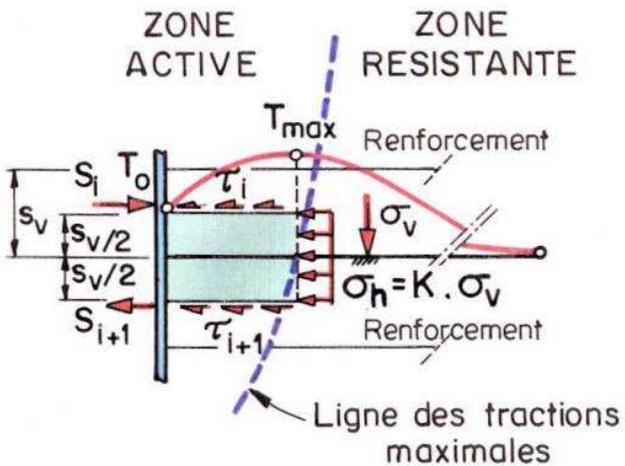
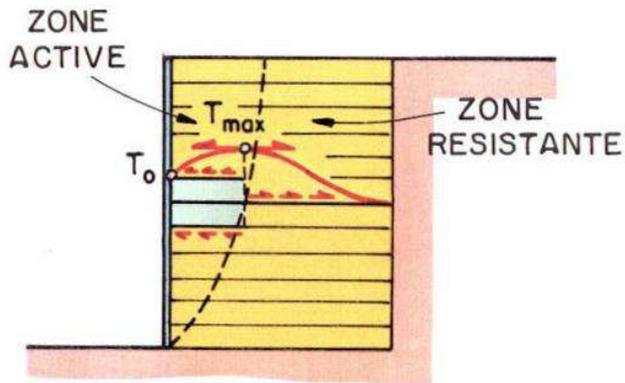


Phénomène de la dilatance empêchée

Les nervures augmentent fortement le frottement apparent  $\mu^*$  dans les 3 premiers mètres supérieures des massifs.

# DIMENSIONNEMENT INTERNE (Etats limites de service)

Elaboré à partir de résultats d'instrumentations sur des ouvrages en service H



$$\left\{ \begin{array}{l} T_{\max} = n \cdot K \cdot \sigma_v \\ \bullet T_{\max} \leq R_n \\ \bullet T_{\max} \leq \mu^*(z) \cdot \sigma_v \cdot p \cdot (L - L_0) \end{array} \right.$$

# Réglementation, Recommandations, Spécifications

France (1979)



A. Calgaro  
F. Schlosser  
A. Guilloux

Etats-Unis (1985 ?)

Prof. J. Mitchell

Prof. H.B. Seed

M. Bastick

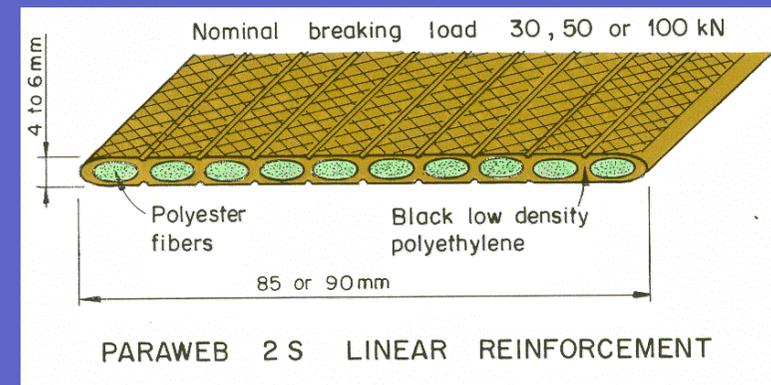
F. Schlosser

# LES PROCÈS EN ANGLETERRE

Soils Structures (1983)

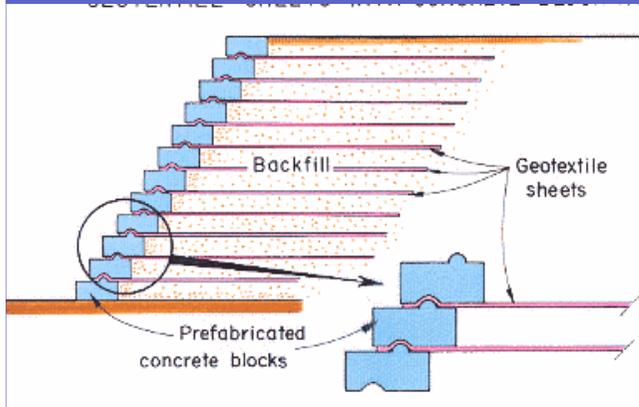


+ 1 geotextile Terram



Henri VIDAL  
PIONNIER  
DU  
RENFORCEMENT DES SOLS

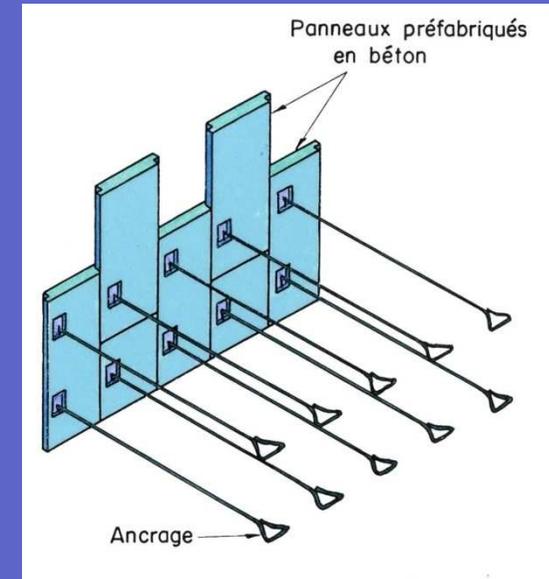
# MURS EN SOL DE REMBLAI RENFORCÉ



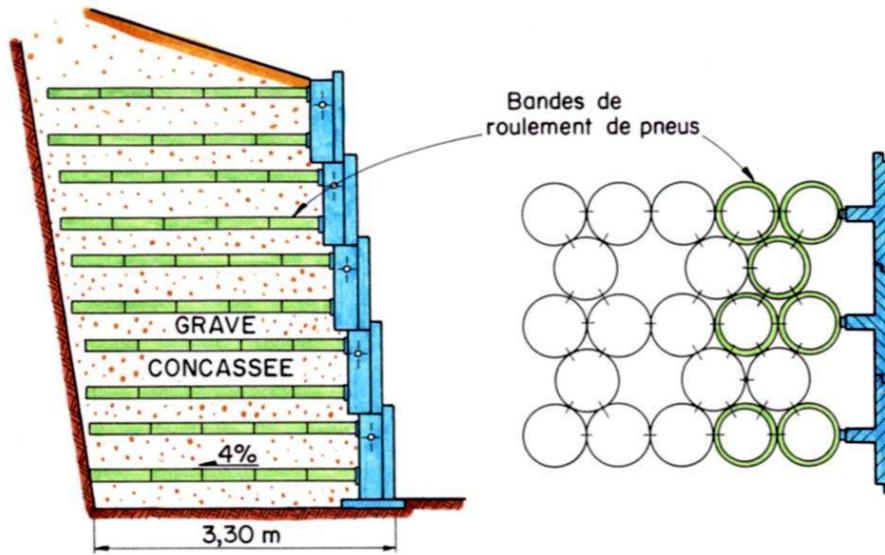
Mur à blocs en géotextile



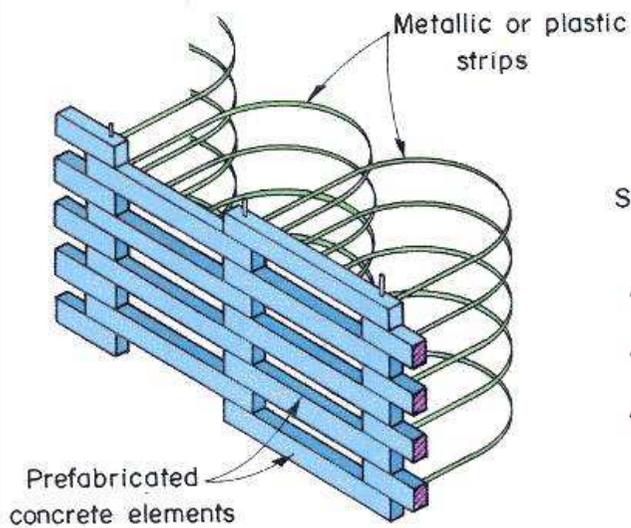
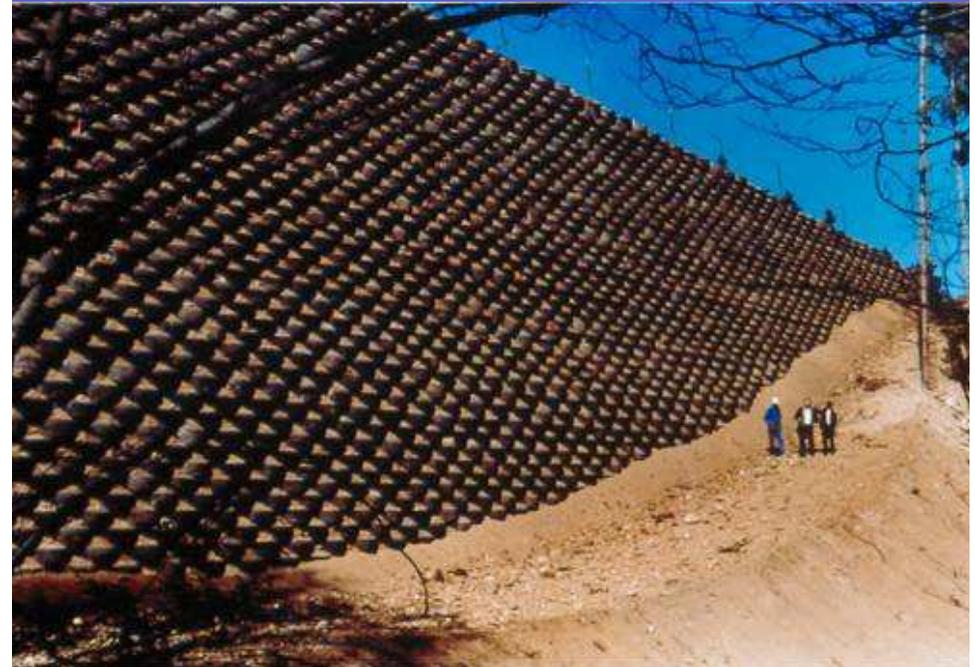
Texsol (fil continu)



Terre ancrée



TECHNIQUE DU PNEUSOL



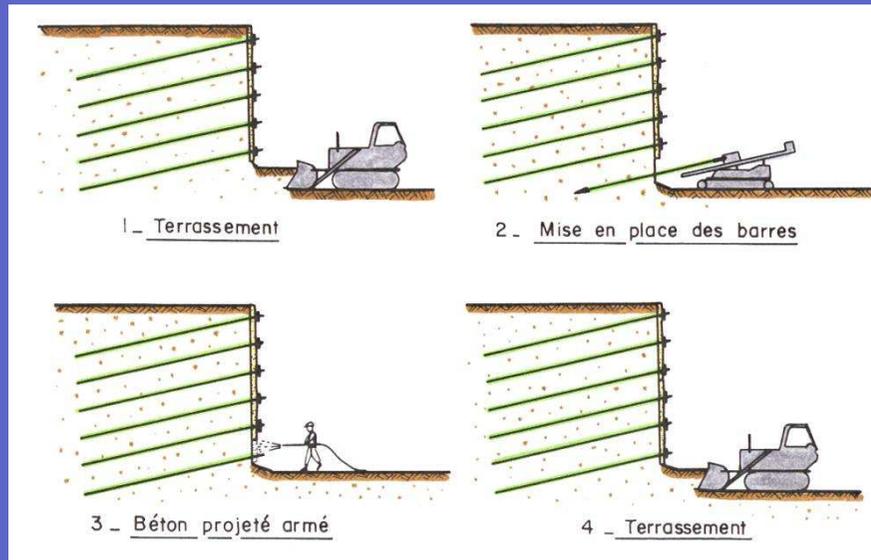
SOIL REINFORCEMENT INTERACTIONS :

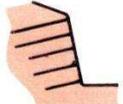
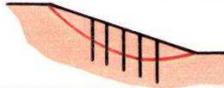
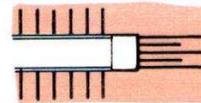
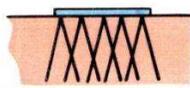
- Passive pressure
- Confinement
- Lateral friction

TERVOILE TECHNIQUE : STRUCTURAL CELL

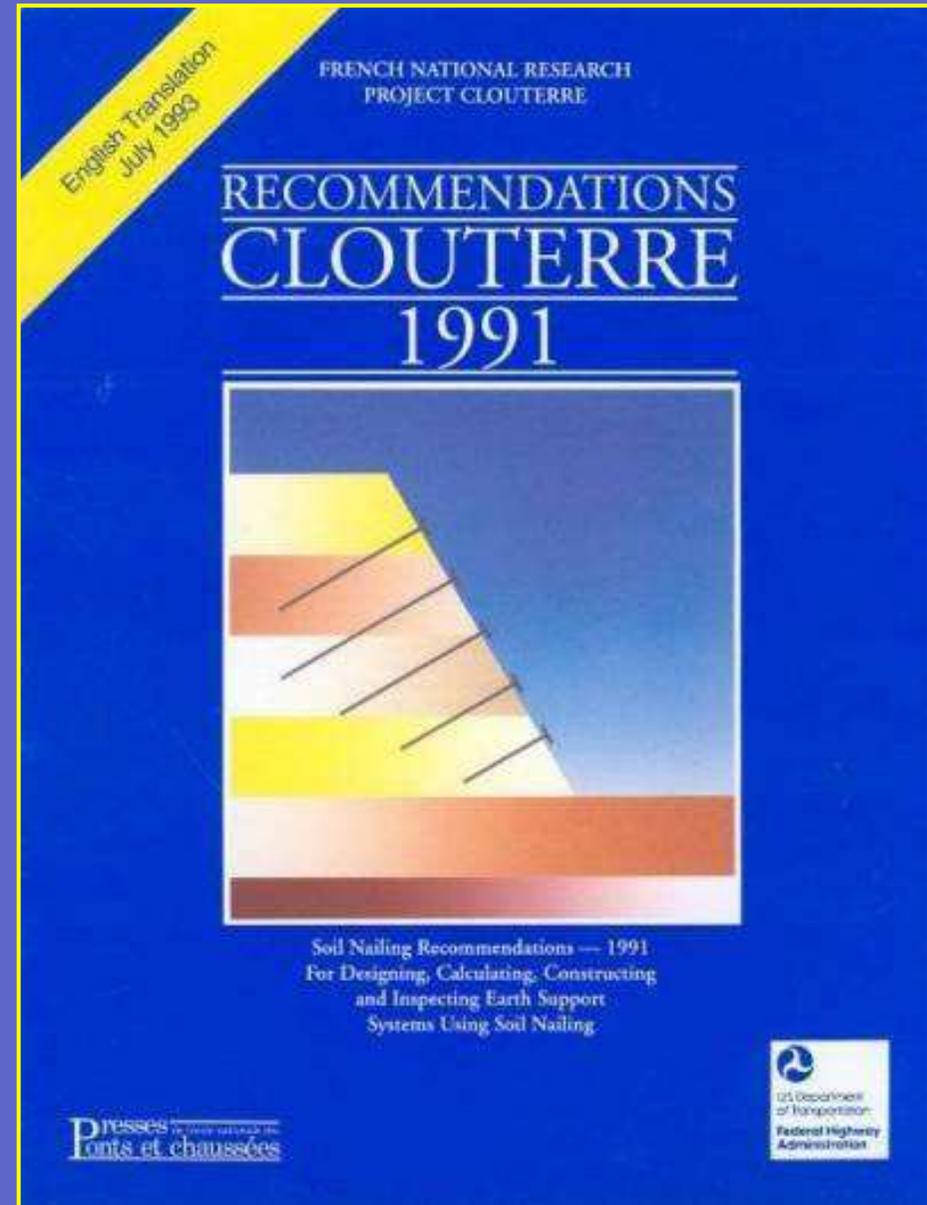


# MURS EN SOL EN PLACE RENFORCÉ

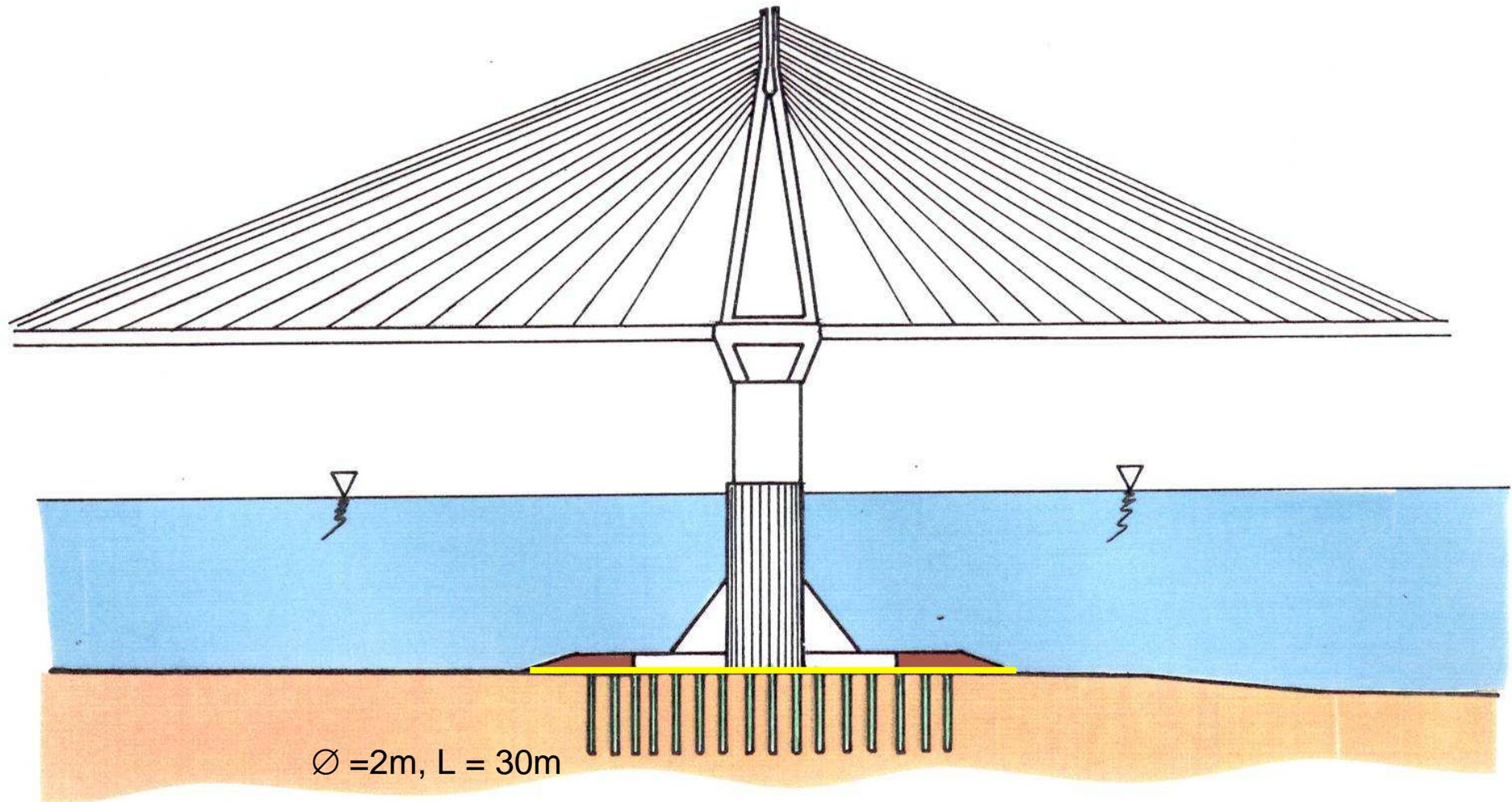


APPLICATIONS		EFFORT MAJEUR DANS LES CLOUS
①	Soutènements 	Traction
②	Stabilisation des pentes 	Flexion
③	Tunnels 	Traction
④	Fondations 	Compression

APPLICATIONS DU CLOUAGE DES SOLS



# RENFORCEMENT DES SOLS DE FONDATION



FONDATION DU PONT RION-ANTI RION (Grèce)

Alain PECKER

REMISE DU DIPLÔME  
DE  
DOCTOR HONORIS CAUSA  
DE  
L'ECOLE NAT. DES PONTS ET CHAUSSEES  
A  
HENRI VIDAL  
le 17 juin 1988





## CONCLUSION

- Henri Vidal fut un inventeur génial, ayant conçu la Terre Armée à partir de très peu de résultats expérimentaux.
- Tout ce qu'il avait prévu, sur les caractéristiques et les avantages de son nouveau matériau, s'est révélé parfaitement exact.
- Son invention, la Terre Armée, constitue un élément majeur parmi les différents apports faits dans le génie civil au 20<sup>ème</sup> siècle.
- La Terre Armée a fait rayonner la technique française dans le monde entier. RF Am

