Conference Invited Papers

GIROUD, Jean-Pierre
Woodward-Clyde Consultants, Chicago, IL, USA
Conference Chairman

Opening Address
Allocution d'ouverture

Ladies and Gentlemen:

On behalf of the organizing committee, I declare the Second International Conference on Geotextiles open.

Welcome

I am pleased to extend a warm welcome to all of the participants. It is inspiring to see that so many people traveled to Las Vegas, to devote a week to geotextiles. Participants to this conference have come from almost forty different countries, from all continents. This clearly demonstrates the worldwide interest for geotextiles.

During this week the world of geotextiles will belong to you. You will have access to five years of progress made since the first international conference, and you will have many opportunities to meet with colleagues from all over the world.

Thank you for coming, for without you the efforts undertaken by the sponsors and the organizing committee would have been in vain.

I would now like to say a few words about the organization of this conference.

Sponsorship

This conference is sponsored by IFAI, the Industrial Fabrics Association International. The fact that this conference is sponsored by an association of geotextile manufacturers demonstrates the vitality of the industry, and we must congratulate the IFAI for having undertaken the long and costly venture as sponsor of this conference.

I take this opportunity to thank the other associations that have contributed to the promotion of this conference. These include: ASTM, the American Society for Testing and Materials, ASCE, the American Society of Civil Engineers, and TRB, the Transportation Research Board, all three from the United States; also RILEM, the International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures, and ENPC, l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, from Europe; and CGSB, the Canadian General Standards Board.

I would also like to thank all the persons who helped in the promotion of the conference in many countries, which again clearly demonstrated international interest in geotextiles.

Organizing Committee

Now, I am pleased to introduce to you the members of the organizing committee. Professor Dick Bell, assisted by Dr Lee Murch, had the difficult task of organizing the technical sessions. Dick will present the technical program later this morning.

In the organizing committee: ASTM is represented by Ivan Johnson who was chairman of the ASTM committee on Soil and Rock for many years; ASTM is also represented by Trudy Raumann, the first chairman of the ASTM subcommittee on Geotextiles; ASCE is represented by professor Ara Arman, chairman of ASCE Soil Placement and Improvement Committee; RILEM is represented by Dr. Etienne Leflaive who promoted the conference in Europe; and, last but not least, IFAI is represented by Joe Fluet, chairman of the Geotextile Division of the IFAI, and Steve Warner, who is Secretary General of the organizing committee and has been in charge of the many practical aspects of this conference.

The exhibition, to which we are all invited Tuesday evening and Wednesday, has been organized by Joe Fluet and Steve Warner.

The geotextiles

The existence of this conference indicates the growing importance of geotextiles. Today, geotechnical engineering would be unthinkable without geotextiles. Several years ago, geotextiles were mostly used to replace a sand layer or to separate two materials. Basically they were used only where there was a horizontal line in the cross-section of a project! Salesmen quickly understood that there are many horizontal lines in geotechnical projects and the geotextile market grew rapidly. Today, some designers are aware of the many possibilities offered by geotextiles and they do not restrict the use of geotextiles to the famous horizontal lines. However, many designers are not as yet well-enough informed about geotextiles. They may have the right attitude, which begins with attending this conference. But there are also two kinds of negative attitudes. One consists of avoiding the use of geotextiles. The other negative attitude consists of using over-simplistic criteria for the selection of geotextiles. For example, in too many cases, selection of geotextiles is presented in terms of wovens versus nonwovens. Such a simplistic approach may support one's personal convictions or serve commercial purposes. But, the development of geotextiles is the result of a rational process, not of simplistic approaches as it will be shown later this morning by Etienne Leflaive.

Rational process implies research. During the past ten years, considerable research effort has been undertaken on geotextiles. This effort has led to a better understanding of not only geotextiles but also fabric mechanics and soil mechanics. For example, theories of soil mechanics are being improved to explain the behavior of soil-fabric systems. Geotextiles are not only a technical and commercial success, they are also the subject of a new scientific discipline with beneficial effects on other disciplines. The creativity of geotextile research is the result of combined efforts of textile and geotechnical specialists.

The international community of geotextiles

The success of geotextiles has led to the creation of committees in many countries. These committees prepare standards and specifications. Geotextiles are transported from continent to continent and must be tested with equivalent procedures. Coordination between the various committees is therefore necessary. This subject will be discussed, later this morning, by Trudy Raumann.

During this conference, much will be done to promote international cooperation. The work done by various committees will be presented during a session devoted to international standards. Also, a meeting has been scheduled Wednesday evening to discuss the creation of an International Society on Geotextiles. This society could perform many tasks such as: promote the exchange of information, organize conferences (including a third international conference on geotextiles), contribute to the publication of a journal on geotextiles, and many other activities. This is a very important matter for the future of geotextiles and I urge all interested people to attend the meeting Wednesday evening.

International matters involve various languages. I will therefore say a few words in French to conclude.

Quelques mots en français

Ainsi, Mesdames et Messieurs, le Deuxième Congrès International des Géotextiles est ouvert. Cinq ans déjà depuis le congrès de Paris.

Ce congrès avait eu un succès immense,
dépassant les espérances.
Une science naissait,
s'étonnant de son succès.
L'atmosphère, à Paris,
était à l'euphorie.

La communauté internationale des géotextiles se découvrait. Qu'il est bon, aujourd'hui, de la savoir aussi vivante. Il n'y a pas de meilleur symbole de vitalité internationale que de voir se rencontrer des spécialistes parlant des langues différents. On peut remercier l'IFAI d'avoir dégagé les crédits permettant d'assurer la traduction simultanée entre les deux langues officielles du congrès.

Le premier congrès avait eu lieu en Europe, berceau du grand essor des géotextiles au début de la décennie précédente. Il était tout indiqué que le deuxième congrès ait lieu en Amérique du Nord, partie du monde où le marché des géotextiles s'est le plus développé ces dernières années. Demain, espérons-le, le succès croissant des géotextiles entraînera un congrès international sur un autre continent. L'important, aujourd'hui, est que des participants, venus de tous les continents, se retrouvent pendant une semaine ensemble, pour apprendre ensemble, pour travailler ensemble, pour préparer l'avenir des géotextiles, ensemble.

LEFLAIVE, Etienne
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, FRANCE

Geotextiles: Just a New Technique or a Far-Reaching Innovation?

"Les Géotextiles: une simple nouveauté technique ou une innovation fondamentale?"

Mon but, au cours de l'exposé introductif que j'ai l'honneur de présenter ici aujourd'hui est simplement de réfléchir avec vous, à l'ouverture de ce congrès, pour que nous nous interrogions sur les causes réelles du développement des géotextiles ; il apparaît en effet utile de se poser cette question, pour placer dans une juste perspective les discussions que nous allons avoir au cours de cette semaine.

Il s'agit de savoir si le succès des géotextiles est un succès marginal dû à des causes secondaires ou conjoncturelles, ou bien s'il tient à des causes plus profondes ; dans ce dernier cas, ces causes pourraient être à l'origine d'un développement de longue haleine conduisant les fibres de polymère du statut de matériau mineur qu'elles ont aujourd'hui dans les travaux publics, à celui de matériau majeur du génie civil, avec toutes les conséquences techniques et économiques d'une telle évolution.

En outre, connaître un peu mieux les causes du développement des géotextiles peut avoir différents usages :

- par exemple avoir des arguments pour convaincre ceux qui ne croient pas que les géotextiles soient une innovation importante ; ils sont encore nombreux

- approfondir le dialogue entre la profession textile et celle du génie civil en sachant mieux situer les géotextiles par rapport aux autres matériaux et en percevant de façon juste et complète ce que nous pouvons en attendre ;

- enfin voir plus clairement les voies à explorer et les moyens nécessaires pour la recherche et le développement, en comprenant mieux le rôle et la place spécifique des géotextiles.

Je vais donc essayer d'apporter quelques éléments de réponse à la question du pourquoi des géotextiles.

*

Je rappelerai tout d'abord les fonctions des nappes géotextiles dont nous avons vu le développement au cours des années passées. Ce sont les rôles de

1 - séparation ; exemple : piste de chantier en gravier propre sur sol boueux ;

2 - filtre, lorsque le géotextile tapisse les parois d'une tranchée drainante ;

3 - drain, si le géotextile peut transporter de l'eau dans son épaisseur ;

4 - renforcement, lorsque l'apport mécanique du textile est suffisant pour s'opposer aux déformations du sol.

Dans beaucoup de cas pratiques, plusieurs de ces fonctions sont assurées simultanément. C'est ainsi que dans la construction d'un remblai sur sol compressible la nappe géotextile placée entre le sol naturel et le remblai sert de séparation dans la réalisation de la première couche, de filtre lors de la consolidation du sol compressible, de renfort mécanique de l'ensemble et parfois de drain en facilitant l'évacuation latérale de l'eau de consolidation.

La connaissance de ces fonctions nous permet de comprendre l'utilité des géotextiles ; elle ne nous dit pas, cependant, pourquoi les textiles sont davantage capables de remplir ces fonctions que d'autres matériaux, ou quels avantages supplémentaires ils ont sur ces derniers.

C'est précisément ce que je voudrais essayer de voir avec vous : quels sont les éléments qui rendent les géotextiles particulièrement intéressants ?

*

Les facteurs qui font l'intérêt des géotextiles, j'en ai retenu cinq que je résume par les termes suivants :

- performances des fibres,
- vertus du mariage sol-fibres,
- intérêt des structures déformables,
- économies de transport,
- simplicité et fiabilité des méthodes de construction.

*

Les qualités techniques propres des fibres de polymère sont, bien sûr, l'élément fondamental qui les rendent intéressantes, ces qualités étant principalement :

- la résistance, exprimée en performance pour un coût de matière donné,
- la gamme de modules où ils se situent,
- la stabilité chimique.

Je ne m'étendrai pas sur ces aspects, qui seront évoqués également par madame Raumann, et je me limiterai seulement à une observation non technique : comment se fait-il que ces qualités qui sont connues des chimistes et des textiliens

depuis plusieurs dizaines d'années, n'aient été découvertes que récemment par les ingénieurs du génie civil ? Un premier élément d'explication se trouve certainement dans l'évolution des prix des matériaux ; je pense cependant qu'au-delà de cette question du prix il y a une part d'explication dans le fait que le génie civil d'une part, le textile d'autre part, sont deux mondes un peu isolés dans l'univers technico-scientifique.

Le génie civil n'est pas une industrie : son organisation et sa psychologie lui sont propres, en raison de la dispersion géographique des chantiers, du caractère toujours particulier de cnacun d'eux et du rôle joué par la nature à laquelle l'homme est directement confronté dans les travaux. Les relations du génie civil avec le reste de la communauté scientifique sont influencés par ces particularités.

Le textile, lui, me semble-t-il, est influencé par le fait que son principal débouché est l'habillement ; comme un vêtement n'est pas quelque chose qui se calcule, l'industrie textile apparaît, aux yeux de ceux qui ne la connaissent pas, comme un domaine de faible technicité, et sa soumission à la mode n'améliore pas son image auprès de ceux qui prétendent à des attitudes rationnelles.

Pourtant l'industrie textile est un domaine où science et technique sont bien présents ; mais ici intervient un autre élément, qui est le décalage historique qu'il y a eu entre le développement industriel du textile, qui est très ancien, et celui des autres techniques. Il en est résulté une certaine coupure du monde textile par rapport aux autres professions, coupure qui subsiste probablement encore.

La distance psychologique qui séparait au départ les producteurs de fibres et les constructeurs était donc considérable ; la rencontre a maintenant eu lieu, mais il reste toujours à poursuivre l'effort d'information des techniciens du génie civil sur la réalité de l'industrie textile, de même qu'est toujours à approfondir la prise de conscience par les professionnels du textile des particularités du marché des travaux publics.

Au sujet des performances des fibres j'ai parlé de résistance, de module et de stabilité chimique. Une autre caractéristique qui joue un grand rôle est le diamètre des fibres ; il est le plus souvent de quelques dizaines de microns et permet aux géotextiles d'avoir les excellentes propriétés hydrauliques que nous leurs connaissons, à savoir forte perméabilité associée à un diamètre de filtration faible, de l'ordre de grandeur de la centaine de microns. Une telle combinaison perméabilité élevée-diamètre de filtration petit n'est pas possible avec un matériau granulaire ; c'est un avantage spécifique des structures fibreuses.

Notons en passant combien la stabilité chimique est importante pour des matériaux ayant une aussi grande surface spécifique. Faire durer des fibres de 30 microns de diamètre plusieurs dizaines d'années dans des sols marécageux n'est possible qu'avec une matière remarquablement stable, ce qui est le cas des polymères les plus utilisés.

Le second facteur qui fait l'intérêt des géotextiles, je l'ai intitulé : "Vertus du mariage sol-fibres".

Nous venons d'en voir un des aspects, qui est l'adaptation des textiles à la fonction de filtre dans les sols.

Un autre aspect favorable du mariage sol-fibres est l'adaptation des modules des fibres et des textiles synthétiques au bon fonctionnement mécanique du composite sol-géotextile. Les déformabilités des deux éléments d'un composite doivent en effet être compatibles pour que l'on puisse utiliser simultanément la capacité de résistance des deux composants ; or beaucoup de sols naturels sont assez déformables ; on ne peut donc leur associer un élément trop rigide ; les textiles se révèlent être des éléments de caractéristiques particulièrement adaptées.

Préciser ce point en citant des chiffres exigerait des développements trop longs pour cet exposé, car la mécanique des systèmes sol-géotextile n'est pas simple, comme l'illustreront différentes communications du congrès. La mécanique des sols est en effet complexe et la mécanique des textiles encore relativement peu explorée ; la mécanique des systèmes sol-géotextile n'est donc pas un domaine où l'on puisse trancher en quelques mots.

Insistons cependant sur l'avantage énorme qu'il y a à associer un élément de continuité au milieu discontinu qu'est un sol. C'est en effet non seulement en augmentant sa résistance que le textile est utile mécaniqement, mais aussi et peut-être surtout en créant la continuité qui modifie profondément les déformations possibles dans la masse du sol.

Il apparaît donc bien clairement, et de nombreux auteurs l'ont déjà montré, que l'association des deux matériaux est exceptionnellement heureuse, sous les deux angles sous lesquels la géotechnique impose toujours d'examiner les matériaux : l'hydraulique et le mécanique.

Les fibres chimiques sont donc d'excellents composants pour améliorer les sols. Mais a-t-on vraiment besoin d'améliorer les sols ? ne suffit-il pas de béton et d'acier pour construire et donner leur solidité aux ouvrages ? Il y a deux réponses à cela :

1 - même si l'on ne construit pas avec le sol, on construit toujours sur le sol ; et beaucoup de terrains où l'on doit construire sont humides, mous, sujets à l'érosion, aux tremblements de terre ...

2 - l'économie des projets conduit souvent, pour certains types d'ouvrage, à employer le sol comme matériau.

De nombreux ouvrages doivent être construits sur des sols peu stables. Quel que soit l'ouvrage à réaliser, il faut alors s'accommoder du caractère plus ou moins déformable, compressible, peu résistant et hétérogène du terrain. Plus la structure que l'on veut édifier est exigeante du point de vue des déformations tolérées, plus le problème de la fondation est aigu ; s'il ne peut être résolu

par des fondations profondes reportant les charges sur un substratum rigide, on ne peut éluder la question de la liaison entre le milieu naturel mou et l'édifice construit rigide.

C'est là que des structures d'une déformabilité intermédiaire sont nécessaires, qui supportent les tassements différentiels du sol et qui constituent ensuite pour l'ouvrage un support suffisant et homogène.

Lorsqu'il n'est pas nécessaire que la construction réalisée soit elle-même rigide, une digue par exemple, on doit la concevoir avec une technique tolérant les déformations du sol naturel sous son poids. C'est un des motifs de l'emploi de la terre comme matériau de construction de nombreux barrages, que de pouvoir s'adapter aux tassements des dépôts d'alluvions sur lesquels ils sont construits.

On voit alors un intérêt essentiel des géotextiles : c'est de permettre d'utiliser le sol comme matériau, en conservant ses avantages de faible coût et de déformabilité, et en mettant en plus à profit les qualités mécaniques et hydrauliques des textiles. Les géotextiles permettent de concevoir des structures de niveau de déformabilité adapté, utilisant bien les capacités du sol et des fibres. Ces structures répondent à un besoin des constructeurs à la fois permanent, car les sols de fondation médiocres sont les plus nombreux, et très vaste, car les digues, les ouvrages maritimes, les barrages, les routes, les aérodromes, les terre-plains industriels, les ouvrages de fondation proprement dits représentent une part importante du génie civil.

Ces structures sol-fibres sont encore très peu développées dans la pratique à l'heure actuelle, car il faut bien savoir qu'il s'agit de possibilités profondément nouvelles. Certes, on peut dire que l'emploi de fibres naturelles, de branchages ou de paille est très ancien ; c'est vrai. Mais cela ne représente pratiquement rien dans la technique d'aujourd'hui, pour des raisons de main d'oeuvre, de coût, de performance et de durabilité. Les fibres chimiques, elles, permettent de reconcevoir complètement la technique des ouvrages en terre et des fondations, domaine où il est tout à fait certain que des progrès sont profondément utiles et ont un vaste champ d'application.

*

Après les aspects techniques que nous venons de voir, deux autres facteurs sont des atouts importants pour les géotextiles.

Le premier est la réduction des dépenses de transport résultant de la légèreté des géotextiles. Le meilleur exemple est le filtre ou la couche anti-contaminante : un géotextile de 250 g/m² peut remplacer une couche granulaire de 15 cm d'épaisseur qui pèse 250 kg/m², soit 1 000 fois plus. Pour 1 kilomètre de chaussée de 8 m de large, on passe de 2 000 tonnes de matériau, ce qui exige 200 voyages de camions de 10 tonnes de charge utile, à 2 tonnes, ce qui demande 1 seul voyage d'un camion léger.

Les économies de transport dues à l'emploi des géotextiles peuvent aussi être considérables en permettant d'utiliser les matériaux naturels disponibles sur le site, au lieu de faire venir d'autres matériaux d'une plus ou moins grande distance.

Ces économies de transport sont d'autant plus importantes que la région où l'on construit est pauvre en matériaux naturels convenables, que les installations de préparation de matériaux y sont peu nombreuses et que le coût au kilomètre de transport y est élevé, soit qu'il s'agisse de zone urbaine, de région montagneuse, ou autre.

J'aurais voulu vous donner quelques chiffres sur cette question des transports pour montrer l'ampleur de l'économie que peuvent apporter les géotextiles. Malheureusement, comme je le disais tout à l'heure, les travaux publics sont caractérisés par la dispersion et la diversité des chantiers. Les aspects économiques y sont donc difficiles à appréhender ; d'ailleurs, à l'inverse de l'industrie, c'est un domaine qui semble n'avoir jamais beaucoup intéressé les économistes.

Je profite donc de cette occasion pour émettre un voeu, c'est que l'on engage des études économiques sur l'impact des géotextiles dans les travaux publics. Leur réussite déjà substantielle montre qu'ils sont économiquement justifiés : une étude plus approfondie, notamment sous l'angle des transports, permettrait de convaincre davantage de responsables de l'intérêt de leur développement.

Elle pourrait répondre aussi à la question de savoir si les géotextiles ne sont pas, sous ce même angle, particulièrement adaptés aux travaux dans les pays en voie de développement, alors qu'ils sont souvent considérés dans ces pays comme un luxe.

*

Le dernier facteur qui fait l'intérêt des géotextiles est la garantie qu'ils apportent dans la qualité de la construction.

Cette garantie de qualité résulte à la fois de leur simplicité de mise en oeuvre, de la constance de leur qualité par rapport à la variabilité des matériaux naturels, et du rôle qu'ils jouent dans les ouvrages.

Plus l'exécution est simple, plus elle a de chances d'être bien faite et plus le contrôle de chantier peut être efficace. Mais surtout, comme on l'a vu, les géotextiles introduisent un élément de continuité dans les sols qui a pour effet d'homogénéiser leur comportement et de rendre donc celui-ci moins aléatoire, aussi bien au plan mécanique qu'hydraulique.

Le géotextile a donc pour effet d'accroître la fiabilité des ouvrages en terre ; or ceci est très important car c'est le point faible de ce type d'ouvrage, par ailleurs très souvent attrayant du point de vue du coût.

*

Nous venons donc de voir qu'il existe un ensemble de raisons fondamentales au développement des géotextiles, à savoir :

- les qualités propres des polymères et des textiles chimiques,
- leur compatibilité spécialement favorable avec les sols,
- le besoin de matériaux de construction qui ne soient pas trop rigides,
- l'économie de transport,
- la simplicité et la fiabilité de l'exécution.

Ces facteurs favorables vont-ils entraîner un développement exponentiel des géotextiles pendant de longues années ? Quel volume de production peut-on imaginer ?

Madame Raumann donnera des chiffres sur la situation actuelle et son évolution.

Je voudrais, pour ma part, faire trois remarques sur l'évolution future possible.

D'abord le volume potentiel de l'expansion des géotextiles est certainement très grand, si l'on considère par exemple que le chiffre d'affaire des géotextiles ne représente actuellement que 1 pour mille de celui du ciment, le ciment étant pris simplement comme un indice de l'activité des travaux publics. On voit que le géotextile est encore bien modeste sur le plan quantitatif, et que s'il doit devenir progressivement un matériau courant du génie civil, cela implique des volumes de production beaucoup plus élevés, même s'il ne doit pénétrer que dans certains domaines des travaux publics.

La deuxième remarque est que les bureaux d'études n'introduiront vraiment les géotextiles dans leurs projets que s'ils disposent de données techniques sérieuses et complètes sur ces matériaux. Cela devient progressivement possible par le développement de techniques de mesure appropriées et par les constatations sur les ouvrages existants. Je crois à cet égard que le 2e congrès international des géotextiles marquera une étape très importante sur le chapitre de la qualification des produits et que l'on peut être optimiste pour l'avenir quant à la possibilité, pour les constructeurs, d'avoir des données techniques chiffrées solides.

Il faut cependant être vigilant, dans l'intérêt de tous, pour éviter que telle ou telle présentation des faits n'engendre la confusion ou n'introduise des idées fausses. Pour la durabilité, par exemple, soutenir commercialement un produit en montrant que le concurrent, fait avec un autre polymère, peut être attaqué par tel ou tel composé chimique concentré à chaud, ou peut être ramolli ou fondu à telle ou telle température -non seulement cela n'a généralement aucune signification vis-à-vis des conditions d'emploi réelles, mais cela introduit dans l'esprit des utilisateurs l'idée que les polymères en cause, tous confondus, sont des produits de mauvaise qualité-.

Il vaudrait mieux que les chimistes, et tous les géotextiliens, essaient de redresser l'image de marque actuelle du "plastique", que beaucoup d'applications courantes ont placée très bas et qui n'est pas du tout au niveau des performances réelles de la plupart des polymères.

Je crois que cette observation vaut d'ailleurs autant pour les propriétés mécaniques que pour la durabilité.

La troisième et dernière remarque est que, en tout état de cause, même s'il existe de nombreuses conditions favorables au développement des géotextiles, ce développement ne se fera pas tout seul.

Certes, l'assistance à ce congrès, en ces temps difficiles, montre que les volontés et les compétences sont nombreuses et disponibles, mais je veux dire par là que le développement des géotextiles ne résidera pas, à mon sens, dans la simple augmentation des surfaces de nappes produites et vendues.

Le marché de la nappe que l'on déroule sur le terrain est limité, et l'intérêt des géotextiles, comme on l'a vu, va au-delà de la notion de nappe textile.

Le développement des géotextiles, c'est la pénétration des polymère, sous forme de fibres, dans le génie civil.

Ce développement implique de ne pas s'en tenir à la nappe simplement déroulée, et d'imaginer de nouveaux procédés de construction mettant à profit toutes les possibilités de l'association testile-sol.

En effet dans la plupart des applications actuelles des géotextiles, ceux-ci s'introduisent dans une conception classique qui existait avant que l'on connaisse les géotextiles, en y jouant le plus souvant un rôle d'interface entre deux couches. Le marché actuel est donc essentiellement celui de produits livrés en rouleaux et utilisables directement sans changer beaucoup les habitudes des bureaux d'études et des entrepreneurs.

Mais il existe un autre marché, le marché de l'avenir, qui est celui où les notions de polymère, de fibre et de textile, dans toute la richesse du terme, auront été introduites au niveau de la conception des ouvrages, pour créer de nouvelles techniques de construction utilisant le textile sous toutes ses formes : fibres, fils, câbles, bandes larges ou étroites, nappes, produits composites, produits façonnés de géométries diverses, structures tubulaires, alvéolaires, fermées ou ouvertes, etc.

Ces nouvelles techniques de construction mettront aussi en jeu de nouveaux procédés d'exécution et de nouvelles machines ; association du textile et du transport hydraulique ou pneumatique des sols, matériels de manipulation et d'assemblage des éléments textiles et bien d'autres dispositifs imaginables.

Certains de ces procédés commencent à apparaître, comme par exemple les soutènements à armature géotextile ; d'autres, de protection contre l'érosion, de renforcement des sols, de drainage, de construction routière ..., seront présentés au cours de ce congrès ; d'autres, enfin, sont pour un avenir qu'il faut souhaiter pas trop lointain ; je pense en particulier à l'habitat en terre, où le mariage sol-fibres naturelles a été utilisé depuis toujours et où les fibres modernes ont certainement un place ; or, n'oublions pas que plus de la moitié des habitants du globe vivent dans des habitations en terre.

Ma conviction profonde est que le développement de ces nouvelles techniques de construction et de travaux publics est le véritable avenir des géotextiles. Mais il faut savoir que c'est une tâche difficile et de longue haleine, aux aspects multiples, et qu'elle exige absolument la collaboration étroite des deux communautés professionnelles, textile et génie civil.

C'est une tâche qui vaut la peine d'être entreprise, car elle apportera de bonnes solutions à d'innombrables problèmes de construction, ce qui est une des clés du développement.

On peut être certain que son accomplissement changera notablement l'art de construire.

Cela se fera si nous avons la volonté de collaborer, l'audace d'innover et le courage de persévérer.

RAUMANN, G.
Monsanto, Decatur, AL, USA

Geotextiles: Construction Materials in Evolution

"Les Géotextiles: un matériau de construction en évolution"

INTRODUCTION

It is with great pleasure and deep appreciation of the honor of having been invited, that I address this large, international gathering of so many of the leading persons in the field of geotextiles.

The purpose of this talk is to review briefly the status and developments in geotextiles from the textile viewpoint. M. Leflaive presented some engineering aspects and I will add my personal view as a physicist who came into this field via the textile rather than the civil engineering discipline.

In thinking about the subject the analogy with biological evolution came to mind. From the first few, simple structures, we saw how some fabrics evolved, mutated, branched and specialized, how some remained unchanged and how a few, unfit to survive the selective processes of the market place, became extinct.

I will take the opportunity while tracing the evolution of fabric geometry and structure to describe some of the fabrics, to correlate their structures with some salient properties, and to acquaint those of you new to this subject with some textile concepts, terms and test methods now being discussed and developed.

With the physical changes of the fabrics we can also trace a correlating evolution of our knowledge of how different types of fabrics behave and of our understanding of what is required for specific applications.

Finally, I will include some selected data of the growth and diversity of the geotextile market and the textile industry and to trace the evolutionary process in that respect.

FABRIC EVOLUTION

Various claims have been made as to the first use of a geotextile. Isolated cases of fabrics in geotechnical use have been recorded in 1926, or possibly earlier, but I believe that the techniques and the technology which we are met here to discuss originated with the geotechnical fabrics installed in Europe about 25 years ago. There are reports of the use of woven polypropylene fabrics as filtration layers in coastal works in Europe and in a few U.S. installations in the late 1950's, but the true impetus occurred in Europe in the mid 60's with the introduction of nonwoven fabrics. By the late 1960's two nonwoven fabrics: one a needled polyester the other a heatbonded fabric based on polypropylene were introduced for geotechnical use. They were found to facilitate construction in adverse conditions, to realize cost savings and to open possibilities of novel civil engineering techniques. Progress was rapid in Europe with applications in stabilization, in roads and embankments, and coastal erosion protection. The new nonwoven technology and the fabrics were introduced to America in the early 1970's.

These early geotextiles were adapted with minimal changes from industrial fabrics used as carpet backing, tarpaulins, shade cloths and similar applications. Over the last 20 years many important changes in fiber type and fabric construction have taken place. Some were low key as manufacturers realized the desirability of a different combination of properties. Some quite major changes in fiber geometry or blend, or fabric construction occurred without even a change in fabric designation. Other changes were accompanied by new designations, or heralded by new names and great advertising fanfare.

What were some of the changes? The experience of the U.S. market can serve as an illustration: a typical early geotextile was a woven polypropylene fabric made of roughly rectangular cross section monofils. (This term, which is an abbreviated form of "monofilaments", describes coarse filaments which are processed as single entities.) They typically had aspect ratios (width:thickness) of 3:1 and were black because of the added carbon black for good U.V. protection. They had good tensile strength, modulus and about 20% elongation at break in the directions of the two orthogonal sets of filaments - in other directions the mechanical responses could be very different.

They were produced with well controlled fiber spacings and uniform openings that could be compared to established sieve sizes. They were costly to produce due to low weaving speeds, fairly narrow widths. They had a tendency to fray cut (but unsealed) edges and showed a high bending stiffness due to the thick monofils, which, when made to conform to uneven ground could give rise to stress concentrations (and possible tearing) or shear (with attendant change in size of openings). They are shown in Figure 1.

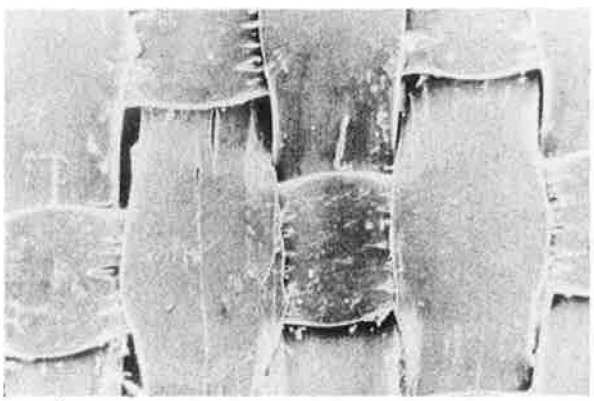

Fig. 1. Photomicrograph of a woven monofil geotextile.

A newer generation of woven polypropylene fabrics was introduced using slit film ribbons which can be produced more economically and woven on faster, wider looms. Superficially they look similar to the monofil structures and many are also black and of similar construction and weave (i.e. ends per metre). The tensile strength, elongation at break and modulus were similar to monofils for fabrics of the same area density but they differed in several important respects: they were lower in price and had a lower bending stiffness since the width to thickness aspect ratios for the slit ribbons were typically 20:1. The ribbons often showed irregular folding or twisting patterns and the fabrics had areas with fairly large average hole sizes and other regions with small, tortuous passages and the comparison to a sieve was no longer appropriate. (See Figure 2.)

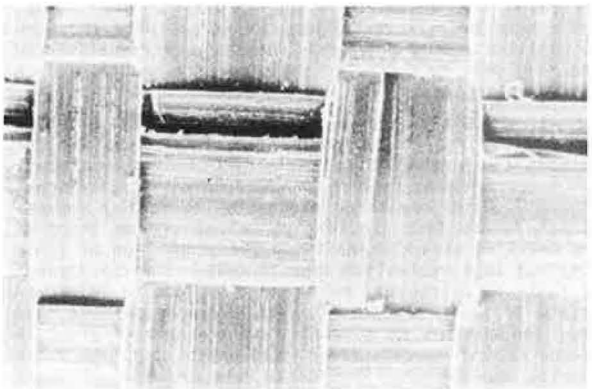

Fig. 2. Photomicrograph of a woven slit film geotextile.

The introduction of slit film fabrics also required alternative methods of light stabilization for adequate outdoor performance. Because of the increased surface area the carbon black, found effective in monofils, no longer gave the same degree of protection. Other, more costly compounds had to be added or, for applications where outdoor exposure is minor, the fabrics were marketed without carbon black and were normally buff in color.

The two types of woven fabrics just described are still the predominant types but woven fabrics are also available which are made from multifilament yarns or twisted strands of slit films and extend over a wide range of construction parameters. The most commonly used polymer is polypropylene, but nylon, polyester, polyvinylchloride and polyethylene and some natural fibers are also used.

Woven geotextiles are often the materials of choice in applications where high strength and high modulus in the principal directions are more important considerations than similar properties in all directions, and where ease of handling and installation on uneven terrain are not critical. For filtration some engineers also prefer to specify on the basis of equivalent opening size in woven fabrics since regular, visible holes can be related to the soil particle sizes to be retained. The major uses for woven geotextiles are in coastal works, waterways, embankments and in or near dams. Woven fabrics of special construction are used in concrete forming.

While the woven geotextiles were diversifying, the development in nonwoven fabrics was even greater. Figure 3 shows some of the stages of manufacture of a continuous filament nonwoven fabric. The molten polymer is forced through fine holes in a spinnerette to make the fibers which, after cooling and stretching to impart strength, are more or less randomly laid onto a moving belt. This random web is then bonded. Spunbonded* fabrics are produced by chemical or heatbonding, normally with the use of calendars: heavy rollers that help to produce good bonds and smooth, thin fabrics. A different method of bonding uses a physical entanglement of fibers by means of hooked needles to produce needled fabrics with open, bulky structures. This method of bonding can also be used on mats of staple (cut) fibers.

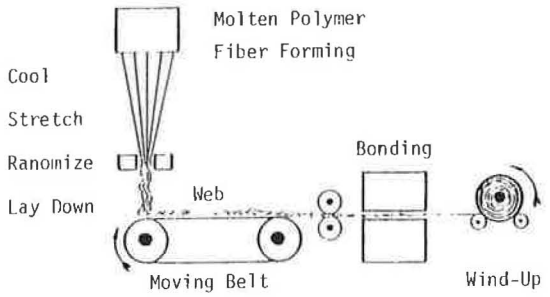

Fig. 3. Diagram of manufacture of nonwoven geotextiles.

The earliest nonwoven geotextiles, a continuous filament needled polyester and a spunbonded* polypropylene-based fabric (Figures 4 & 5), were shortly joined by a needlebonded heattreated staple (cut fibers) polypropylene fabric. These nonwovens, although made of different polymers and by quite different processes, had certain common characteristics - quite different from the woven fabrics.

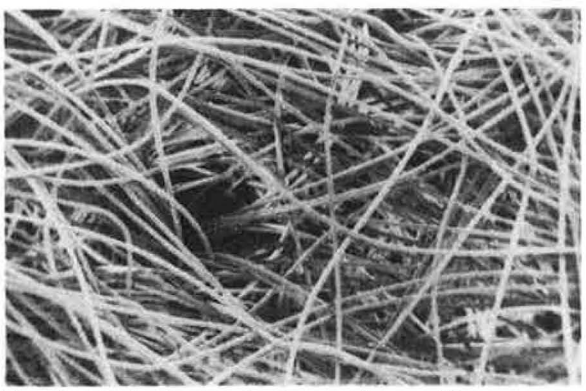

Fig. 4. Photomicrograph of a continuous filament needled nonwoven geotextile. Surface view.

*Footnote: Spunbonded is a term first applied specifically to nonwoven fabrics made of continuous filaments which are heat- or chemically-bonded, primarily at filament crossover points. More recently the term has also been applied to continuous filament needled fabrics.

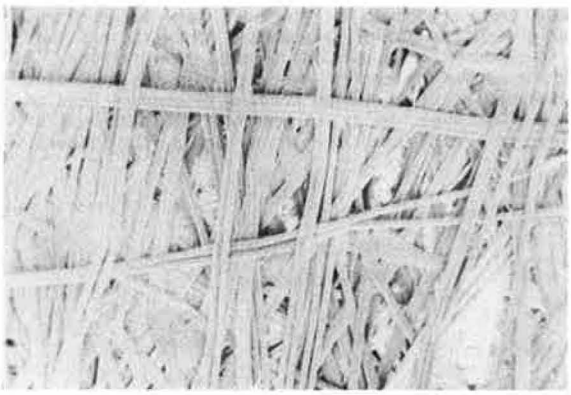

Fig. 5. Photomicrograph of a spunbonded nonwoven geotextile. Surface view.

Some of the differences between woven and nonwoven fabrics are shown in Table 1.

TABLE 1

COMPARISON OF PROPERTIES OF WOVEN AND NONWOVEN FABRICS

(SIMILAR AREA DENSITY)

	Woven	Nonwoven
Fiber Arrangement	Orthogonal	Random
Properties	Directional	Nondirectional
Breaking Strength*	Higher	Lower
Breaking Elongation*	Lower	Higher
Initial Modulus*	Higher	Lower
Tear Resistance	Lower	Higher
Openings	Can Be Regular	Irregular
Filtration	Single Layer	Often Multilayer
Porosity	35% to 45%	55% to 93%
Inplane Flow	Low	Can be High
Edge	May Ravel	Does Not Ravel

*Machine Direction

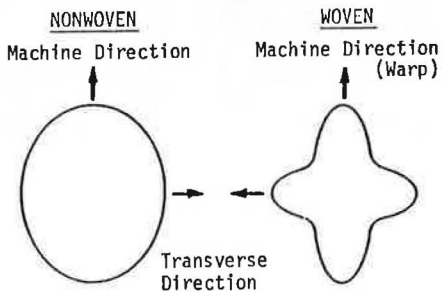

Fig. 6. Polar diagrams of the tensile modulus of nonwoven and woven geotextiles.

Another important difference is shown in Figure 6: This figure illustrates how the mechanical properties of nonwoven geotextiles, because of their essentially random fiber orientation in the fabric plane, are almost independent of direction. If differences exist they show an elliptical not a cruciform polar diagram as is the case for typical woven geotextiles.

Also, nonwovens are made of individual, very thin fibers (rather than monofils, slit film ribbons or twisted yarns as found in woven geotextiles) hence they are typically more flexible and deformable and have a lower modulus and a higher elongation at break. The needled fabrics having no rigid fiber-to-fiber bonds show the least resistance to deformation by localized forces. They can deform (e.g. when required to conform to uneven ground) by rearranging their structure and spreading the localized stresses over a wider area, while when overall restrained (as occurs when they are in position underground) this rearrangement is prevented and they show much greater resistance to deformation on the larger scale.

It was the existence of such fabric behavior which led to the realization that traditional textile test methods could give quite misleading information about the performance of fabrics in geotechnical applications. Figure 7 shows how force elongation curves by conventional fabric tests could give values of one third of the breaking strength and twice the elongation of those obtained in a restrained tensile test. The development of tests to relate to field conditions and to be appropriate in scale for the intended geotechnical use have been the concern of several organizations involved in standards and specification development both in North America and Europe. Reports on the progress of these are the subject of a special session of this conference.

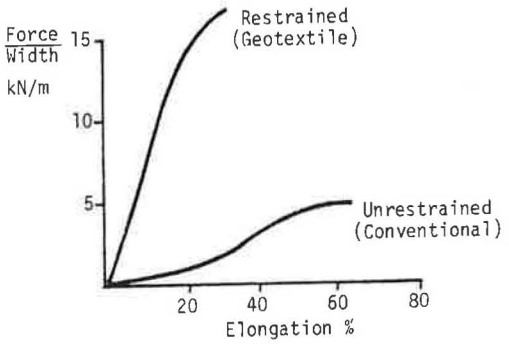

Fig. 7. Effect of restraint on the tensile stress-strain curves of a needled geotextile.

Another property found only in certain nonwoven fabrics is the range of openness of their structure. Depending on how they are produced the openness when expressed as the percent open space (i.e. the porosity) can vary from 93% for thick, needled fabrics (Figure 8) to 55% porosity for the calendared, heatbonded fabrics*. Thus, the thick, highly porous, needled fabrics are very suitable for applications where in-plane water transport of the fabrics is the major or a very important function. Again, special test procedures had to be devel-

*Footnote: At the lower end of this range the term "porosity" may not be appropriate since much of this implied openness is not truly in the structure but rather the unevenness associated with the two surfaces.

oped to measure their permeability--which is of similar magnitude to that of coarse sand.

Returning again to the topic of the evolution of nonwoven geotextiles: In the late 1970's, undoubtedly triggered by the impetus and interest generated at the First International Conference on Geotextiles, the numbers and types of nonwoven geotextiles increased rapidly. Most fabric producers marketed a variety of styles for different end uses. Continuous filament or staple needled polypropylene and polyester of many thicknesses and degrees of needling and several types of spunbonded fabrics were available. Special combinations of thickness, width, strength, porosity and opening size have found application for specific end uses notably in embankments, hydraulic works and dams, in earthwalls, unpaved, flexible and rigid roadways, in railroad track construction and soil stabilization. Bulky nonwovens can act as a dewatering drain and protective layer for geomembranes. In addition, combinations of woven and nonwoven layers have been produced: Nonwovens can be used as a "cap" in combination with slit film wovens to act as filter mat to overcome the non-uniformity of opening size and sometimes to act as a drainage layer or impart better frictional characteristics. Open weave wovens are used as a "scrim" in nonwoven structures for increased strength or modulus in specific directions. The developments in the field of these compound structures underscore the evolution of geotextiles from a "one-size-fits-all" commodity item to specialty products "tailor made" for clearly defined applications.

Fig. 6. Section of a needlebonded geotextile with porosity of 93%.

The fabrics so far discussed comprised variants of traditional textile structures, but even newer structures are being used: The geonets and geogrids shown in Figures 9 and 10 often have orthogonal structures reminiscent of woven fabrics and the bonded crossover points of spunbondeds, the coarse structured geomats can be considered as extensions of needled nonwovens. Products are increasingly being specified where their very open structures or their very large geometrical repeat units confer special drainage or frictional advantages for selected end uses. On the other end of the scale have been experiments of soil reinforced with mats of chopped fibers - a new concept and yet reminiscent of the straw in the bricks of Mesopotamia of 6000 years ago.

Purists among textile practitioners may take exception to designating such structures as textiles at all - but the traditional cut-off point has been established because these newer products were not known at all or only in intermediate stages of manufacture. Technology is constantly advancing and it would not be the first case of traditionalists having to rethink their concepts, redefine their terms, and widen their terminology because of the progress of technology.

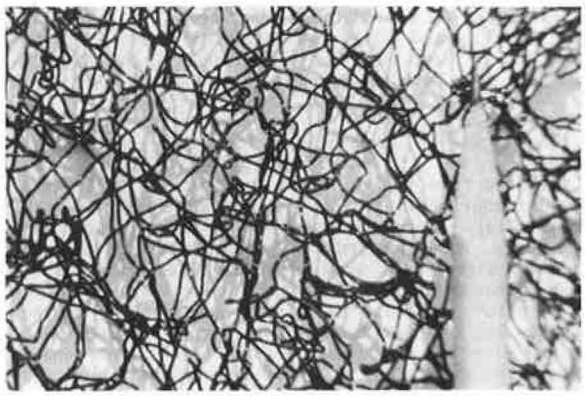

Fig. 9. View of a geonet.

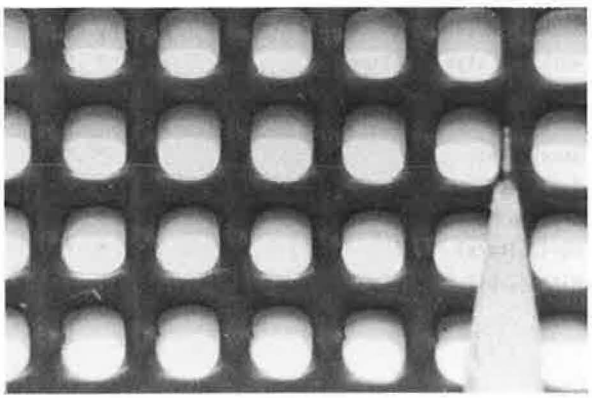

Fig. 10. View of a geogrid.

THE GEOTEXTILE MARKET AND THE TEXTILE INDUSTRY

Using best estimates from a number of sources the 1980 annual world production of about 115 million m^2 geotextiles (which includes some textile based geomembranes) can be broken down by region as shown in Table 2. Europe and North America account for about 90% of the total production, Europe and the U.S. producing, roughly equal areas. Combining the U.S. figures of 45 million m^2 and a use of 8.5 million kg one arrives at an average area density of about 0.2 kg/m^2 - a credible figure.

TABLE 2

GEOTEXTILE PRODUCTION BY REGION (1980)

(Includes some Geomembranes)

Europe	45	million m^2/yr	(40%)
U.S.A.*	45	" "	(40%)
Canada	11	" "	(10%)
Rest of World	12	" "	(10%)
Total	113	" "	(100%)

* The total U.S. production has been estimated by various sources and figures as widely different as 24 to 87 million m^2 have been quoted, hence all the figures shown here must be considered very approximate.

The types of applications for which geotextiles were used in the U.S. in 1980 is given in Table 3. It was prepared from a list of the customers of geotextile suppliers and the final end use was not always clearly identifiable. The largest single item listed, i.e. 26% for asphalt road construction must be understood to include a significant area of geotextiles supplied to Highway Departments which was used in drainage and site stabilization and not for direct application in the roadway. The term Sports and Recreational includes such uses as bicycle, race and running tracks and tennis courts. The 6% used by government departments included coastal and waterway use and forestry roads and staging areas.

TABLE 3

U.S. GEOTEXTILE APPLICATIONS (1980)(BY FABRIC AREA)

Asphalt Road Construction	26%	By Area
Worksite Stabilization	21%	" "
Commercial Forestry	15%	" "
Sports & Recreational	11%	" "
Government	6%	" "
Railroads	6%	" "
Erosion Control & Embankments	5%	" "
Agricultural	5%	" "
Mining, Oil & Gas Exploration	5%	" "
Total	100%	

The analysis of geotextiles by polymer type and method of manufacture is known to a much greater degree of certainty than the data quoted above. As shown in Table 4, 95% of all geotextiles used in 1980 in the U.S. were made from polypropylene: one half are needled products, over one third are spunbonded and about 7% of the total are woven. The remaining 5% are needled polyester fabrics both as continuous filament and in the form of staple fibers. The nonwovens (polypropylene and polyester) have steadily been increasing their share of the geotextile market. In the U.S. in the late 1960's 95% of all geotextiles were woven polypropylene since then that percentage has been steadily declining, although, because of the rapid overall market expansion, the total area of all woven geotextiles has been increasing.

TABLE 4

U.S. GEOTEXTILE USE BY FABRIC TYPE (1980)

		By Weight	By Area
Polypropylene	Needled	54%	52%
"	Spunbonded	32%	36%
"	Woven Monofil	6%	5%
"	Woven Slit Film	1%	2%
Polyester	Needled	7%	5%

Having looked at the geotextile market I would like to take a somewhat wider view - the total textile industry: The importance of the industry in the world today is often overlooked. Textiles may be less noticeable than large engineered structures but they are more widespread. Table 5 compares the world industrial production of some engineering materials and textiles.

TABLE 5

U.S. GEOTEXTILE USE BY

Cement	760	million tons
Steel	670	" "
Asphalt Cement	80	" "
Textiles	30	" "

The world total of 30 million tons (metric) of textiles includes only industrially produced textiles and does not include home spun products. Nearly one third of the world output is produced in Europe and one quarter is produced in the U.S. as shown in Table 6. The 34% not specifically listed by origin consists mainly of cotton fibers not used in geotextiles and produced chiefly by India, Pakistan, China, Egypt, Sudan, and others.

TABLE 6

WORLD PRODUCTION OF TEXTILE FIBERS BY REGION (1980)

U.S.A.	7.2	million tons	(23%)
Eastern Europe	5.7	" "	(18%)
Western Europe	4.3	" "	(14%)
Japan, Taiwan, Korea	3.1	" "	(10%)
All Others	10.6	" "	(34%)
Total	30.9	" "	(100%)

The breakdown into the world's main fiber types (Table 7) shows that synthetics take second place to cotton with somewhat more than one third of world production. They are the only materials sufficiently longlasting to be suitable for most geotextile applications.

TABLE 7

WORLD PRODUCTION OF TEXTILE FIBERS BY TYPE (1980)

Cotton	14.4	million tons	(47%)
Synthetics	11.6	" "	(37%)
Cellulosics	3.4	" "	(11%)
Wool	1.5	" "	(5%)
Total	30.9	" "	(100%)

Taking a closer look at the U.S. market we see that all industrial fabrics account for somewhat under one quarter and the proportion of this figure that goes into geotextiles at this time is less than 1% (Table 8). With such a small segment why is the textile industry so clearly interested in geotextiles? The reason is shown in Figure 11 where (on a logarithmic scale) an annual growth rate over the last few years is extrapolated to a conservative 20% per annum for the next 5 to 10 years.

TABLE 8

U.S. TEXTILE FIBER END USE (1980)

Apparel	2.3	million tons	(42%)
Furnishings	1.7	" "	(31%)
Industrial	1.3	" "	(23%)
Other	0.2	" "	(4%)
Total	5.5	" "	(100%)
Geotextiles	8.5	million kg	

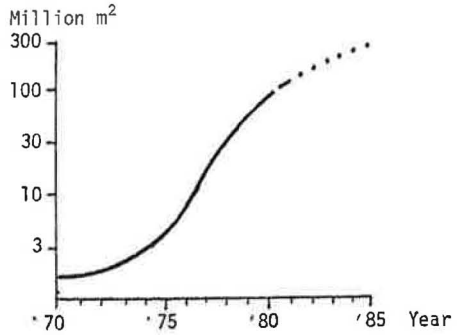

Fig. 11. Use of Geotextiles in the U.S. since 1970 (Logarithmic scale).

With this growth rate continuing, at the end of the next 5 years geotextiles in the U.S. will have penetrated a mere 1% to 2% of the total U.S. uses for which geotextiles are known to be applicable. Additional market growth can be projected for the following 20 years or so. These penetration estimates are based on presently known uses and do not allow for completely new applications, exports, or quite new uses of fibers as discussed by M. Leflaive. The above growth rates are far greater than the average growth rate in the industry where even the fastest expanding sector, the synthetic fibers, are showing less than 5% per annum growth. We see here an industry with excess production capacity available and well equipped with the highly sophisticated technologies of modern synthetic fiber and plastics plants. They are geared to take on new challenges and expand into new markets. It is for this reason that we see why the textile industry is courting the geotechnical community as is evidenced by the many exhibits that you will be able to visit during the course of this week.

CONCLUSION

We have seen how in the short span of 25 years geotextiles have seen rapid diversification of fabrics and good a progress in the appreciation of how fabric properties affect their performance in geotechnical applications. Early empirical and intuitive use is being replaced by proven working theories and sound design formulas. We are still far from the desirable state where, starting from a design analysis of system stresses, hydraulic and frictional requirements, we can compute expected loads, deformations, and flows in the various direction in fabrics - and produce a tailor-made fabric for that end use. As we can see from the contributions to this conference we are moving in that direction. Alas, geotextile technology still awaits the unifying theories of a Euclid, Pasteur or Newton - but there is a good chance that very person may be in this room right now.

From the viewpoint of the long established textile industry geotextiles are challenging newcomers opening opportunities of expansion and potential for development of new technology, new fabrics and new concepts. The practitioners in the textile industry share a feeling of optimism and excitement with the civil and geotechnical engineers as we embark together on a journey of discovery through this week of conference meetings and trade exhibits and on to the developments of the years ahead.