



Académie des sciences

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

Charles-Augustin COULOMB - A geotechnical tribute Paris, september 25 & 26, 2023

Reinforced Earth[®] and its heritage Nicolas Freitag



Shaping a World of Trust





















First Scaled Models by Henri Vidal 1957 - 1962

1943 - 1957 : played a lot with sand and pine needles, on the beach (Aiguebelle, Ibiza, ...)





First Scaled Models by Henri Vidal 1957 - 1962



1958 - 1962 : Paper scaled models, intuitions, tests, calculations

First Scaled Models by Henri Vidal 1957 - 1962

1958 - 1962 : Paper scaled models, intuitions, tests, calculations



15 JU ... Gan ... G generan IMMO NDING DRT OGE achette 15 × 20how

60th anniversary of Henri Vidal's patent (1963)

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

BREVET D'INVENTION

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE

SERVICE

de la PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

P.V. n° 929.421

Classification internationale :

N° 1.393.988



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

E 02 b

Demandé le 27 mars 1963, à 14^h 42^m, à Paris. Délivré par arrêté du 22 février 1965.

(Bulletin officiel de la Propriété industrielle, nº 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 | le terme « armature » vise des éléments de grande 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 parler aucun rôle dans la stabilité de l'ouvrage, étant

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

5 2191 0 73 236 3 🔶

Prix du fascicule : 2 francs



Coulomb in every wedge/corner

Reinforced Earth = construction material with artificial (anisotropic) cohesion provided by tensile reinforcements interaction with the soil by friction

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.













Fig.5 7a-



Terre Armée monography by H. Vidal (1963)





Appliquons cette méthode l'exemple suivant d'un mur rectangulaire CDEF (figure 112) soumis à une poussée d'eau; les armatures sont supposées disposées horizontalement, Pour calculer la traction dans l'armature horizontale en un point M, faisons passer par ce point un grand nombre de plans sécants tels que IJ (figures 112 et 113) divisant le mur en terre armée en deux parties : IJDC (partie A du paragraphe précédent) et IJFE (partie B du paragraphe précédent). Les forces agissant sur (A) sont le poids propre P de (A) et la poussée Q de l'eau sur la face DJ; la composante R, de ces deux forces

----/

Internal stability « not only » a matter of limit equilibrium wedges

Internal forces are the result of construction history and relative rigidities



1976 High adherence reinforcement



Ribs on the strips

Constrained dilatancy

Fondamental -> led to narrower, thicker strips -> better durability

Today : many different technologies

•Steel

- Strips
- Welded wire mesh / ladders
- Double-twist

GeosyntheticsGeostrips

Geogrids
Knitted
Extruded





Today : A variety of facing types















India



Outstanding earthquake resistance

2. Tohoku Earthquake 11/03/2011 Main shock and after shocks of Tohoku earthquake

After shocks, which Shindo(Japanese scale of seismic intensity) is over 4, happened over 100 times after the main shock happened. And over shindo 5 shaking, which is target of our investigation, happened 10times at least.

Date	Time	Mag.	Int			Depth
11 th Mar	14:46	9,0	7	38° 00' N	142° 52' E	10km
	15:05	70	15 minus	38° 00' N	142" 52'E	1Dkm
	15.15	74	Барили	38° 00' N	142" 52'E	80km
	1629	66	D Dia.	39 ⁴ 00' N	142' 48'E	Okm
	17:41	5.8	Second	37° 30' N	141 18'E	30km
12 th Mar	3,59	66	- Giplasi	37° 00' N	138' 36'E	10km
7 th Apr	23/32	7.4	5 plas	38° 12' N	142" 00'E	40km
11** Apr.	1716	71	6 minut	36° 54' N	140' 42' E	10km
12 th Apr.	14:07	63	6.minus	37° 00' N	140° 42' E	10km

1 50		P.
	A Series A Series	TIC Intensity)
	<i>r</i>	6+
2 09 11		6-
1		5+
2		5-
6A		4
~		3
VIII-88-014	ANA (2011-SECOLOMICA STIC)	2
W MARK TO A MARK	in mit hypocentery 74km	1
-	terral districtions and the	

Outstanding earthquake resistance

2.2 Investigation result





_	_						TO	DOO	ADI	noc
	Aomori	Miyagi	Iwate	Fukushima	Akita	Yamagata	Ibaragi	Tochigi	Gunna	Chiba
ły		1	2	\dot{a}_{i}	-	-	\geq	ţ.	>=	
	19	-4	18	Т.	29.1	4.		÷	-1	8
	9	-	5	8	÷.,	÷.	i ÷.	÷	đ.	(†
d. j	C.	1	8	-	~	-	1	ъ	-	-
'n	9	23	26	12	18	3=1	17	11	-	6
Ì.		257	444	184	21	37	187	105	45	<u>69</u>

II:6.67%

Rank VI; 4 walls 0.28% Rank V; 5 walls 0.35%

Rank IV; 10 walls 0.70%

Rank III; 5 walls 0.35%

Rank II; 95walls 6.67%

Rank I; 1300 walls 91.65%

Terre Armee optimized rockfall protective bund

- •A slender reinforced soil barrier (H ~ 2B)
- Reduced footprint compared to the traditional reinforced soil barriers
- Make better use of the geogrid reinforcements and soil/reinforcement interaction



Impact tests on real scale – 6,6m high / 3,3m thick

Dynamic pendulum tests carried out by Université Gustave Eiffel An embankment built with TA technology with 2 groups of reinforcements with roles:

- 1. Static stability
- 2. Diffusion of the dynamic load and post-impact stability



5 MJ impact video



12t @100 km/h

