التربة المسلحة

اعداد :

الدكتور المهندس

عبد اللطيف الأمير

مقدمة عن تسليح التربة

تعريف :

يتم تسليح التربة بادخال عنصر ما في التربة وذلك لتحسين خواصها الميكانيكية ، وبالتحديد خاصة الشد منها إذ كما هو معلوم أن التربة تتمتع بخواص ميكانيكية جيدة على الضغط والقص ولكن ليس على الشد .

أنواع التربة المسلحة :

نستطيع تقسيم التربة المسلحة إلى نوعين حسب أبعاد عنصر التسليح المستخدم :

1 – التسليح بواسطة عناصر صغيرة (mecro-renforcement) : وهو على أنواع :

– تسليح بواسطة خيوط قصيرة وصغيرة : وهي تستخدم في الرمل والغضار .

– تسليح بواسطة خيوط مستمرة طويلة : وتستخدم في الرمل حتى تاريخه ، وتعرف عالميا باسم Texsol .

– تسليح بواسطة شبكات خيطية صغيرة .

تصنع عناصر الخيوط هذه من البوليستر غالبا ، وتوضع بكثافة 2/1000 من كتلة التربة ، فتربط الخيوط حبيبات التربة بشكل أكبر وتعطي بذلك تماسكا كبيرا للخليط . ونأخذ مثالا على هذا تربة رملية ذات تماسك $c = 0$ وزاوية احتكاك داخلي $\phi = 35^\circ$ تصبح بعد خلطها مع الخيوط بنفس زاوية الاحتكاك 35° درجة ولكن قد يصل التماسك الى 200 kPa حيث يختلف حسب اتجاه القص ، وغالبا مايرتفع التماسك في تجربة القص الأحادي من الصفر الى 40 kPa بوجود الخيوط في تربة رملية . وتعطي الخيوط المستمرة تماسكا أكبر من الخيوط القصيرة لنفس كثافة الخيط في التربة .

يوضع عادة خليط التربة المسلحة هذه كجدار أمام كتلة التربة المنزلقة لتثبيتها .

2 – التسليح بواسطة عناصر كبيرة (macro-renforcement) : ومن أنواعه :

– تسليح معدني بواسطة الحديد غالبا من مجاري أو قضبان أو عصائب . ويعرف عالميا باسم Terre armée (Reinforced earth) .

- تسليح بواسطة شبكات خيطية خاصة حصيرية مصنعة من الخيوط أو البلاستيك أو البيتومين .. وتدعى Geosynthetic منها مايصنع من النسيج ويدعى الجيوتكستيل Geotextile ومنها من البلاستيك ويسمى جيوغريد Geogrid ومنها من المواد الكتيمة ويسمى جيو ممبرانGeomembrane .

- تسليح بالمسمرة Clouage بقذف عناصر معدنية في كتلة التربة الموجودة .

- تسليح بواسطة الدواليب المستعملة ، ويعرف باسم Pneusol .

وسنتعرض لاحقا لكل نوع من هذه الأنواع بشكل مختصر تعريفا وتأريخا وميزات وتنفيذا واستخدامات .

فكرة عن دراسة توازن التربة المسلحة :

يتم دراسة توازن التربة المسلحة بشكل كلاسيكي كأي توازن جدار استنادي أو منحدر مع الأخذ بعين الاعتبار تأثير عناصر التسليح التي تزيد من تثبيت التربة ، ويدرس كل من التوازن الداخلي والخارجي للكتلة

- التوازن الداخلي :

ان خط انزياح التربة هو خط اجهادات الشد الأعظمية Tmax المبين في الشكل ، ويعطى عندها عامل الأمان لتوازن المنحدر الداخلي بالعلاقة :

$$F = \frac{M_{Resol} + \sum_{j} \rho_j \cdot T_{j\,max}}{M_m}$$

حيث : M_R عزم التربة المثبت .

$\sum \rho_j T_{j\,max}$ عزم التسليح المثبت .

M_m العزم المحرك .

- التوازن الخارجي :

حيث تدرس وبالطرق الكلاسيكية المعروفة كتلة التربة المسلحة ككتل على (شكل) :

الانقلاب ،

الانزلاق ،

الانغماس (انهيار التربة) .

- انهيار التسليح : يدرس تسليح التربة على أمرين الكسر والانزلاق كما يلي :

المقاومة على الكسر : يعطى شرط الانكسار :

$$T_R \leq T_{max}$$

أي أنه إذا كانت قوة تحمل العنصر أصغر من القوة العظمى المطبقة انكسر التسليح . حيث أن :

$$T_{j\,max} = T_{Rj} \cdot n_j$$

مقاومة كسر عنصر التسليح × عدد عناصر التسليح

المقاومة على الانزلاق : يعطى شرط الانزلاق :

$$tg\phi_{\text{تسليح/تربة}} \leq tg\delta$$

أي إذا كان ظل زاوية تربة - تسليح الداخلية للمركب أصغر من ظل زاوية مستوى الانهيار انزلق التسليح . حيث أن :

$$T_{j\,max} = \underbrace{2 \cdot l_{aj} \cdot b}_{\text{سطح الالتقاء}} \cdot \tau_{j\,max}$$

ويكون الشد الأعظمي للتسليح :

$$\tau_{j\,max} = \sigma \cdot F_j^*$$

ولكن :

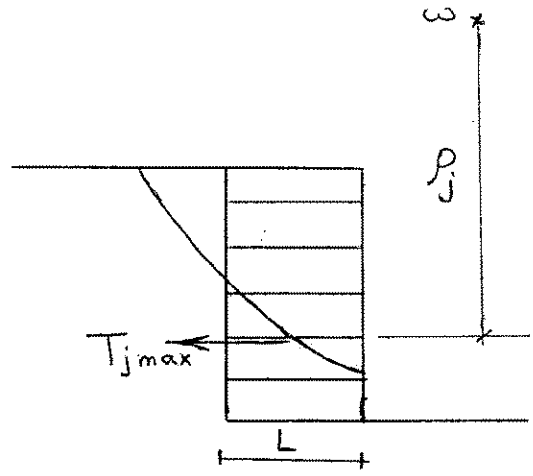
$$\sigma = \gamma \cdot Z$$

$$F_j^* = tg\phi_{\frac{\text{تسليح}}{\text{تربة}}}$$

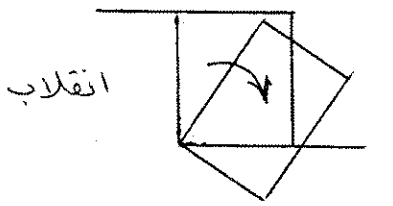
$$T_{jmax} = n_j \cdot 2 \cdot l_{aj} \cdot b \cdot \gamma \cdot Z \cdot tg\phi_{\frac{\text{تسليح}}{\text{تربة}}}$$

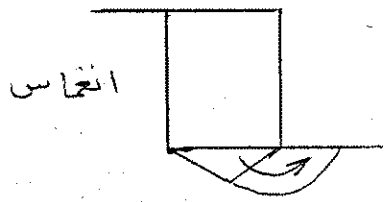
وباخصلة يكون :

$$T_{j\,max} = \min(T_{j\,max}\,,\ T_{j\,max})$$
انكسار انزلاق

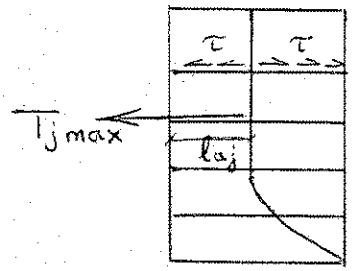


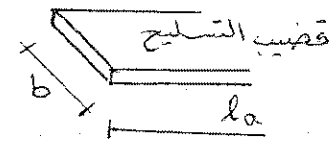
التوازن الداخلي للتربة المسلحة



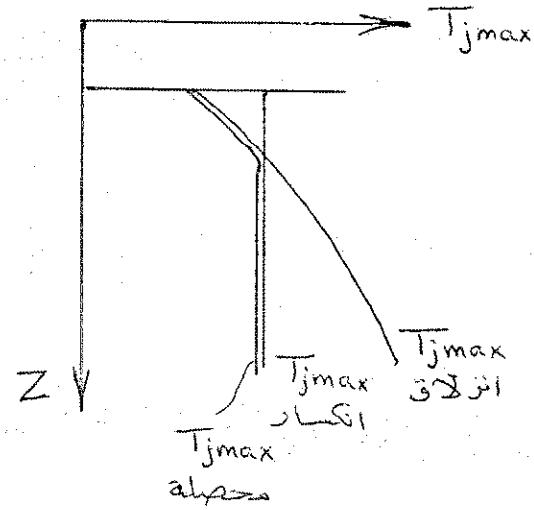


التوازن الخارجي للتربة المسلحة





تحديد T_{jmax} على الانزلاق



تحديد محصلة T_{jmax} للتسليح

الخليط خيط – تربة TEXSOL

هو عبارة عن خليط كامل من خيوط البوليميرات المصنعة (عادة بوليستير) المستمرة والتربة (استخدمت الرملية حتى الآن) تنفذ في المكان بواسطة آليات خاصة وبنسب خيط إلى تربة معينة (0.1 – 0.2 ٪ وزنا من التربة الجافة ، أي مئات الكيلومترات من الخيط بالمتر المكعب من المادة أي مايعادل حوالى 20 إلى 40 كغ من الخيط) . علما بأن نوعية الخيط تتحدد وفق طبيعة التربة وتدرجها الحبي .

خرج هذا التكنيك الى الوجود عام 1985 بعد عدة سنوات من البحوث والتجارب جرت في المخبر المركزي للجسور والطرق في فرنسا (Laboratoire Central des Ponts et Chaussees) LCPC ، وفي نهاية عام 1987 أي بعد عامين من ظهوره تم وضع 50000 م3 من الردميات من هذا الخليط في الردميات في أكثر من 35 ورشة في فرنسا ، كما انتشر انتشارا واسعا في اليابان .

أهم **صفات** هذا النوع من التسليح هي :

– من الناحية الميكانيكية : (شكل)

1 – تأمين تماسك أكبر بكثير نتيجة الاتحاد المتجانس بين الخيط وحبيبات التربة المؤمن بالاحتكاك وهذا التماسك ثابت ولا يتعلق برطوبة التربة فخواص الخيط الميكانيكية العالية تسمح بالحصول على تماسك أكبر من 100 kPa بجرعة 0.1 ٪ من الخيط .

2 – قابلية الخليط خيط – تربة للتشوه والتي تزداد بشكل كبير قبل الوصول إلى الانهيار .

– من الناحية الهيدروليكية :

إن هذه المادة الجديدة تحفظ نفوذية التربة وبالتالي فهي تتحمل التقلبات الجوية ، كما أنه بالامكان زراعة الأعشاب في هذه التربة .

وبهذا فإن وجود الخيط في التربة يؤدي إلى تغيير مواصفاتها وسلوكها ومقاومتها بشكل كبير نحو الأفضل ، هذه الخواص الهامة تؤدي بالتالي إلى **حسنات** عديدة للخليط أهمها :

- امكانية انشاء ميول حسب الطلب من الأفقي حتى الشاقولي .
- سرعة التنفيذ .
- امكانية زراعتها وهذه ناحية جمالية وبيئية هامة .
- استملاك أضيق مايمكن للأراضي مكان المنشأ .
- تأقلم مع كل أشكال تضاريس (جيومتري) الورشات .
- الصنع في المكان وعدم الحاجة الى مواد خارجية .
- النفوذية محفوظة .
- امتصاص الصوت والصدمات .
- مقاومة ضد الزلازل .
- مقاومة لأنواع الحت .

ولاشك أن كل هذه الحسنات تؤدي إلى مجالات **استخدام** واسعة وجديدة لمنشآت التربة والجيوتكنيك أهمها :

- ردميات وجدران استنادية بميول مختلفة وكبيرة وارتفاعات معتبرة (مثلا جدار بارتفاع 14 م وميل 78° في بيريغو الفرنسية عام 1988) .
- الحفر الاستنادية .
- السدود ومنشآت الشواطئ والأنهار .
- منشآت ضد الصدمات والهزات والزلازل .
- منشأ حماية ضد الحت المائي .
- مرشحات ومصارف مقاومة للقص .
- الأساسات على ترب منضغطة .
- الطرق والسكك الحديدية .

- جدران ضد الضجيج .
- منشآت مزروعة ذات جمال طبيعي ومعماري وبيئي .
- حواجز لاستقرار الكثبان الرملية .
- حواجز لأمان الطرق .

تنفيذ الخليط خيط – تربة :

يتطلب وضع هذا الخليط في المكان آليات كبيرة خاصة تتألف من قسمين الأول مغذ لحبيبات التربة عبارة عن فتحة مغذية وشريط ناقل والثاني نظام هيدروليكي أو غازي بالهواء المضغوط لتوزيع الخيط ، وذلك لتأمين وضع بآن واحد ووتيرة واحدة للخليط المتجانس من الخيط والتربة .

ومن أهم الآليات المستخدمة في تنفيذ الخليط :

- Texsoleuse وهي الأكبر حجما ، ذات مردود 100 – 140 م3/يوم .
- Texsolaire مردودها 80 م3/يوم .
- Texsolette للورشات الصغيرة وهي يدوية أي يتم ضخ التربة والخيط بشكل منفصل وتتطلب بالتالي عناية أكبر في التنفيذ للحصول على خليط متجانس ، ومردودها 20 م3/يوم .

ويتم التنفيذ في المكان بمرور التربة المختارة ابتداء من فتحة التغذية في الآلية وعبر الشريط الناقل إلى مكان وضع الخليط حيث وبنفس الوقت يضخ إليه الخيط بواسطة الجهاز الهيدروليكي أو الغازي ، بحيث توضع عادة على طبقات من 2 إلى 10 سم في المنشآت الخطية وغالبا ما يتم دحلها ، وخلال عملية التشييد يتم تفحص كمية الجرعة بشكل دوري ونوعية الخيط وكثافة الخليط كما يجب التأكد من عدم وجود سطوح تربة من غير خيوط ولا بكثافة خيوط هائلة وذلك لتحاشي تشكل سطوح ضعيفة وأقل تحملا . بعد انهاء المنشأ يتم تغطيته بالنباتات والأعشاب فلايتوقع الناظر أن هناك منشأ استنادي هنا .

الخواص التكنيكية والمعطيات الاقتصادية :

إن أهم مايجب معرفته للقيام بعملية التنفيذ ما يلي :

- مواصفات الخيط (طبيعته ومقاومته الميكانيكية) .

- جرعة الخيط .

- الرص المطلوب .

- المردود .

- شكل المشروع التضاريسي وأبعاد المنطقة المراد تسليحها .

ويتم قياس بعض هذه الخواص عبر تجارب مخبرية (كخاصتي الخيط) وأخرى تقاس في الموقع كما ذكرنا آنفا .

أما دراسات المخبر فهي عبارة عن نوعين من التجارب : تصنيع وملاءمة .

1 - تجارب التصنيع :

- حول التربة : تحليل حبي ، حدود أتربرغ ، بركتور نظامي ، موازن نسبة الرمل (نظافة) .

- حول الخيط : نوعه ، طبيعة البوليمير ، تمدده حتى الانقطاع ، عامل التشوه الأولي .

- مواصفات ميكانيكية لخليط الجرعة المدروسة : الضغط البسيط ، القص الثلاثي المحاور ، القص البسيط

2 - تجارب ملاءمة : وهي للتأكد من ظروف الورشة وتؤخذ العينات حسب المواصفات الفنية المنشورة ، والتجارب هي :

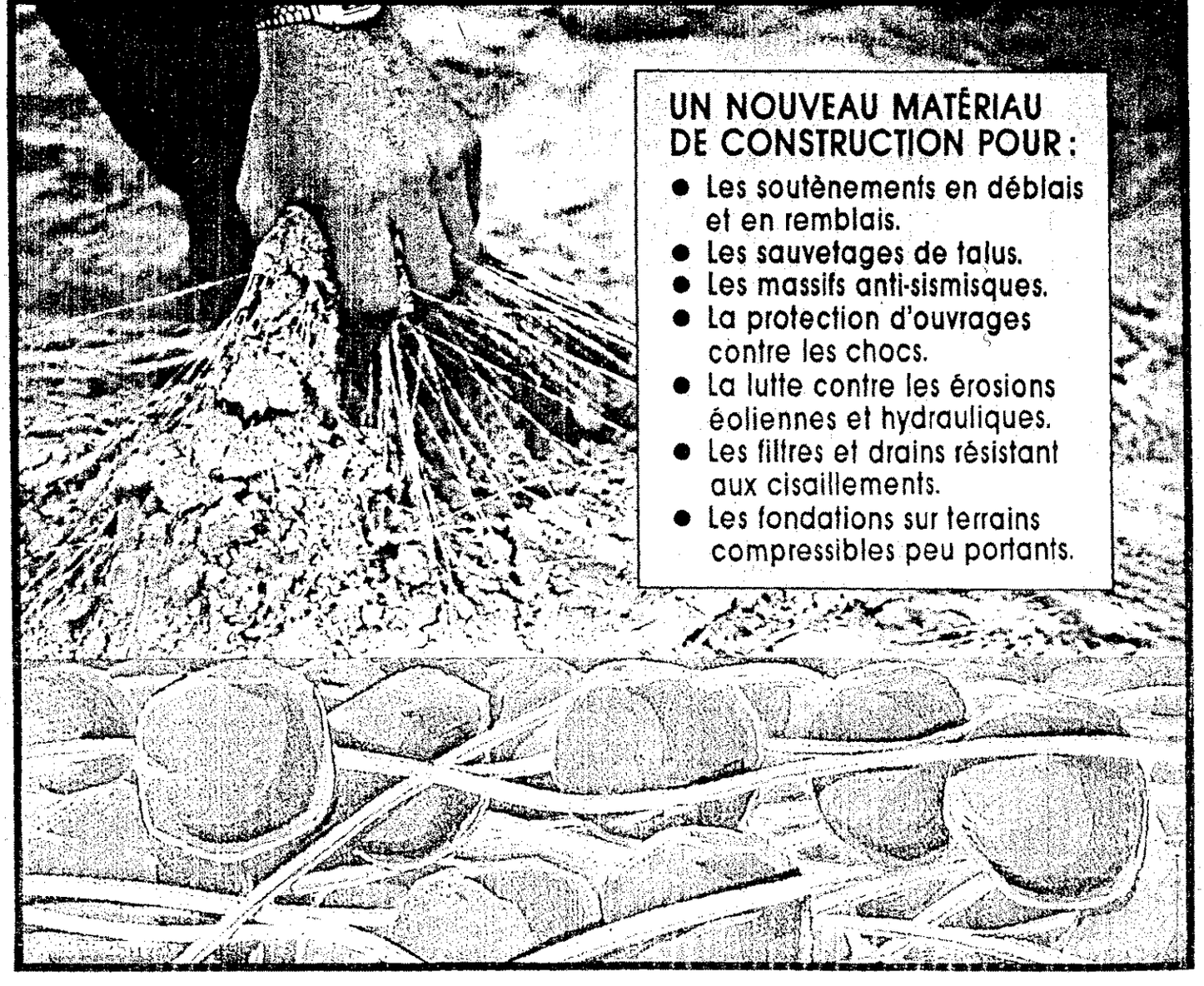
- للتربة : تركيب حبي ، بركتور نظامي ، موازن نسبة الرمل .

- للتخليط : المواصفات الميكانيكية التماسك وزاوية الاحتكاك من القص الثلاثي المحاور وأحيانا القص المباشر ، النفوذية .

وهناك إضافة إلى ذلك مراقبة دائمة أثناء العمل للآلية وللرص ولكيفية وتكنولوجيا العمل وللتخليط وللمنشأ هذا ويتم تصميم المنشأ بدراسة توازنه الداخلي والخارجي لانهيار دائري وغير دائري كما سبق ونوهنا في المقدمة .

TEXSOL

BREVET DU LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES



UN NOUVEAU MATÉRIAU DE CONSTRUCTION POUR :

- Les soutènements en déblais et en remblais.
- Les sauvetages de talus.
- Les massifs anti-sismisques.
- La protection d'ouvrages contre les chocs.
- La lutte contre les érosions éoliennes et hydrauliques.
- Les filtres et drains résistant aux cisaillements.
- Les fondations sur terrains compressibles peu portants.

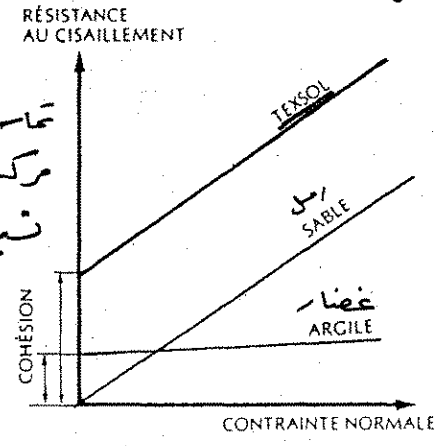
SOCIÉTÉ D'APPLICATION DU TEXSOL

SACLAY • ESSONNE • B.P. 62 • 91401 ORSAY CEDEX • FRANCE • TÉL. : (1) 69 85 30 15 •
TÉLEX : 602 538 F • TÉLÉCOPIE : 69 85 30 33

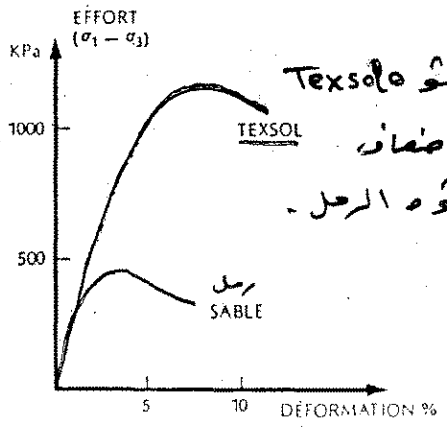
LE MATÉRIAU

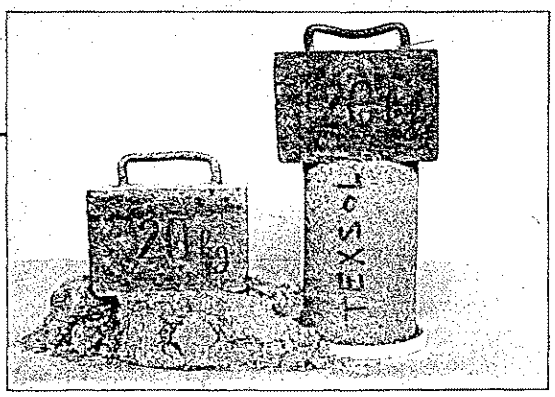
TEXSOL est un mélange intime de fils synthétiques et de sol fabriqué in-situ par un matériel spécifique. Le mélange comporte des fils continus multibrins selon une proportion de O,1 % à O,2 % en poids. La liaison entre le fil et les grains se fait par frottement, conférant ainsi au nouveau matériau une cohésion importante, constante et indépendante de la teneur en eau du sol. On détermine la qualité du fil et son titre en fonction de la nature du sol, de sa granulométrie, et des propriétés souhaitées du TEXSOL. 20 à 40 kg de fil continu par mètre cube, dosages courants, représentent de 100 à 250 kilomètres de fil par mètre cube de TEXSOL.

COHÉSION ÉLEVÉE
100 à 300 Kilo Pascals selon le dosage en fils



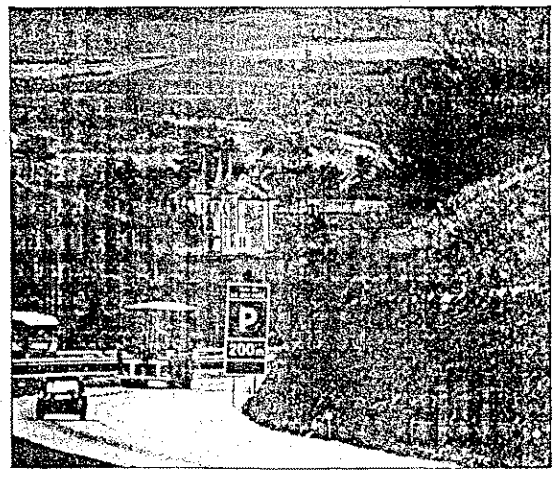
CAPACITÉ DE DÉFORMATION IMPORTANTE AVANT RUPTURE





LES PROPRIÉTÉS DU TEXSOL

Résistances mécaniques accrues par rapport au sol original
Pas de modification de la perméabilité et du module de déformation
Végétalisable



LES AVANTAGES DU TEXSOL

Pente des talus à la demande, jusqu'à la verticale
Rapidité de mise en œuvre
Végétalisation
Emprises extrêmement restreintes
Adaptation à la géométrie de tout site
Fabrication in-situ, aucun délai de prise
Perméabilité conservée
Absorption des chocs et du bruit
Qualité anti-sismiques
Résistance à l'érosion

TEXSOL

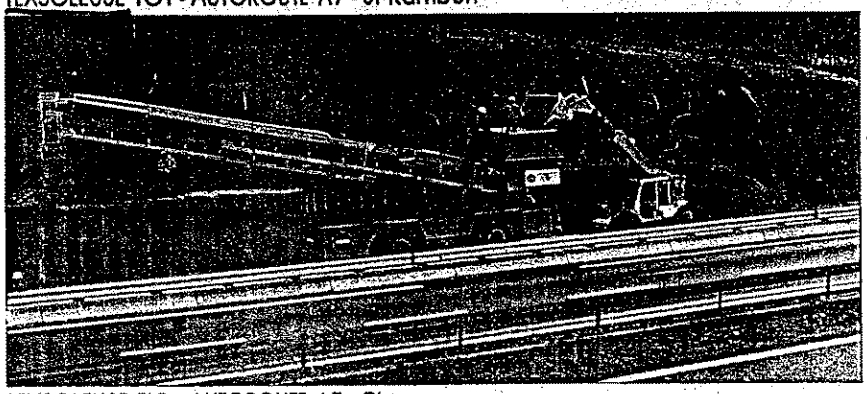
LE MATÉRIEL - LE RENDEMENT

Les appareils de fabrication du TEXSOL sont de 4 types :

أنواع الآليات المستخدمة لصنع الخليط

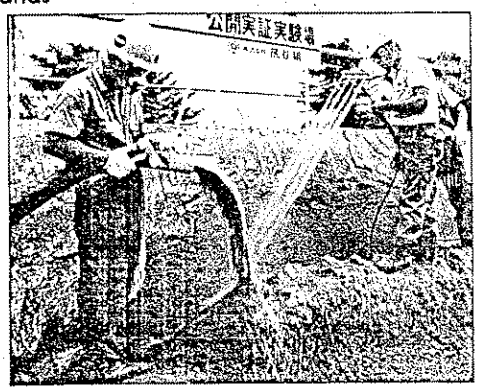
TEXSOLEUSE TO1 - AUTOROUTE A7 - St-Rambert

❶ Une machine sur chenilles pour chantiers linéaires.
Une chaine d'alimentation du sol qui projette le matériau à l'endroit précis de sa mise en œuvre et un système de distribution du fil doté de buses d'éjections propulsant les fils à 20 mètres / seconde.



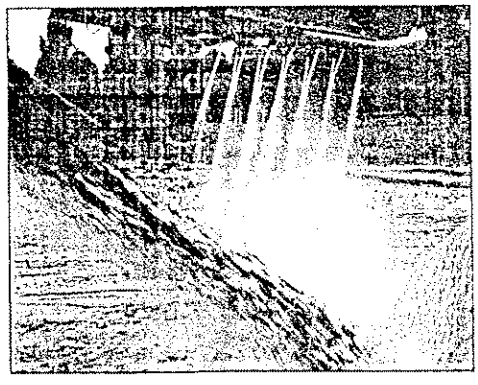
TEXSOLEUSE TIO - AUTOROUTE A7 - Chanas

❷ Une machine sur pneus, code de la route, à équipement téléscopique basée sur les mêmes principes que le matériel sur chenilles, mais avec fort rendement.



TEXSOLETTE - KUMAGAÏ GUMI - Japon

❸ Un matériel manuel pour les petits volumes, réunissant une guniteuse et un pistolet hydraulique distribuant les fils.

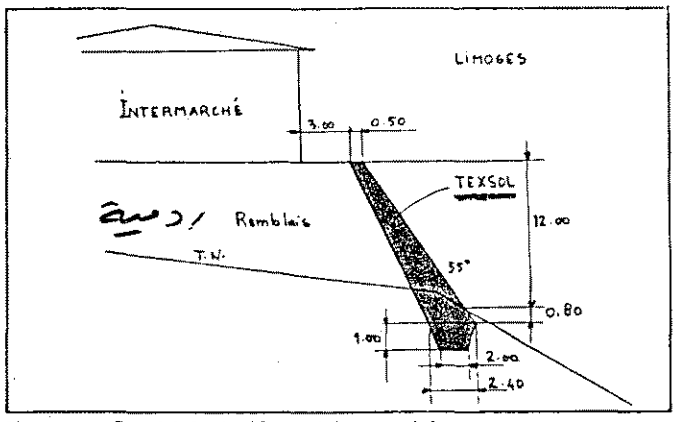


TEXSOLEX - LELYSTADT - Hollande

❹ Un prototype permettant l'exécution de couches horizontales, routières ou sous voie ferrée, des renforcements sous remblais ou des stabilisations de dunes.

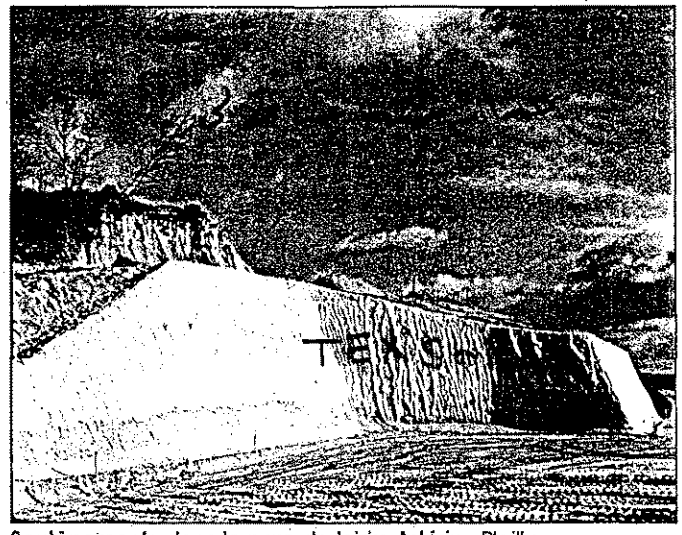
الاستخدامات

QUELQUES APPLICATIONS

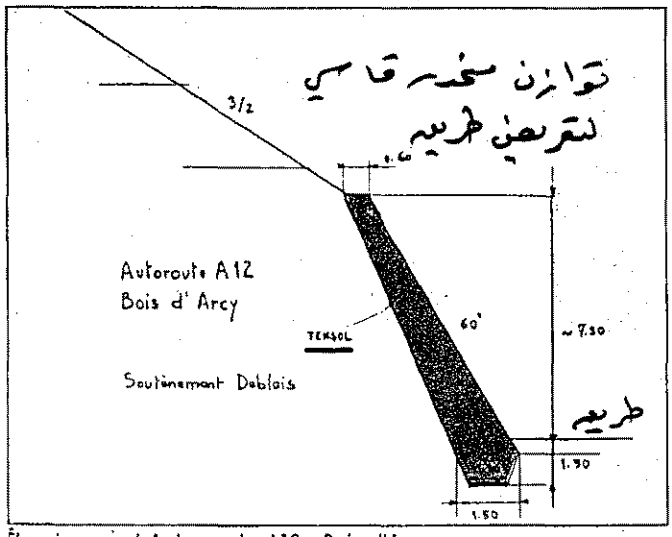


Limoges - Remblais de 12 m - Intermarché

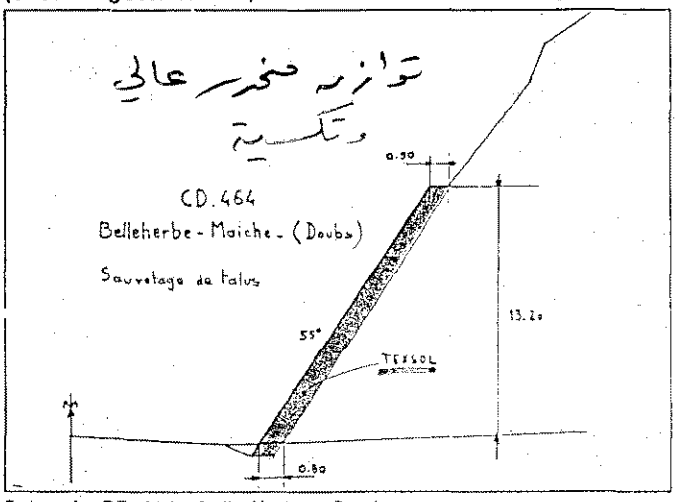
Talus en déblais - SNCF - Bourg-en-Bresse (avant engazonnement)



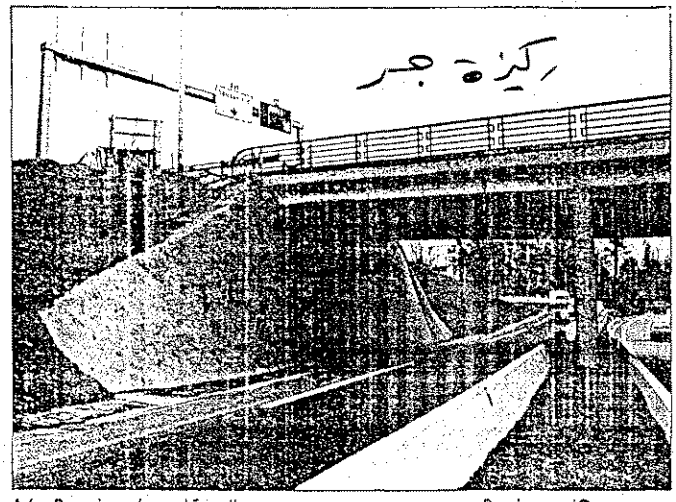
Soutènements dans le parc de loisirs Astérix - Plailly (avant engazonnement)



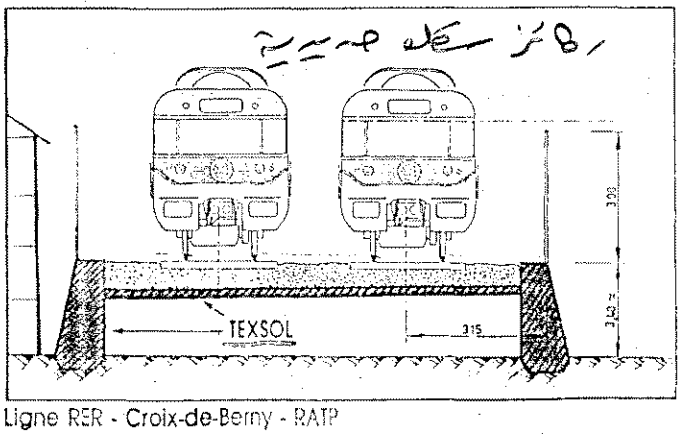
Élargissement Autouroute A12 - Bois d'Arcy



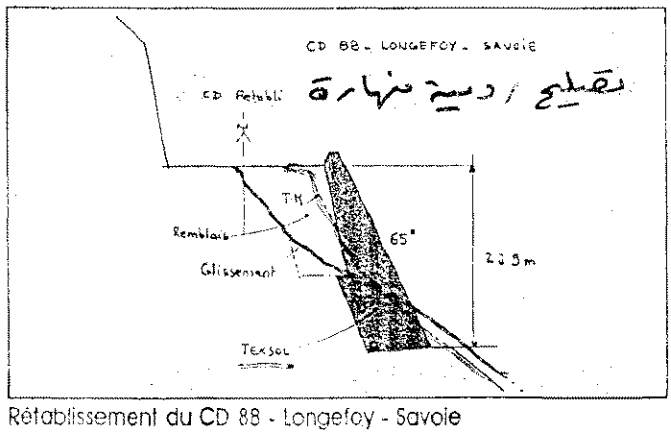
Talus du CD 464 - Belle Herbe - Doubs



A6 - Reprise de culée d'ouvrage en sous-œuvre - Savigny s/Orge



Ligne RER - Croix-de-Berny - RATP



Rétablissement du CD 88 - Longefoy - Savoie

REINFORCED EARTH - TERRE ARMEE – التربة المسلحة

مقدمة : كما سبق وأن ذكرنا فإن التربة تتمتع بحد ذاتها بخواص جيدة على الضغط والقص لكن ليس على الشد .. لذا وفي عام 1963 أعطى المهندس المعمار هنري فيدال Henri VIDAL فكرة وضع تسليح مرن يتحمل على الشد في التربة مخترعا بذلك مادة مركبة جديدة متماسكة ومقاومة سميت بالتربة المسلحة تقاوم كل القوى الستاتيكية والديناميكية وتفي بعدة متطلبات هندسية لكثير من المنشآت . تتألف هذه المادة الجديدة من : (شكل)

- تربة حبيبية مكونة للكتلة ،
- تسليح وغالبا مايوضع بشكل أفقي وهو يتحمل على الشد ،
- واجهة وعادة ماتكون من بلاطات مسبقة الصنع .

وككل المواد المركبة فإن الاتصال بين مركباتها - وهو هنا الاحتكاك بين التربة والتسليح - يلعب الدور الأساسي في سلوك المجموعة ككل .

وجدت التربة المسلحة منذ ولادتها سوقا رائجا واسعا في أنحاء العالم وأظهرت آلاف المنشآت حسناتها التكنيكية واقتصاديتها الكبيرة في مجال الهندسة المدنية ودخلت ضمن نظم جميع المؤسسات . فبعد استخدامها لأول مرة في منشأ حقيقي عام 1968 ، استخدمت في أكثر من 10000 منشأ في أكثر من 37 بلدا غطت مساحة جدارية أكبر من 5300000 م2 من التربة المسلحة حتى عام 1989 ومازالت في نجاح وتزايد مستمرين إلى يومنا هذا ، وذلك لمتانتها وسهولة تنفيذها وسرعته - إذ تستخدم مواد مسبقة الصنع - وديمومتها ومرونتها -إذ تتحمل تشوهات كبيرة قبل الانهيار مما يجعلها متوافقة مع أية تربة قابلة للانضغاط- فضلا عن اقتصاديتها مقارنة مع الحلول الكلاسيكية الأخرى .

فكرة عن التصميم النظري :

1 - سلوك التربة المسلحة : (شكل)

يختلف الشد في عنصر التسليح حسب البعد عن الواجهة فهو ليس ثابتا بل يوجد قمة للشد الأعظمي في كل عنصر ، ويقسم خط الشد الأعظمي هذا التربة إلى منطقتين :

– منطقة فعالة : تسعى فيها الردمية إلى الهروب من المنشأ والانزلاق لكنها مشدودة إلى مكانها بفعل الاحتكاك على طول التسليح .

– ومنطقة مقاومة : حيث تتجه اجهادات القص الحادثة من الاحتكاك على طول التسليح بالاتجاه العكسي، ويثبت التسليح في هذه المنطقة باحتكاك القوى المقاومة التي تعود للانتشار في المنطقة الفعالة .

إن خط الشد الأعظمي هو عبارة عن مكان خطر الانهيار أو مايسمى بسطح الانهيار ويكون عادة شاقوليا في القسم العلوي من الجدار على بعد أقل وبجوار 0.3 من الارتفاع .

2 – الأبعاد والتصميم :

إن تصميم منشأ التربة المسلحة معقد وذلك حسب الشكل التضاريسي للمكان ومحصلات القوى المطبقة من حمولات وهزات أرضية وتأثير مياه لكن مبدأ النظريتين المستخدمتين في التصميم سهل وبسيط :

النظرية الأولى وهي الطريقة المحلية التي تحسب في كل مستوى تسليح الشد الأعظمي الذي يجب أن تتحمله عناصر التسليح وبالتالي مكان الشد الأعظمي المشار إليه في الفقرة السابقة ثم يتم التحقق من كفاية مقطع التسليح لمقاومة هذا الشد ومن أن سطح التسليح الخلفي بعد نقطة قمة الشد الأعظمي يسمح بتثبيت القوى بالاحتكاك وذلك بعامل أمان كاف أمام الانهيار نتيجة ذهاب التلاصق والانزلاق .

أما النظرية الثانية ذات الانتشار الأوسع والتي هي عبارة عن طريقة مشتقة من نظرية بيشوب Bishop المعروفة (مستوى الانهيار الدائري) حيث الانهيار العام معطى وهو انزلاق على دائرة ، فنقارن العزم المحرك المؤلف من الحمولة الذاتية للتربة وقوى الزلازل مع العزم المقاوم المثبت الناشئ عن مقاومة القص للتربة مع المقاومة الناشئة من عناصر التسليح .

3 – التماسك تربة – تسليح :

إن قص التربة حول التسليح يؤدي إلى تطاوله مما يعطي زيادة في الضغط المحلي (شكل) وبالتالي زيادة في الاحتكاك المثبت . إن عوامل تثبيت الاحتكاك الهامة هي :

- زاوية احتكاك التربة ،
- كثافة الردمية : يزداد عامل الاحتكاك بزيادة الكثافة ،
- نوعية سطح التسليح : ناعم أوخشن أو ذو نتوءات ،
- التدرج الحبي للتربة : فتربة متجانسة التركيب تعطي عامل انضغاط ضعيف تحت ضغط ضعيف (أي أعلى الجدار) .

تكنولوجيا التربة المسلحة :

هناك قواعد ونصائح منشورة في النظم والمراجع حول التربة المسلحة يتحدد من خلالها مواصفات المواد المستخدمة من تربة وتسليح وواجهات بحيث تؤمن احتكاكا أمثل وبالتالي ديمومة أطول .. أهمها :

1 - مواد الردمية :

يجب تحديد مواصفات معينة جيوتكنيكية وتنفيذية وكيميائية والكتروكيميائية لكل منشأ :

- المواصفات الجيوتكنيكية : وهي عبارة عن نقطتين :

مواصفات التربة الداخلية كعامل الدفع K ، وسلوك التربة مع التسليح كعامل التماسك والاحتكاك (f^*)، وهناك تجارب مختلفة لتحديد هذه العوامل كالقص الثلاثي المحاور (K) والشد المسبق للتسليح (f^*) وتجربة القص المباشر للتربة المسلحة . وعادة ماتكون زاوية احتكاك التربة أكبر من 25 درجة وزاوية احتكاك تربة/تسليح أكبر من 22 درجة .

- المواصفات التنفيذية : وهي عبارة عن ضمان دحل ورص جيدين للردميات ، ومن أهمها :

الحبيبات الأكبر أقل من 250 مم ، وكون الرطوبة مجاورة لمركتور النظامي .

- النظم الكيميائية : وتدور حول الديمومة والتآكل والصدأ وذلك حسب نوع التربة ونوع الحديد ومشوارد مياه الضغط المسامي والمقاومية وال PH والرطوبة والأملاح . وأهمها :

× مقاومية التربة المشبعة > 1000 أوم.سم ،

× 5 < PH <10 ،

× كمية الأملاح المنحلة : شوارد كلور -cl < 200 مغ/كغ ،

شوارد سولفات --So4 < 1000 مغ/كغ ،

× كمية السولفرات الكلية : سولفر S < 300 مغ/كغ ،

× لا مواد عضوية .

2 – التسليح :

من الناحية الميكانيكية يجب كون التسليح مرنا ويتحمل الشد ويعطي زاوية احتكاك جيدة مع التربة فضلا عن كون تشوهاته قليلة وانكساره غير مفاجئ كما يجب أن يحقق شرطي الديمومة والاقتصادية .

والحقيقة أن أفضل أنواع التسليح حتى الآن هو الفولاذ المرن أوالنصف قاسي ، فقد انهار عام 1966 جدار تجربة استخدم فيه البلاستيك والألياف الزجاجية بوليستر المغلفة بلاصق والتي لها نظريا مواصفات جيدة ومحققة للمواصفات المطلوبة وذلك بسبب البكتريات ، كما أن محاولة أخرى تمت باستخدام خيوط تركال في تجربة جدار أعطت ضياع مقاومة تسليح أكبر من 40٪ بعد 10 سنين .

3 – الواجهات :

وهي إما عبارة عن واجهات بيتونية مسبقة الصنع أو معدنية ، وبذلك فهي يمكن أن تتمتع بجمال معماري حسب الطلب ، والواجهات لاتلعب أي دور ميكانيكي في المنشأ بل إن وظيفتها :

– مسك التربة بين سريري تسليح ومنع الانهيارات المحلية والحت السطحي للتربة ،

– تنظيم وضعية التسليح وتحديد مساره الصحيح في الفراغ .

استخدامات التربة المسلحة :

1 – في الجبال : تنقل كتلة التربة المسلحة المتماسكة واللينة ضغطا منتظما إلى تربة التأسيس مما يزيد من توازن المنشأ على منحدر خطير . وفي المواقع الجبلية تحتاج عادة لانشاء منشآت هامة كالردميات إذ ذاك

تسمح التربة المسلحة بالتخلص من الانهيارات الدائمة الحاصلة نتيجة عدم التوازن ، كما نحتاج أيضا إلى انشاء طرق في مناطق جد ضيقة والتربة المسلحة تسمح هنا بانشاء جدران شاقولية لتأمين مثل هذه الطرق .

2 – في الجدران الاستنادية والجسور وتخطيط المدن : فالأمكنة في المدينة ضيقة دائما والطرق لابد منها ، والتربة المسلحة تعطي حلا فنانا لهذه المشاكل فضلا عن البناء السريع جدا نتيجة استخدام البلاطات مسبقة الصنع وأيضا احتلال المساحة المحدودة حول المنشأ إذ لاحاجة للكوفراج والعمل ضمن الورشة . كما تسمح التربة المسلحة بانشاء جدران قوسية دونما زيادة في السعر ، إضافة إلى الحلول المعمارية الجميلة لتحسين المدينة بيئيا ومعماريا مع امكانية تشييد جدران خضراء أيضا . علما أن استخدامها من أجل الطرق بشكل عام بلغ 80٪ من الاستخدام .

وكنتيجة لمرونة التربة المسلحة ولتحملها القوى الهائلة ثم نقلها بشكل اجهادات منتظمة إلى تربة التأسيس مما يغير مخطط العزم القالب في الجدران الاستنادية (شكل) نستطيع حذف حل الأساسات الكلاسيكية وخاصة العميقة والأوتاد خصوصا فوق الترب القابلة للانضغاط ، هذا الحل استخدم مئات المرات وفي كثير من المدن .

3 – في المرافئ والسواحل : وذلك أن التربة المسلحة تتحمل القوى الهيدروديناميكية والهيدروستاتيكية الكبيرة فتقاوم الأمواج والعواصف والتجمد وصدمات القوارب لذا فهي تستخدم في الطرق والجدران والسدود المتاخمة لمياه البحار والأنهار والبحيرات ، فضلا عن أهمية سرعة تنفيذها كعامل لتحمل الخطر الأقل للأمواج والعواصف الممكن حدوثها أثناء التنفيذ .

4 – منشآت ضد الزلازل والانفجارات والأحمال الديناميكية : إن عامل التخميد العالي لهذا النوع من المنشآت يجعلها تمتص القوى الديناميكية الناجمة عن الزلازل أو القطارات السريعة أو الانفجارات في المنشآت العسكرية أو غيرها ...

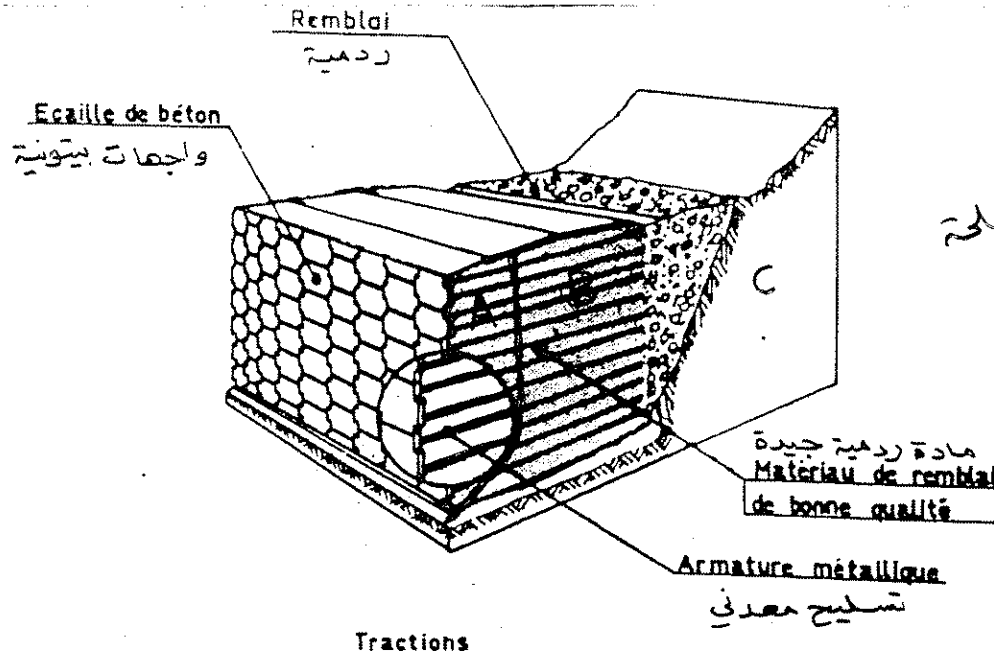
5 – في المنشآت الصناعية ومنشآت الطاقة الكبيرة : فهي بالإضافة إلى اقتصاديتها في هذا المجال تحل مشاكل عدة كما في وضع الجدران المائلة في التخزين المغطى للمواد كالفحم وغيره قرب المناجم أو كما في جدران الحماية حسب المواصفات المطلوبة حول محطات الغاز .

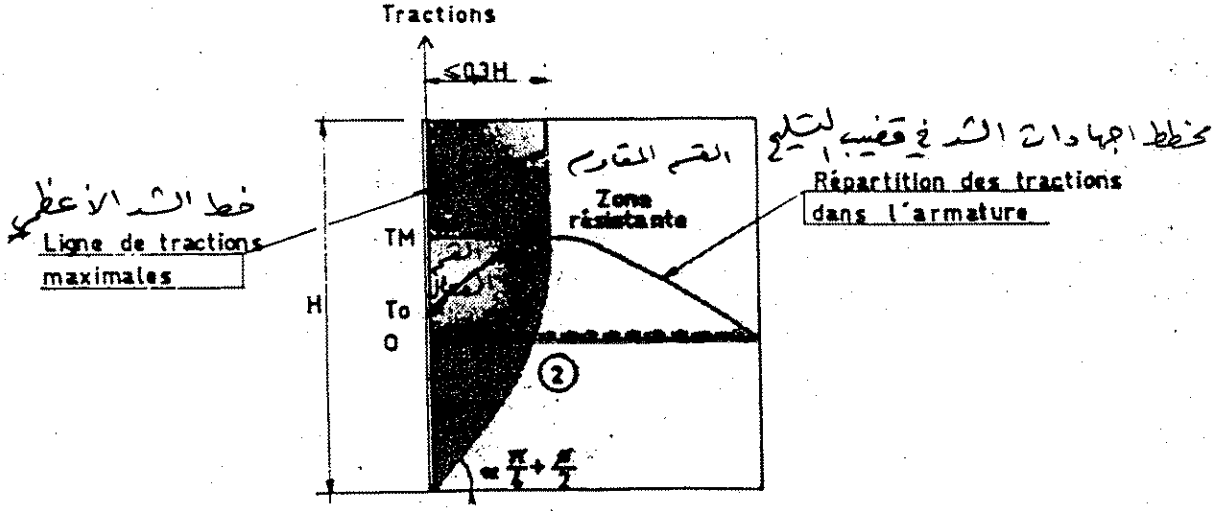
تنفيذ التربة المسلحة :

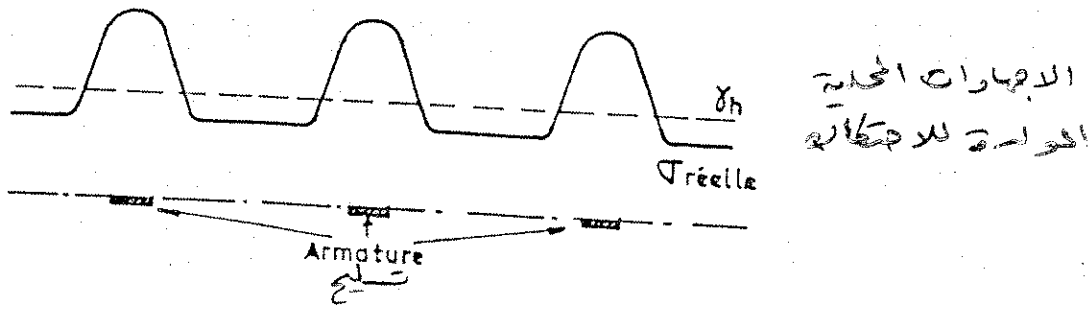
يتم انشاء التربة المسلحة بسهولة وسرعة كبيرتين كما يلي (شكل) :

توضع أولا الأساسات البيتونية للمنشأ ثم يوضع فوقها الصف الأول من الكتل البيتونية المسبقة الصنع كواجهة ثم يوضع كل من التربة مع الدحل والتسليح مع تركيزه في مكانه وشده إلى البيتون المسبق الصنع بالبراغي والعزقات وذلك بشكل متتابع ومنتظم وهكذا يرتفع المنشأ شيئا فشيئا ..

إن فريقا من 4 – 5 رجال وخلال 8 ساعات ينتج وسطيا 50 – 100 م2 من منشأ جدار .







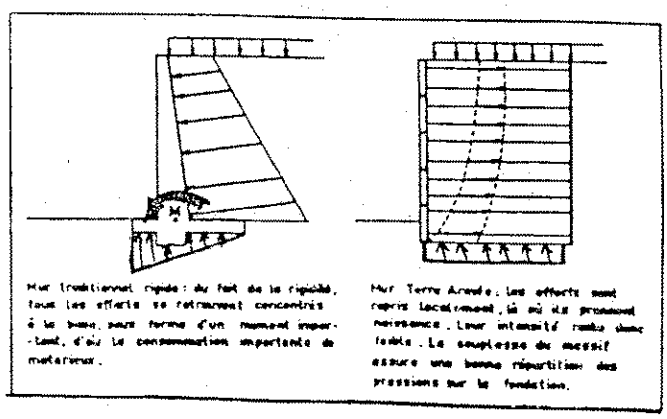
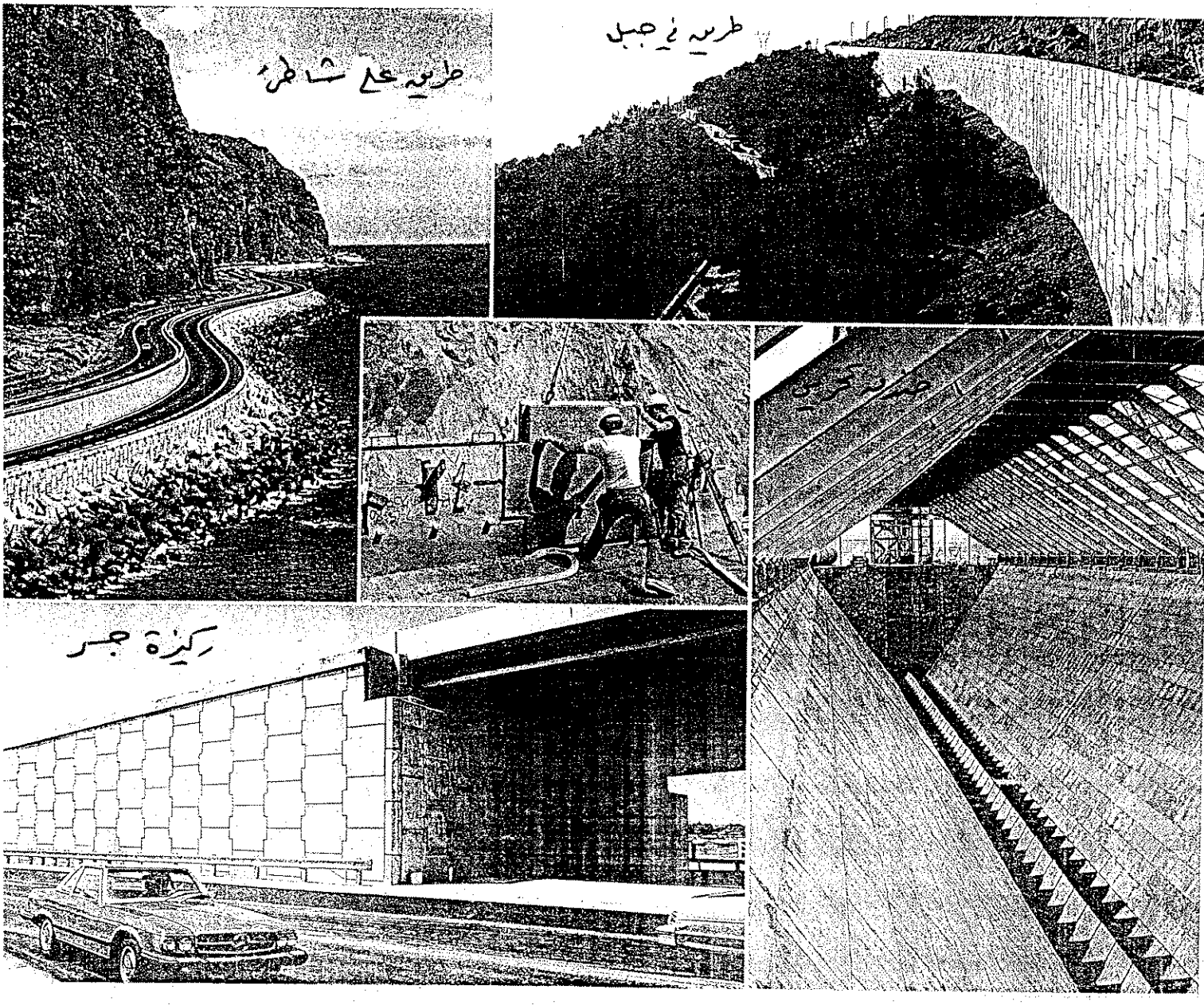


Fig.11 : Terre Armée comparaison avec structure traditionnelle.

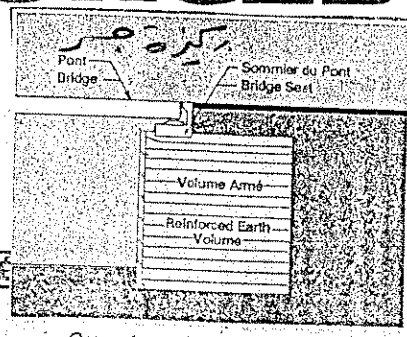
مقارنة التربة المسلحة مع جسم اعتيادي كلاسيكي

أشهر طرق التربة المسلحة

TERRE ARMÉE



REINFORCED EARTH



terre armé

reinforced earth®

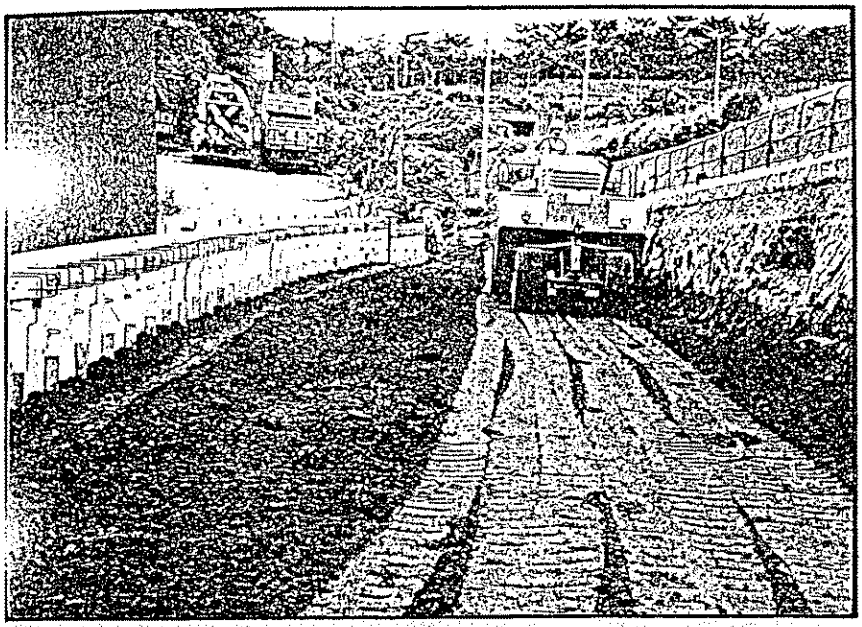
Coupe-type d'une culée de pont en Terre Armée.

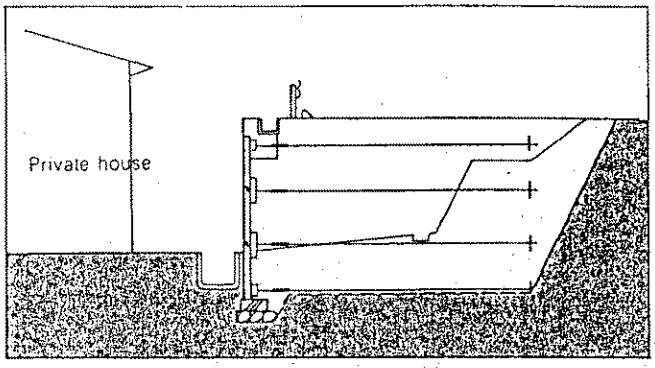
Typical section of a Reinforced Earth bridge abutment.

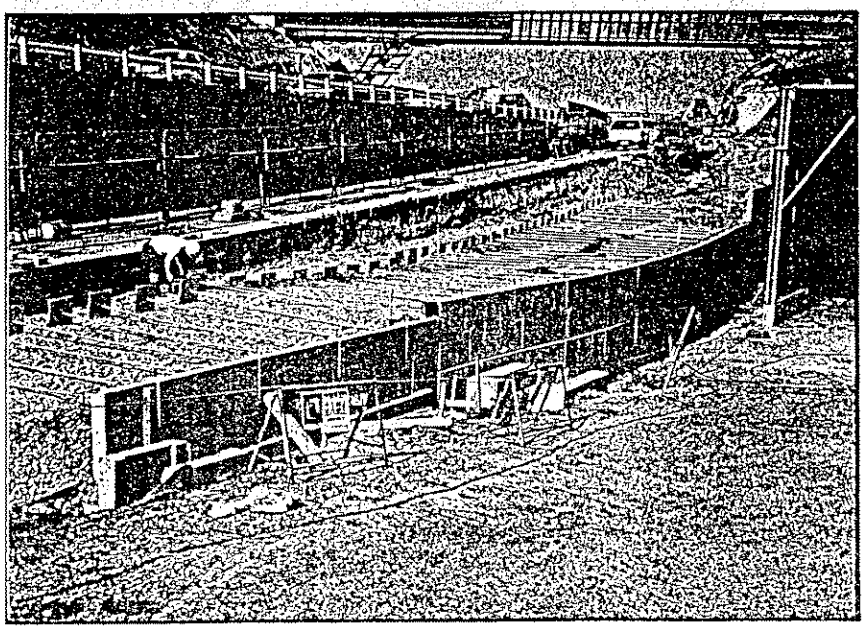
Examples of Installation

مثال على التربة المسلحة

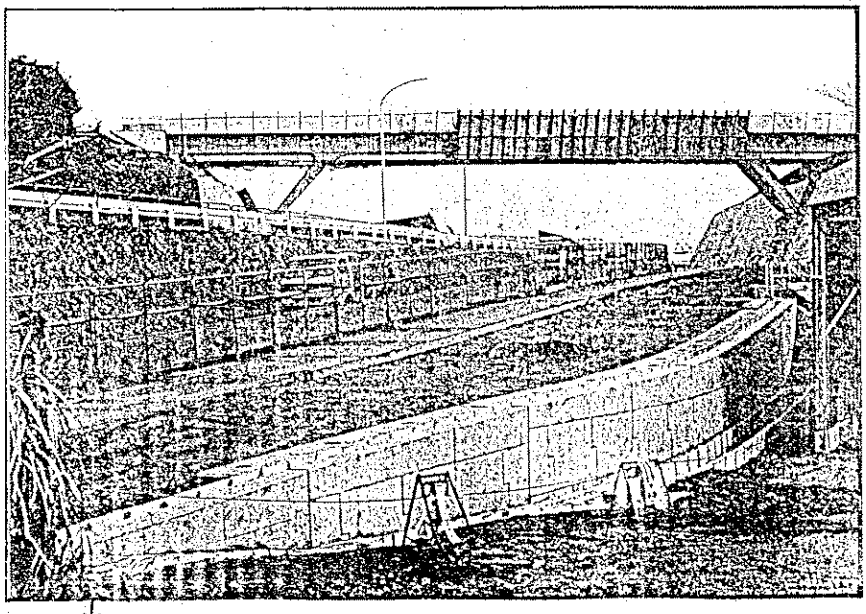
(اليابان)







Mitsusawa work, Yokohama new Highway (Mitsusawa Junction). Yokohama work office, Tokyo 1st Construction Bureau, Japan Highway Public Corporation.



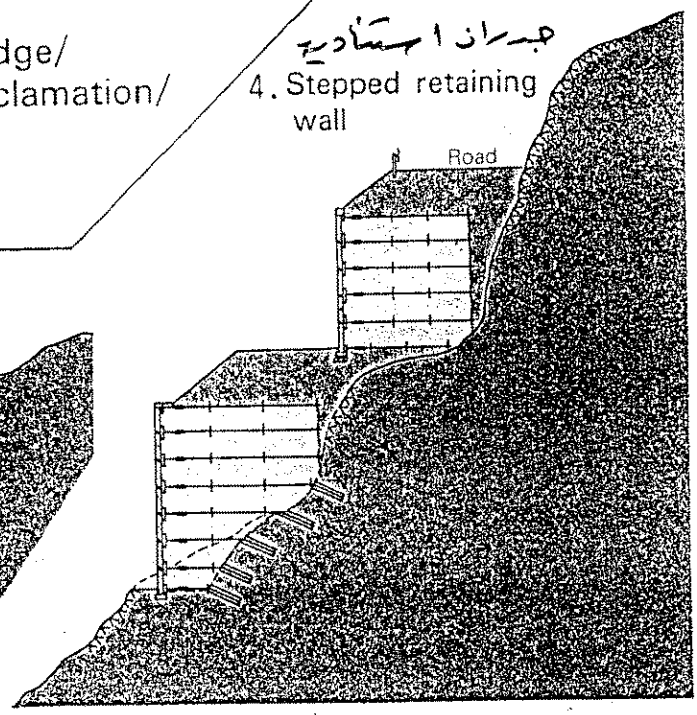
Use

الاستخدامات :

Road/Railway/Approach road for bridge/
Ground reclamation/Housing land reclamation/
River side road

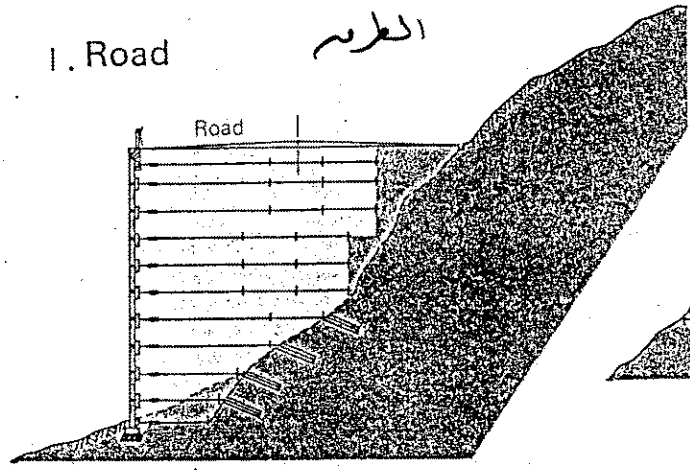
4. Stepped retaining wall

جدران استنادية



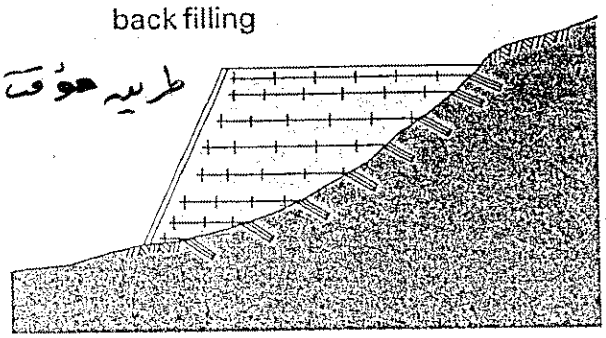
1. Road

الطريق



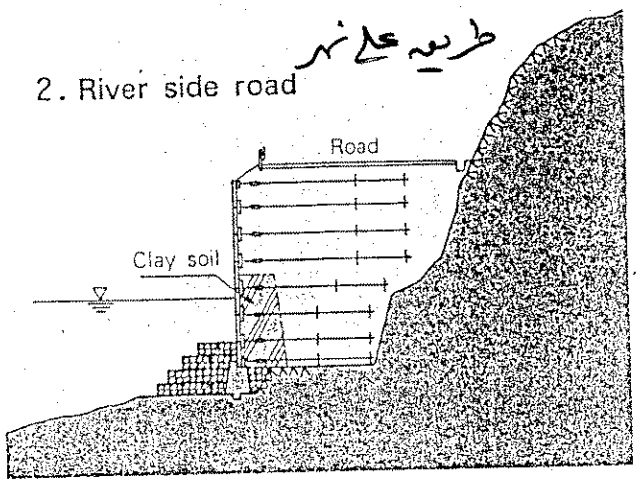
5. Temporary road, waste soil back filling

طريق مؤقت



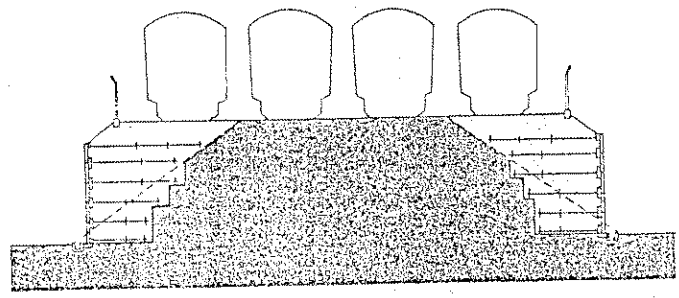
2. River side road

طريق على نهر



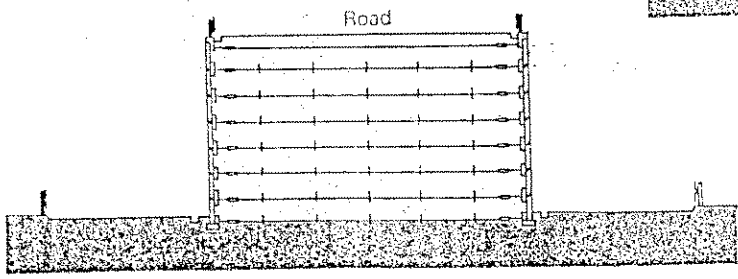
6. Railway

B. جزء على صينية



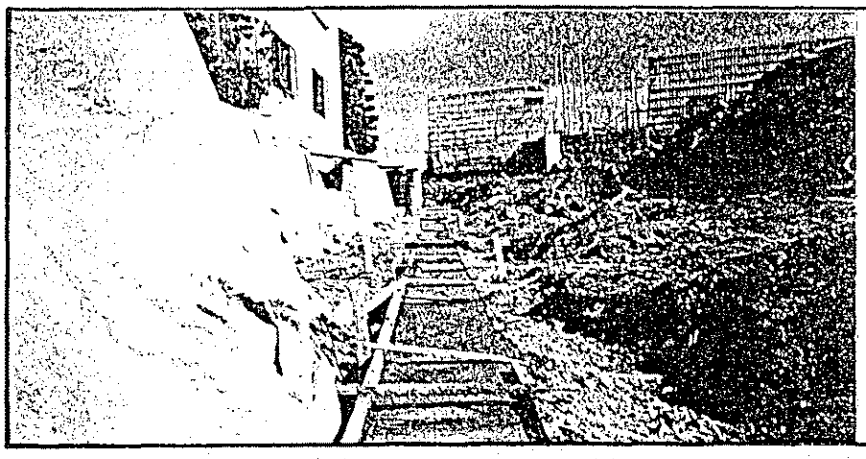
3. Approach road for bridge

طريق صعود إلى جسر (ركيزة)



Installation procedure

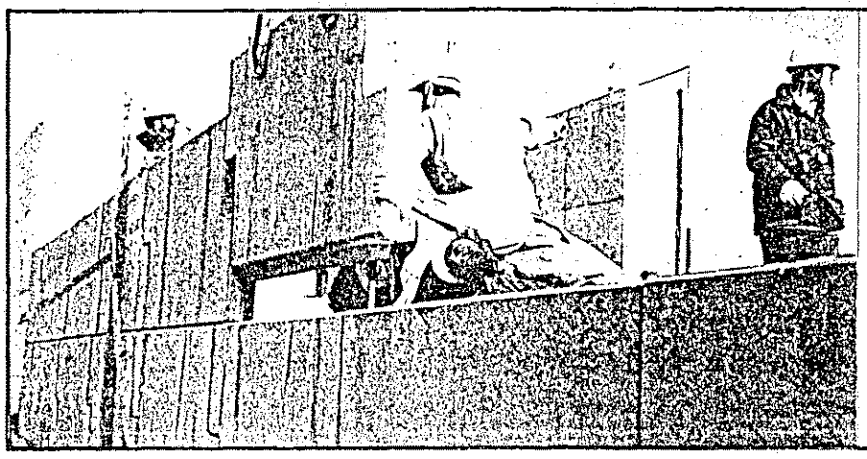
مراحل تنصيب التربة المسلحة



1 Foundation

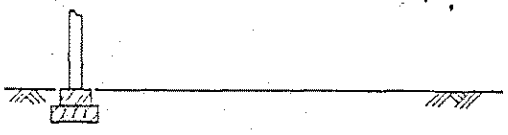
الأساس

Strip footing concrete (20cm thickness, 40cm width) is cast and the face is finished horizontally.

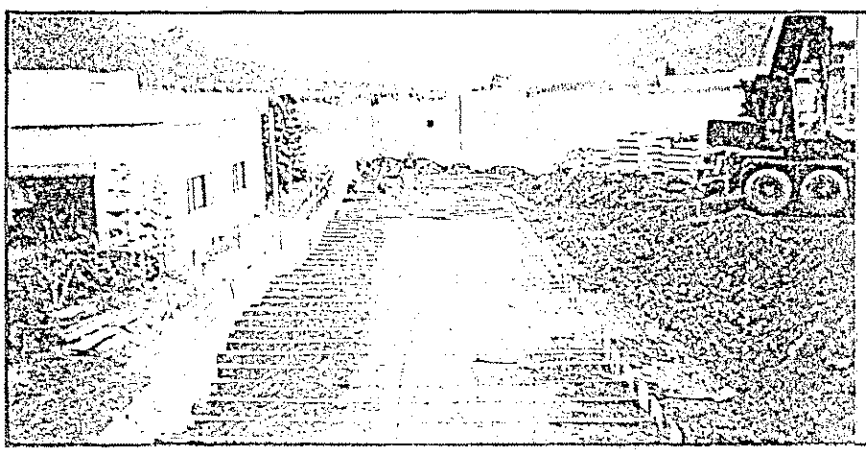


2 Block installation

الواجهة

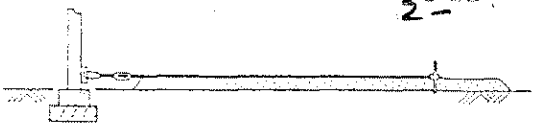


Concrete blocks are vertically installed on the marking of the foundation concrete.

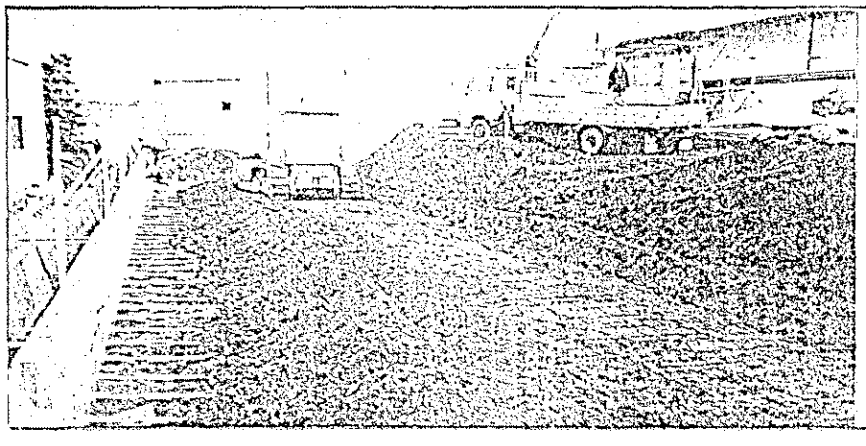


3 Installation of tension member

التسليح

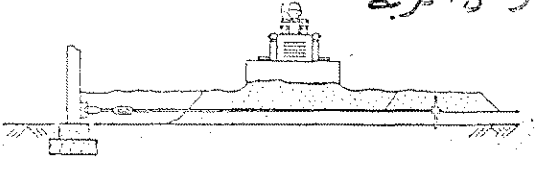


Mount installation fitting onto insert puried in the block and connect tie-bar to the fitting.

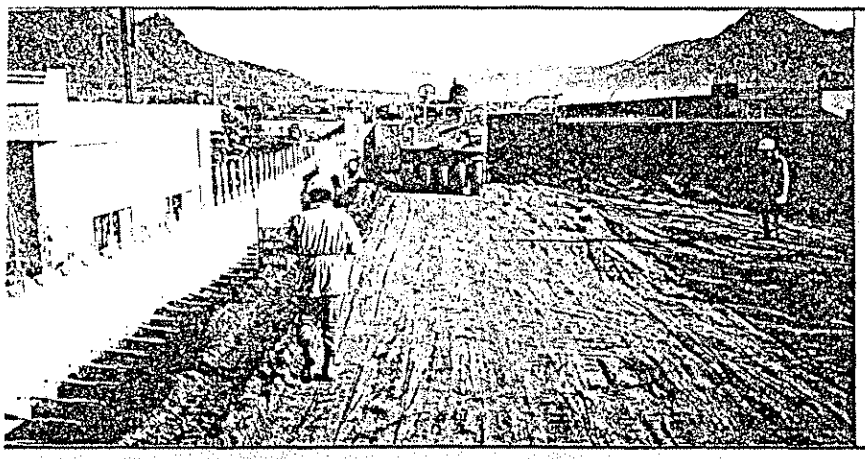


4 Spreading of soil

فرش التربة

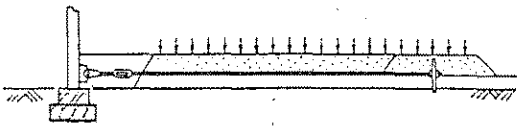


Soil is sequentially spread from the anchor plate side to the block side, parareil to the wall. At that time, be carefull not to push the block with spreading soil.



5 Rolling

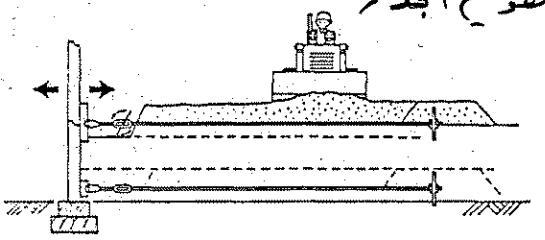
الدحل



Spread soil is rolled rectangularly to the tie-bar. Within 1m from the block, small roller shall be used.

6 Wallface adjustment

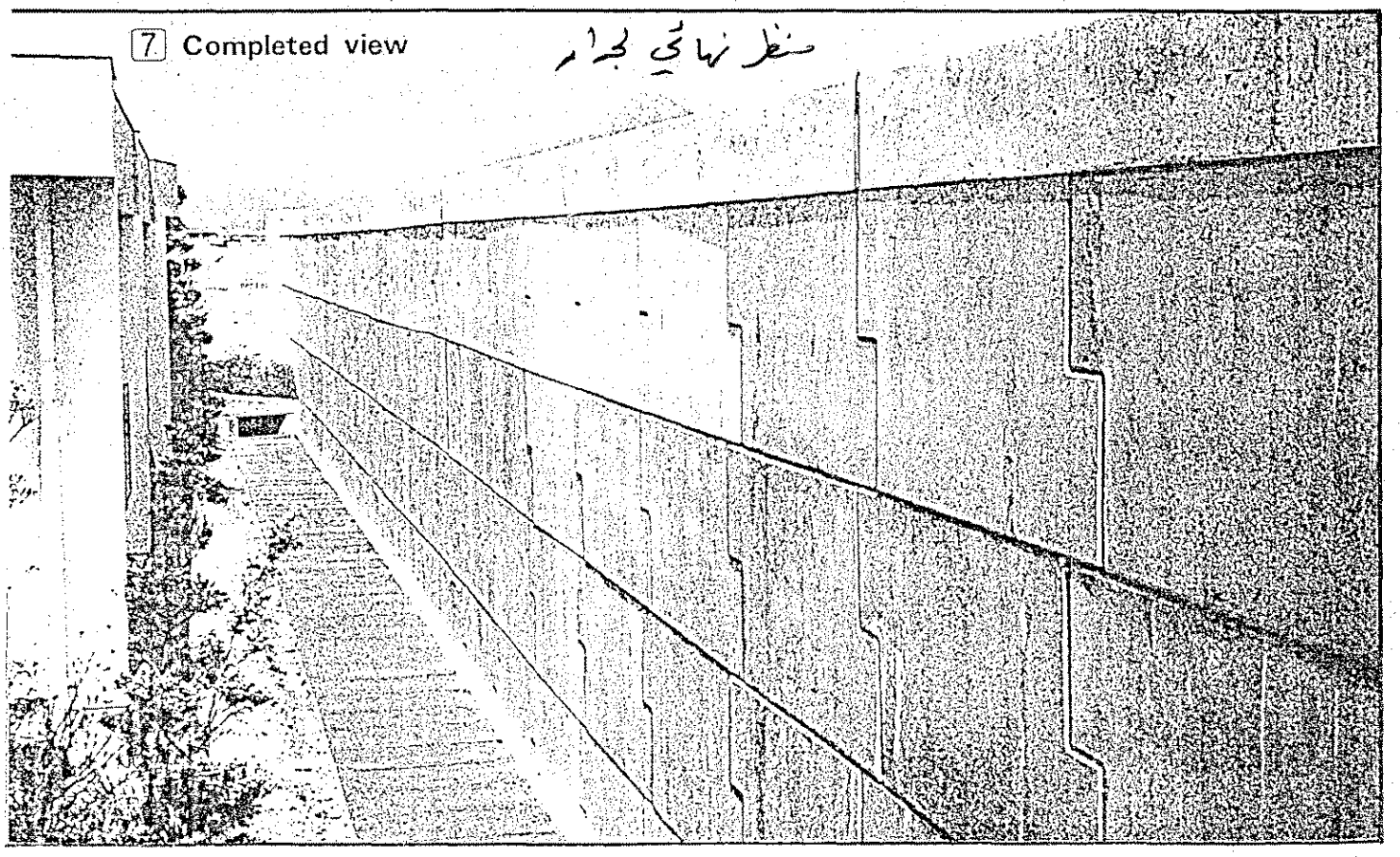
تقويم الجدار



After the anchor portion is rolled, wallface is adjusted.

7 Completed view

منظر نهائي لجدار



مسمرة التربة Clouage des sols

مسمرة المنحدرات عبارة عن إدخال مجموعة من الأوتاد الشاقولية أو المائلة المتعامدة مع سطح الانهيار في التربة الغير متوازنة بغرض تثبيتها في المكان وإيقافها عن الحركة .

إن هذه النظرية قديمة تاريخيا فقد استخدمت الأوتاد منذ القدم في منشآت الهندسة المدنية ولكنها دعمت مؤخرا بتقدم التكنولوجيا واستخدمت بشكل واسع في حالات عدم جدوى النظريات الكلاسيكية المستخدمة لتثبيت التربة مثل التثبيت بواسطة انشاء شبكة دريناج أو مثل الدحل والرص .

تكمن فعالية هذا التكنيك في نقل قوى الانزلاق إلى أماكن نقاط صلبة ناتجة من تحمل المسامير نفسها للقوى المحركة لصلابتها الكبيرة وأيضا من تسليح عام للكتلة المتحركة بواسطة عمل المجموعة الكثيفة من المسامير في التربة من جهة أخرى .

تصميم التربة المسمرة :

تلخيصا يمكننا تحليل نظرية التصميم إلى ثلاث مركبات :

1 – تقدير قوى القص الواجب اعتبارها لزيادة عامل الأمان وقبوله ؛

2 – تقدير القوة العظمى التي يستطيع كل مسمار نقلها من كتلة التربة المنزلقة إلى كتلة الأساس الثابتة ،

3 – اختيار نوع وعدد وأماكن المسامير .

ولابد إذا من الاعتماد على نتائج تجارب خاصة تجرى على المسامير المستخدمة كتجربتي الشد والقص (شكل) ، إذ كما هو معلوم فإن عناصر المسمرة العليا في المنحدر تخضع للشد نتيجة التشققات السطحية في التربة بينما تخضع العناصر السفلى للقص حسب موقعها من مستوى الانهيار (شكل) .

أما التوازن فيحسب كالمعتاد ، فللأوتاد الشاقولية مثلا لدينا (شكل) :

$$\sum_{A}^{C} W_i \cdot \sin \alpha_i = \frac{\sum_{A}^{C} C_i' \cdot l_i \cdot + W_i' \cdot \cos \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i'}{F_{sol}} + \frac{R}{F'_{pieu}}$$

ولكن :

$$R = \frac{T}{\cos \alpha}$$

فإذا كانت :

$$F' = F$$

أصبح عامل الأمان :

$$F = \frac{\sum (C_i' \cdot l_i \cdot + W_i' \cdot \cos \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i') + R}{\sum W_i \cdot \sin \alpha_i}$$

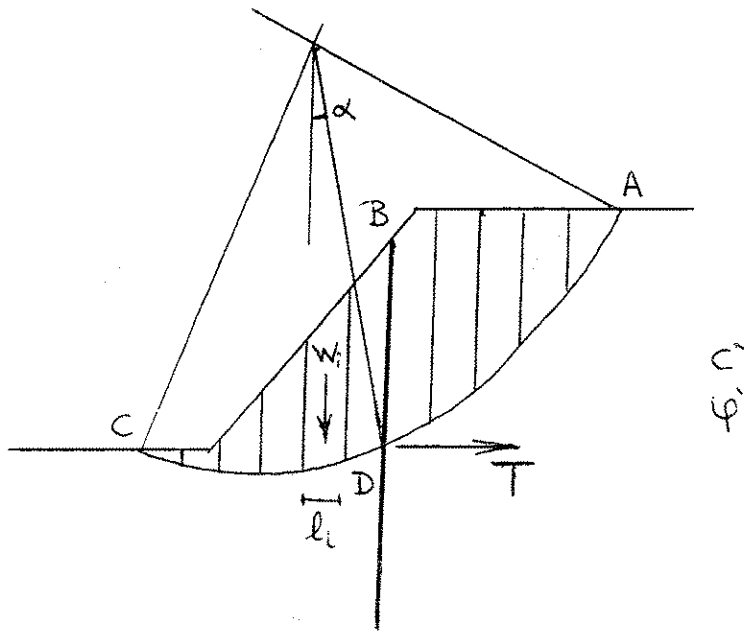
إضافة إلى دراسة التوازن الخارجي للكتلة ككل و دراستها على الانقلاب والانزلاق (شكل) .

وحقيقة فقد تطورت هذه الطريقة تطورا هائلا في المجالين النظري والعملي ، فقد نشرت نشرات ومقالات لاتحصى حول استخدامها الأمثل في توازن المنحدرات وطورت لتصميمها وحسابها برامج حاسوبية عديدة جاهزة ودقيقة جدا : فمنها مايأخذ بعين الاعتبار مسار حركة المسمار وشده وانعطافه نتيجة القوة المطبقة كمشوهات مرنة كبرنامج PROSPER الصادر عن المخبر المركزي للجسور والطرق في فرنسا (LCPC) عام 1986 . ومنها مايأخذ بالطريقة الحدية في الحساب مثل برامج - CLOUAGE - TALREN NIXESC وغيرها ...، كما نفذت عمليا آلاف منشآت الهندسة المدنية مستخدمة طريقة المسمرة هذه في كافة أنحاء العالم ونخص بالذكر تطبيقا هاما وواسعا هو مجال الأنفاق ولكن مجال استخدامها يكمن في أماكن الحفر وتفريغ التربة خاصة الغير متماسكة منها وذلك في تثبيت الكتلة المتوقع انهيارها نتيجة تفريغ الكتلة المحفورة أمامها ، ويعزى هذا النجاح لكون هذه الطريقة طريقة عمل في الموقع وحسب الواقع المفروض ولإمكانية استخدامها لارتفاعات شاهقة (وصلت حتى 40 مترا مثلا في نفق طريق روسيتي في فرنسا عام 1975) .

تنفيذ التربة المسمرة :

تتلخص طريقة تنفيذ التربة المسمرة بما يلي (شكل) :

يتم أولا تفريغ التربة من الأعلى للأسفل بالتدريج مع وضع فوري لعناصر التسليح (كالفولاذ أو أية مادة مقاومة أخرى) في التربة وذلك بواسطة القذف (كالابر) في ثقوب محفورة حديثا – أوأحيانا بواسطة قذف متتابع في الترب الغير متوازنة – ، كماتوضع واجهة على السطح المكشوف والواجهات إما بيتونية أو لوحات معدنية مسبقة الصنع تثبت سطح التربة ضد الانهيارات المحلية .



توازن كتلة تربة مسمرة شاقولياً

مراحل التنفيذ

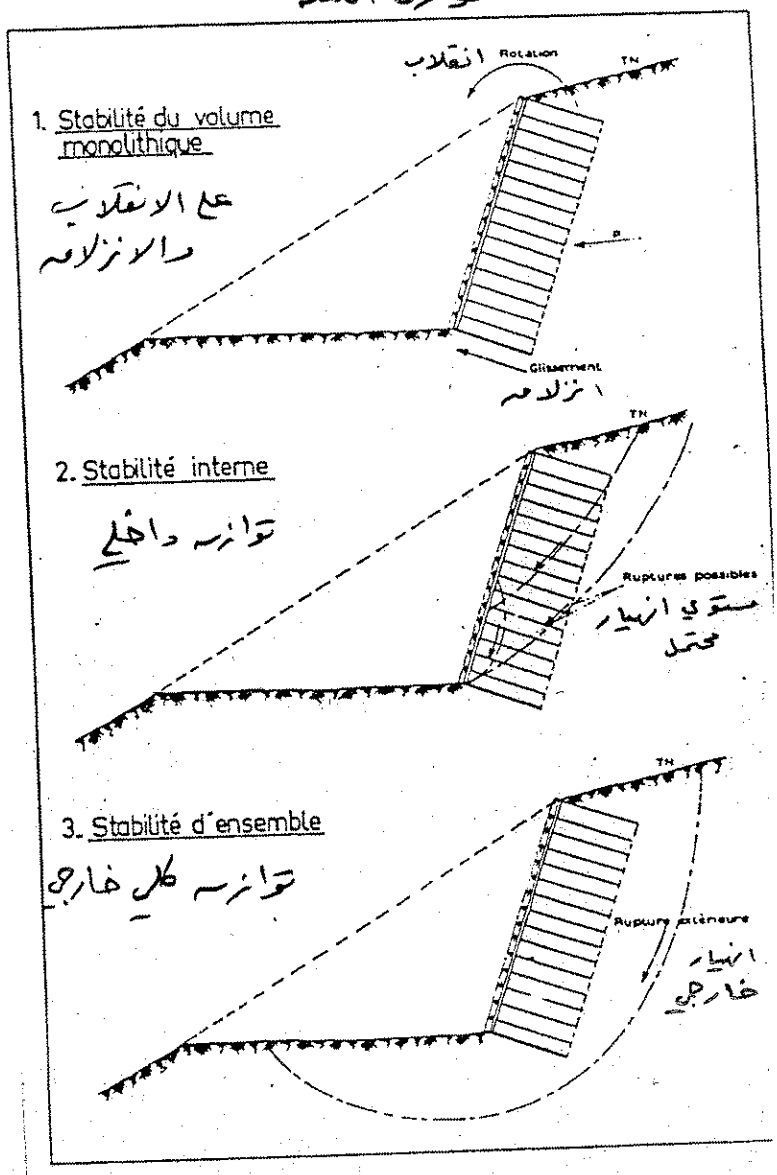
fig. 5. — Phases d'exécutions :
1 : Premier terrassement ;
2 : Revêtement du talus par béton projeté ou éléments préfabriqués ;
3 : Mise en place des armatures avec foration ou par vibro-percussion ;
4 : Terrassement suivant.

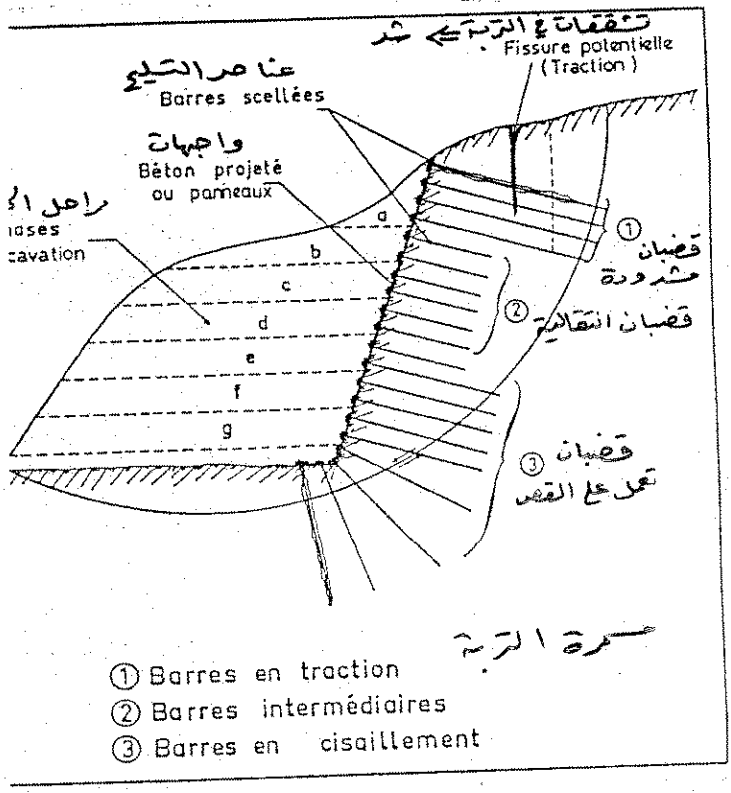
Phasing of works
- preliminary earthworks,
- embankment covering through shotconcrete or prefabricated elements,
- installation of formworks by drilling or vibratory percussion,
- subsequent earthworks

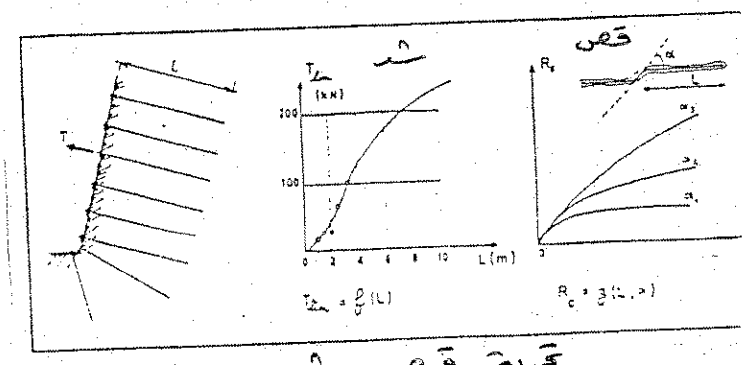
Fig. 6. — Principe du dimensionnement de la stabilisation par peau de confinement et boulonnage.

Sizing principle for containment skin and bolting stabilization

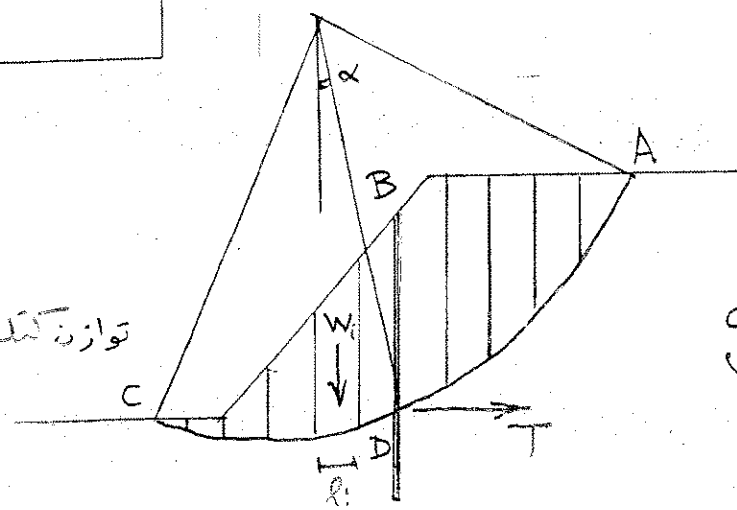
توازن الكتلة



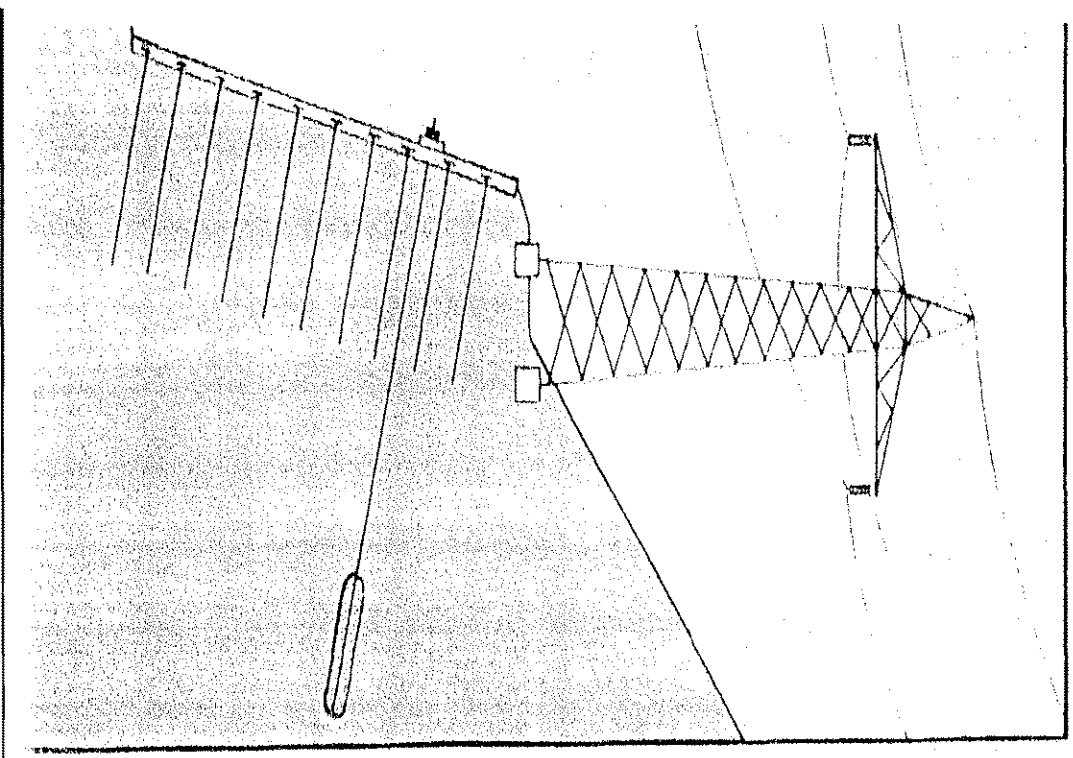


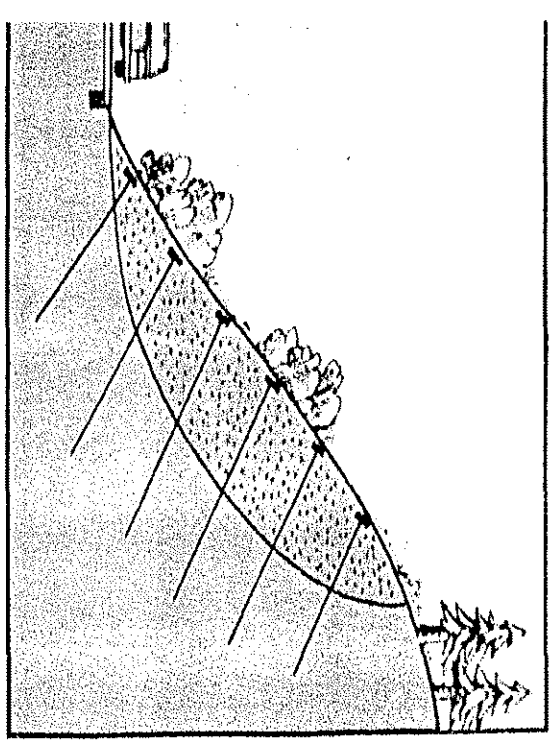


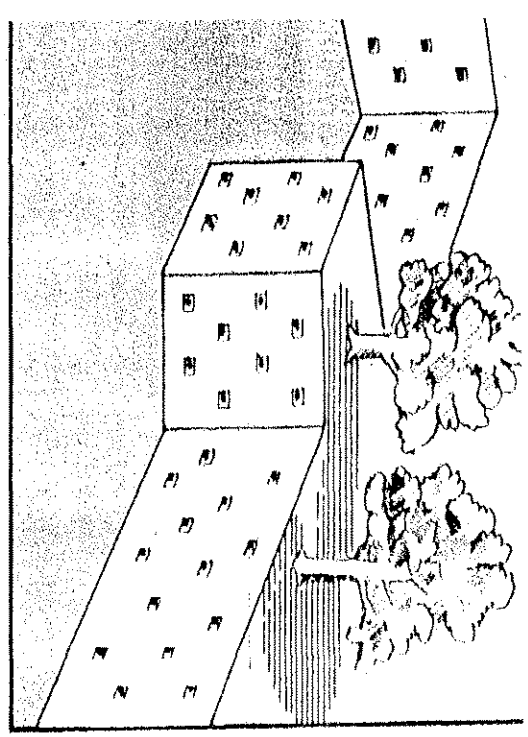
تجربة قص وشد

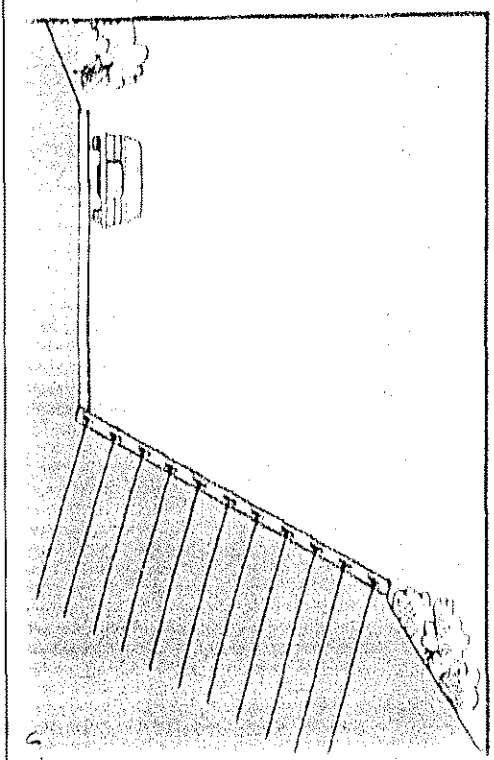


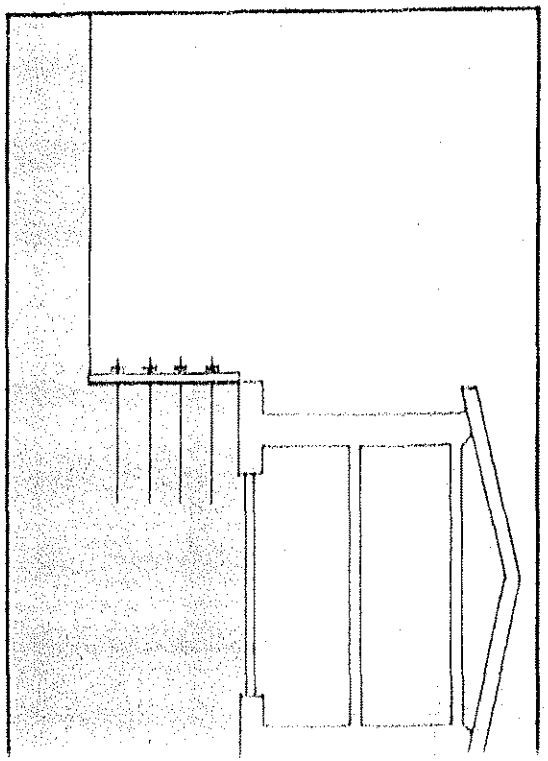
توازن كتلة حمرة شد مقولبة

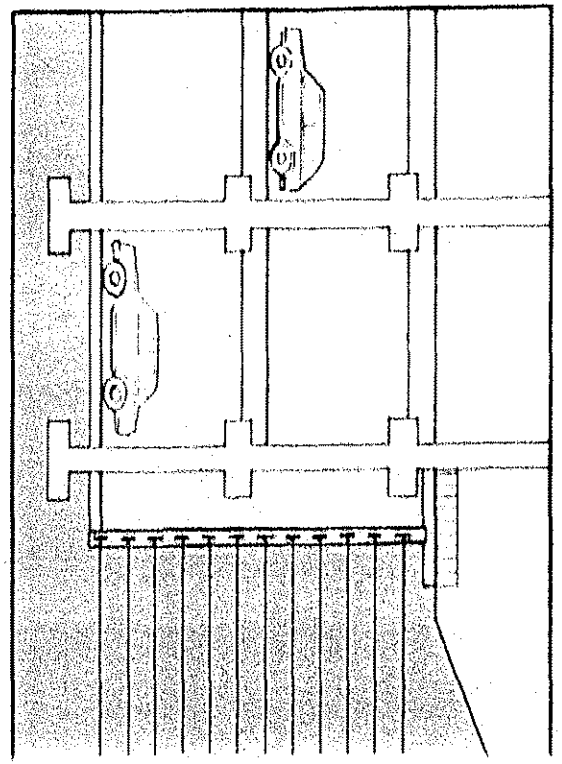


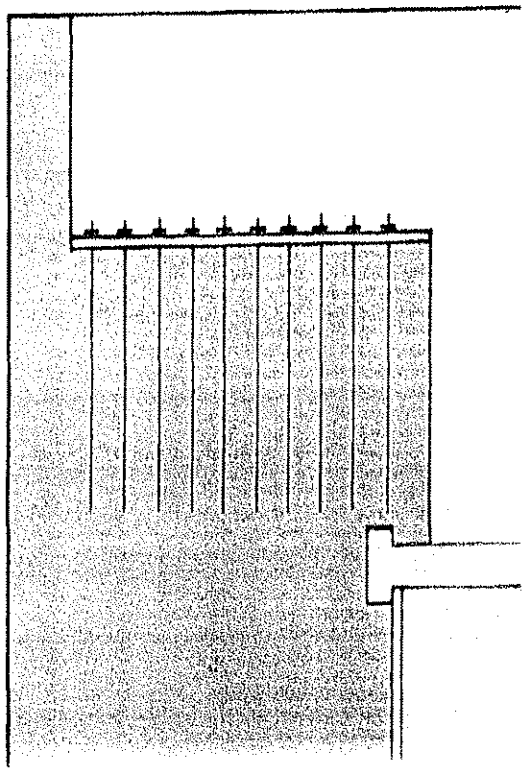












تثبيت التربة بالأوتاد الدقيقة

بعد إجراء اختبارات التربة و تحديد مواصفاتها و تحديد مستويات الإنزلاق المتوقعة ، تدرس أطوال الأوتاد و أقطارها و زاوية ميلانها و مواصفاتها و توزيعها .

يباشر العمل بحفر ثقوب في السطح المراد تدعيمه بأقطار (٥ — ١٥) سم ، و يفضل الحفر بالطريقة الجافة و خاصةً عندما تكون التربة تتأثر سلباً بالماء .

يستخدم نوعان لحديد التسليح :

أ — عادي : يتم إدخال حديد التسليح ضمن الثقب ثم يحقن بمواد للحقن بضغط عالي .

ب — مسبق الإجهاد : يتم إدخال كابلات حديد مسبق الإجهاد ضمن الثقب و يحقن القسم العميق من الوتد بمواد حقن بمواصفات عالية و بعد التصلب يتم شد كابلات حديد التسليح و تثبيتها عند فوهة الثقب .

تنفذ طبقة من البيتون المقذوف العادي أو المسلح على سطح المنحدر لحمايته من العوامل الجوية .

البيتون المقذوف

مقدمة :

البيتون المقذوف هو بيتون عادي بحصويات صغيرة نسبياً كحد أقصى ١٦ ملم (عادةً ٨ ملم) ذات تدرج حبي منتظم يقذف من مضخة بيتون خاصة مع الهواء المضغوط فيضرب السطح بقوة كبيرة تؤدي إلى التصاقه مع السطح و مع طبقـــات البيتـــون المنفذة سابقاً .

اولاً – ميزات البيتون المقذوف لتثبيت التربة :

نتيجةً للقوة الكبيرة التي يضرب بها البيتون المقذوف السطح :

١ – تدخل ذرات البيتون الناعمة ضمن شقوق و مسامات التربة فتساعد في تدعيمها بعد التصلب .

٢ – إن سماكة البيتون المقذوف تؤدي بعد التصلب إلى تثبيت التربة بفضل مقاومة القص للبيتون

٣ – يتمتع البيتون المقذوف بمسامية منخفضة مما يساعد على حماية التربة من العوامل الجوية .

٤ – إعطاء سطح ثابت و مستو لتركيب العزل .

ثانياً – طرق تنفيذ البيتون المقذوف :

١ – الطريقة الرطبة : الجبل مع الماء و الملدن قبل المضخة – نسبة الإستخدام عالمياً ٧٠ %

٢ – الطريقة الجافة : الجبل مع الماء و الملدن عند فوهة القذف – نسبة الإستخدام عالمياً ٣٠ %

ثالثاً – الإضافات :

ملدن – مسرع تصلب – ألياف (معدنية–فيبر) .

١ – **الملدن** : تستعمل ملدنات عالية الأداء : سوبر بلاستيسايزر لتخفيض نسبة الماء إلى أقل درجة ممكنة للمساعدة على التصاق البيتون المقذوف مع السطح و لزيادة المقاومة .

٢ – **مسرع التصلب** : عند الحاجة إلى سماكات كبيرة للطبقة الواحدة أو عند الحاجة إلى تنفيذ الطبقة الثانية بفاصل زمني أقـــل بينها و بين الطبقة الأولى .

٣ – **الألياف** : لمنع التشققات في الظروف الحارة و لزيادة المقاومة و خاصةً على الشد .

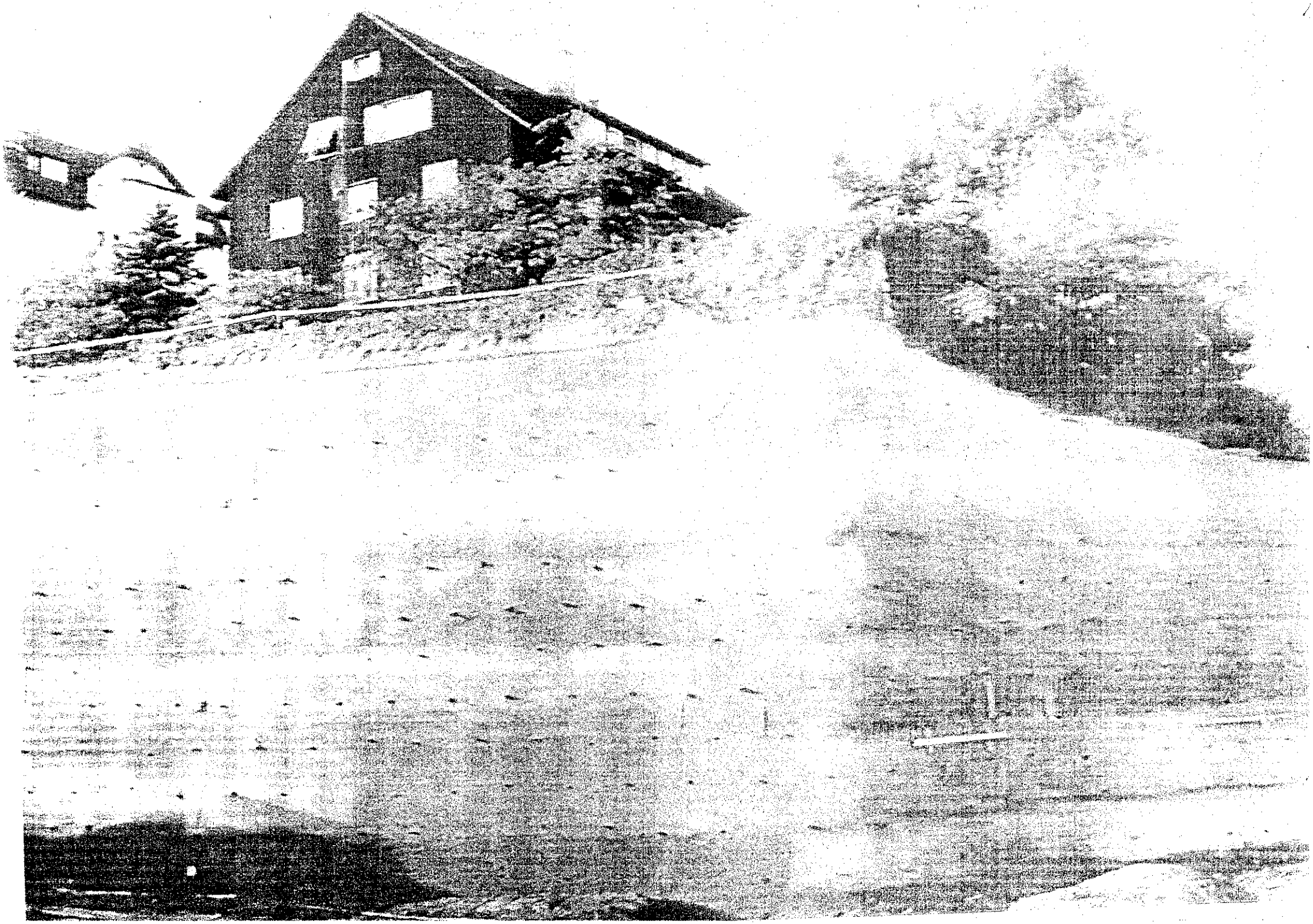
رابعاً – الإستخدامات :

١ – تثبيت التربة للمنحدرات و مقاطع التربة و الأنفاق .

٢ – إصلاحات البيتون القديم أو تنفيذ طبقات جديدة من البيتون أو البيتون المسلح .

٣ – تنفيذ جدران المسابح و الأقبية .

٤ – تنفيذ القشريات و القباب و السطوح المائلة .



تربة الدواليب Pneusol

وهي عبارة عن تجميع بين التربة ودواليب وذلك بصف الدواليب بشكل سلسلة مستقيمة أوشبكة في التربة بقصد تثبيتها . فقد شغل المهندسون دائما بتسليح التربة باستخدام مادة مقاومة على الشد لتحسين صفاتها الميكانيكية وبكون هذه المادة اقتصادية أكثر من غيرها ليكتب لها النجاح ، وشرط الاقتصادية هذا ولد فكرة تربة الدواليب وأظهرها إلى الوجود .

تولدت هذه الفكرة في مركز أبحاث المخبر المركزي للجسور والطرق في فرنسا (LCPC) وتبناها فيه المهندس لونغ NGUYEN THANH LONG ، إذ بدأت البحوث حول استخدام الدواليب القديمة في التربة عام 1976 في مشروع للنفايات الصناعية في فرنسا ، وفي عام 1978 تبلورت الفكرة بشكلها التطبيقي وأثمرت أبحاثها العلمية فتم وضع تجربتين لتشييد منشأتين بالدواليب وذلك باستخدام إما جزء من أو كل الدولاب القديم توصل ببعضها البعض بشكل سلسلة أو شبكة لتدعيم التربة ضد اجهادات الشد الكبيرة : كانت التجربة الأولى عبارة عن جدار بطول 10 م وارتفاع 5 م بينما كانت التجربة الثانية عبارة عن منصة. ثم أقيمت عدة تجارب كبيرة لجدران من مختلف المقاييس 54-80-120 م ولارتفاعات متعددة 5-4-7 م على التوالي . بعدها وحتى عام 1989 استخدمت هذه الطريقة في أكثر من 60 منشأ في فرنسا و 12 منشأ في الجزائر .

محسنات تربة الدواليب :

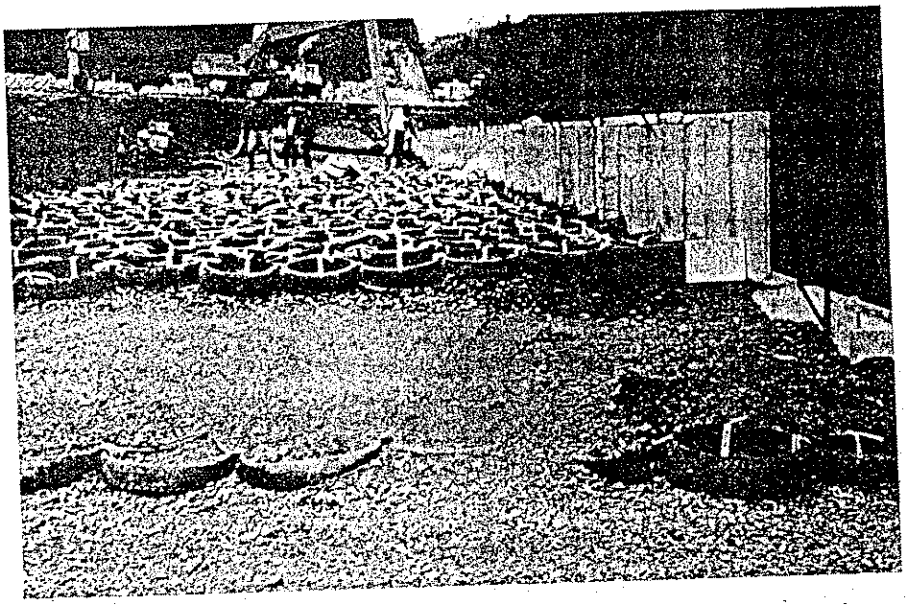
تكمن حسنة الدواليب الهامة بمتانتها القوية أولا إذ تحسن دون شك خواص التربة الميكانيكية سواء وضعت فيها بشكل منتظم ومصفوف أو وضعت بشكل متناثر عشوائي ، وباقتصاديتها وقلة سعرها ثانيا إذ تبين احصائيا في فرنسا أن أكثر النفايات هي من دواليب الكاوتشوك .

استخدامات تربة الدواليب :

تستخدم هذه الطريقة في أكثر منشآت الهندسة المدنيـة كمـا هـو الحـال في أنـواع الـترب المسـلحة الأخـرى المذكورة سابقا ، ولكننا نخص بالذكر استخدامها في المنشآت الاستنادية وفي تثبيت الميول وفي المنصات على الترب الغير متماسكة الضعيفة والغير متوازنة كما تستخدم في حماية المنحدرات والأقنية وكماص للصدمـات المختلفة وكتلال على الأراضي القابلة للانضغاط وكحجز صناعية ...

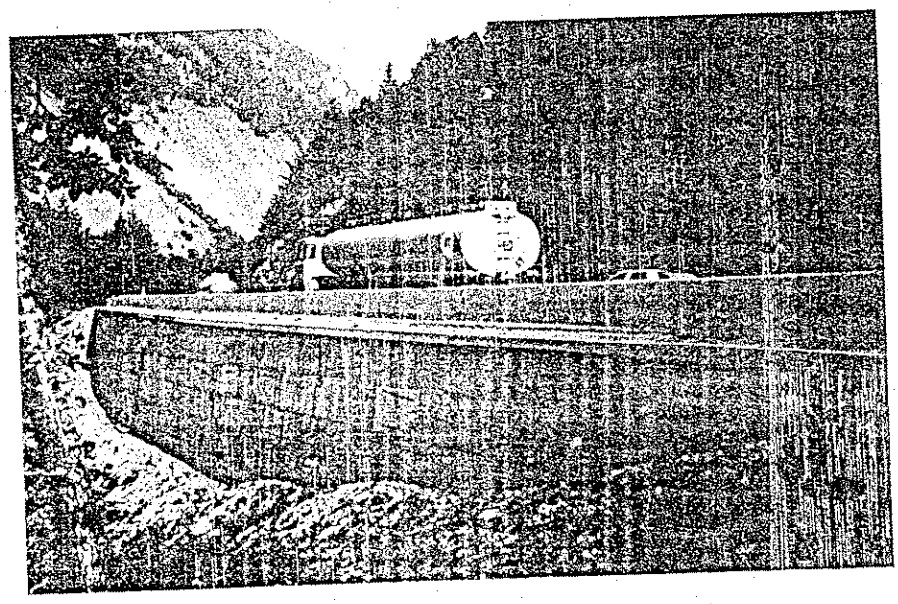
متممات تربة الدواليب :

تحتاج تربة الدواليب بالإضافة إلى التربة نفسها والدواليب المسلحة لها إلى واجهـات وغالبـا مـاتكون مسـبقة الصنع وإلى روابط للدواليب بين بعضها وغالبا ماتكون معدنية أو حبال متينة معقودة بأشـكال مختلفـة تؤمـن دوام الربط بين الدواليب .



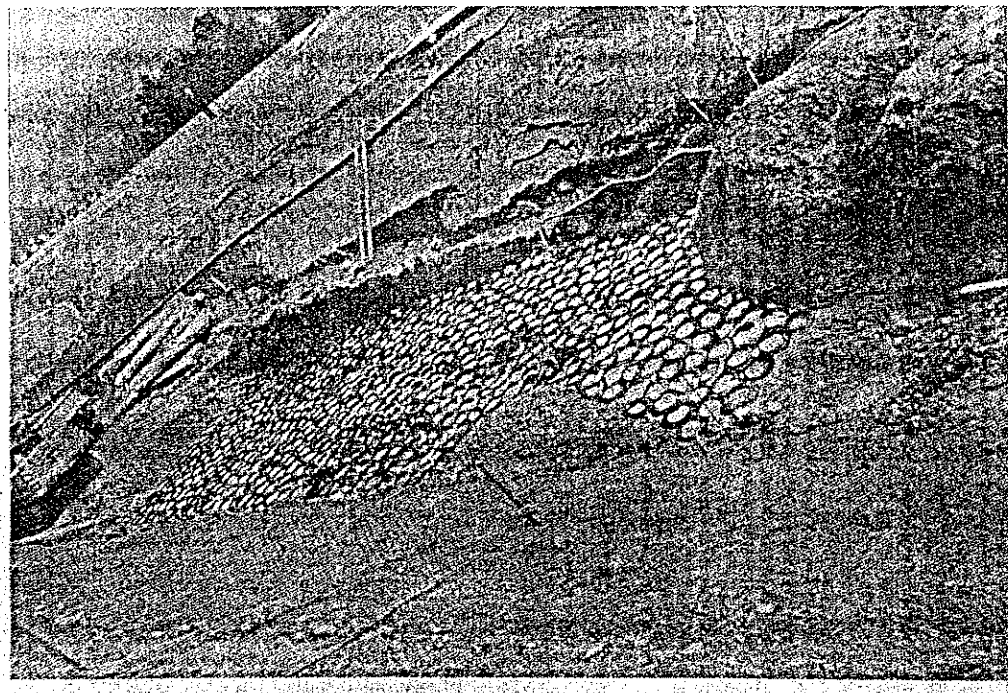
تنفيذ ادميه تربه دواليبه

Mise en oeuvre du Pneusol



جدار طريه على منحدر

Mur du Col de Bussang (Haut-Rhin)



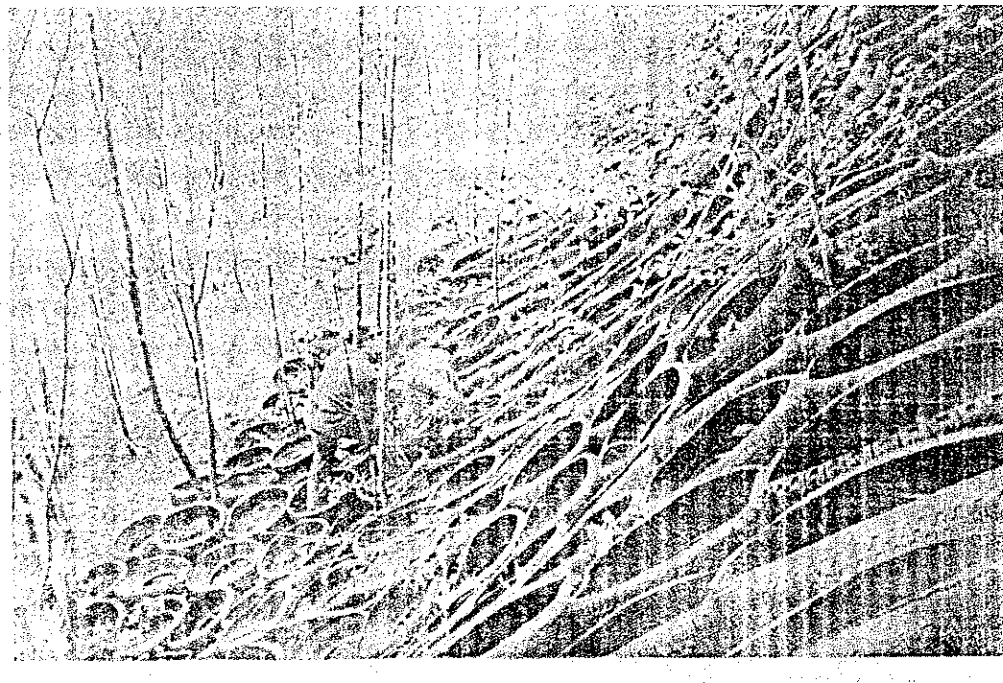
Renforcement des talus (Suisse)

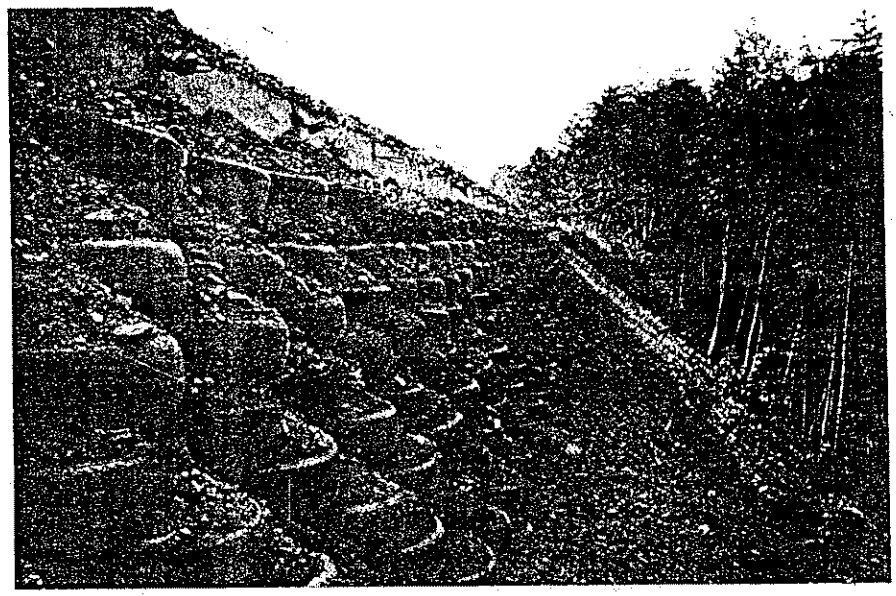
تسليح منحدر
(سويسرا)

(Photos Société Rolba)

حماية منحدر (سويسرا)

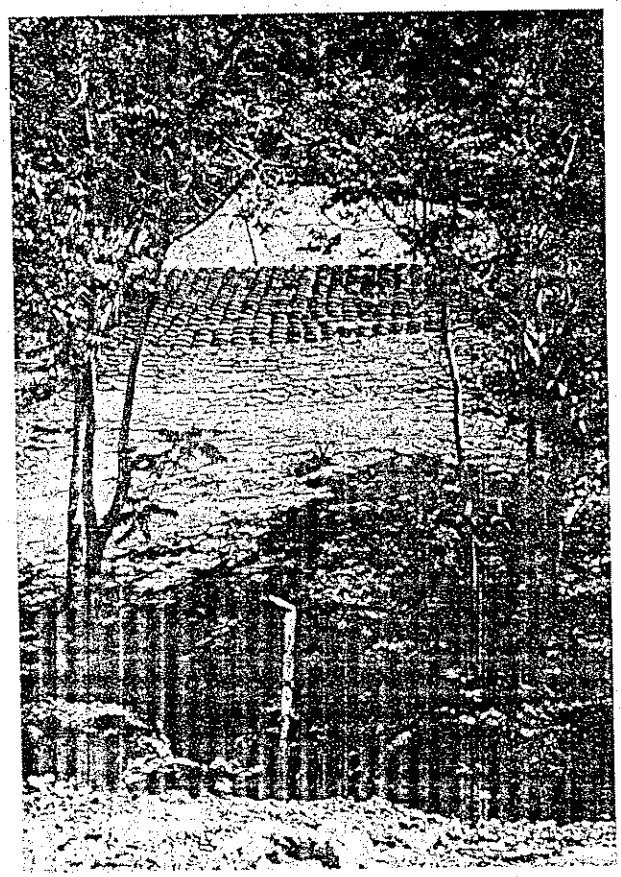
Protection des pentes (Suisse)





Mur du Col de Bussang (Haut-Rhin)

جدار استنادي



حماية منحدر

Protection des pentes
Beaulieu-sur-Mer (Alpes Maritimes)

حسنات التربة المسلحة :

- امكانية انشاء ميول حسب الطلب من الافقي حتى الشاقولي.
- سرعة وسهولة التنفيذ .
- الجمال المعماري والبيئي وإمكانية زراعتها .
- استملاك أضيق ما يمكن للأراضي خلف المنشأ .
- تأقلم مع التضاريس .
- الصنع في المكان .
- النفوذية محفوظة .
- امتصاص الصوت والصدمات .
- مقاومة للهزات والزلازل وأنواع الحت .
- المرونة وتحمل التشوهات .
- الديمومة والاقتصادية .

مجالات استخدام التربة المسلحة :

- الجدران والحفر الاستنادية والردميات .
- السدود ومنشآت الشواطئ والمرشحات والمصارف .
- الطرق والسكك الحديدية والجسور .
- منشآت على تربة منضغطة .
- منشآت ضد الصدمات والهزات والزلازل والتسونامي .
- منشآت حماية ضد الحت المائي .
- حواجز أمان الطرقات واستقرار الانهيارات الرملية .
- المنشآت المزروعة وذات الجمال الطبيعي والمعماري والبيئي .

المراجع :

المقدمة :

- cours mecanique des sols - sols renforces , J.P.Gourc 1988 . Universite Joseph Fourier , Grenoble I .
- cours DEA mecanique des sols - structures , J.Biarez 1987 . Ecole Central de Paris .

الخليط خيط – تربة :

- Procede Texsol - Note d'information . CETE , LCPC , SETRA 1986 .
- Texsol Ouvrage de soutenement - Note technique . 1989 .
- Texsol Brevet du LCPC . Societe d'application du Texsol .
- References Travaux realises . Societe d'application du Texsol 1988 .

التربة المسلحة :

- La terre armee , renforcement et amelioration des sols , M.Bastick 1989 Paris . ISTG .
- Guide for design and construction on reinforced slope with steel bars , 1987 Japan .
- Multi - anchor type retaining wall work , Okasan Kogyo Co. Japan .
- Terre armee - Reinforced earth , patened by H.Vidal 1982 . USA .
- Les ouvrages en terre armee Recommandation et regles de l'art . LCPC - SETRA 1979.

مسمرة التربة :

- G.Cartier , La stabilisation des pentes instables par clouage . LCPC 1986 .
- Ph. Delmas et al. , Une nouvelle methode de dimonsionnement du clouage des pentes : Programme Prosper . 1986 .
- J.P.Gigan , Stabilite d'une paroi de soutenement clouee , etude comparative par plusieures methodes .
- C.Louis , Nouvelle methode de soutenement des sols en deblais .

تربة الدواليب :

- Nguyen Thanh Long , Le Pneusol , LCPC 1985 .
- Nguyen Thanh Long et J.C.Valeux , Le Pneusol leger , LCPC 1989 .