

TERRASSEMENTS, DRAINAGE, COUCHE DE FORME

Mardi 21 octobre 2003 (8h30 - 12h00)

PROGRAMME DE LA SÉANCE ET RAPPORT INTRODUCTIF

PROGRAMME DE LA SÉANCE

1. Introduction de la séance

M. Giorgio PERONI (Président du C12/ITALIE)

2. Matériaux naturels hors spécification courante et pertinence du contrôle des travaux de terrassement

a) Limites d'emploi des sols naturels, spécifications et contrôles dans les travaux de terrassements

M. Hervé HAVARD (Membre du C12/FRANCE)

b) Prise en compte de l'action du gel dans la construction routière

M. Edward J. HOPPE (Secrétaire Anglophone du C12/ETATS-UNIS)

a) Contrôle des plates-formes et des routes économiques au moyen d'une nouvelle méthode pour évaluer la rigidité

M. Hervé HAVARD (Membre du C12/FRANCE)

b) Contrôle de tassement du sable par test peu profond de pénétration de cône

Ir. W.O. MOLENDIJK (GeoDelft/PAYS-BAS)

c) Autoroute A29 - Optimisation des terrassements dans une perspective de développement durable

M. D. DEMEILLIERS (SANEF/FRANCE)

d) Description de mélanges sable/argile compactés : phénomènes associés au compactage et seuils de classification

M. Hervé HAVARD (Membre du C12/FRANCE)

e) Réutilisation de matériaux dégradables plus ou moins fragmentables

M. Y. GUERPILLON (SCETAUROUTE/FRANCE)

Discussion

3. Colonnes support de remblais

f) Colonnes support de remblais

M. Chris DUMAS (Membre du C12/ETATS-UNIS)

g) Fiabilité améliorée des prédictions de tassement pour des remblais sur sols mous

Ir. W.O. MOLENDIJK (GeoDelft/PAYS-BAS)

h) Les matériaux légers dans les constructions routières – La situation présente en Italie

Dr. Giulio DONDI (University of Bologna/ITALIE)

i) Remblais expérimentaux sur terrain meuble utilisant le sol de surface sur le site mélangé à de la mousse

M. Hiroshi MIKI (Membre du C12/JAPON)

j) Une méthode pour évaluer les tassements des remblais des routes à cause de l'élagissement du profil en travers

Dr. Ciro CALIENDO (Université de Salerne/ITALIE)

Discussion

4. Prise en compte du risque de glissement des pentes

k) Prise en compte du risqué de glissement des pentes

M. David PATTERSON (Membre du C12/ROYAUME-UNIS)

l) Evaluation et gestion des risques d'éboulements de falaise sur les routes en relief difficile - L'exemple des routes nationales de l'île de la Réunion

M. Jean-Jacques GUEGUEN
(Ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer/FRANCE)

M. Marc CRUCHET
(Ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer/FRANCE)

Discussion

5. Approbation des conclusions

M. Giorgio PERONI (Président du C12/ITALIE)

SOMMAIRE

Sommaire	4
Résumé des enjeux	5
Liste des membres ayant contribué à ce rapport.....	7
Matériaux naturels hors spécification courante et pertinence du contrôle des travaux de terrassements	8
Colonnes support de remblais	13
REFERENCES.....	14
Prise en compte du risque de glissement des pentes	15
REFERENCES.....	16
Conclusions (Projet)	17
Thème 1	17
Thème 2	18
Colonnes de graviers et de sable	18
Colonnes de béton vibré (VCC).....	18
Pieu vissé conventionnel et tarière continue	18
Injection de coulis.....	18
Toiles en matériaux synthétiques	18
Thème 3	19

RESUME DES ENJEUX

Le Comité AIPCR des Terrassements, Drainage, Couche de Forme (C12) a étudié les thèmes suivants durant la période 2000-2003 :

1. Matériaux naturels hors spécification courante et pertinence du contrôle des travaux de terrassements
2. Colonnes support de remblais
3. Risques dus aux pentes.

Les activités du Comité s'inscrivent dans le Thème stratégique 1 de l'AIPCR, Techniques routières, dont l'objectif est d'améliorer la mise en place et l'entretien de l'infrastructure routière, conformément aux meilleures méthodes utilisées au niveau international.

Le réemploi de sols naturels dans la construction de remblais est une pratique répandue dans de nombreux pays. Cependant, les approches concernant l'utilisation de matériaux marginaux varient fortement selon les pays. Certains d'entre eux doivent appliquer un cahier des charges très exigeant en matière de sélection des matériaux, alors que d'autres sont beaucoup plus souples quant aux critères d'admission. Des facteurs tels que le climat et la topographie rentrent en ligne de compte pour l'admission ou le refus de matériaux, avec des variations selon les pays.

Pour l'évaluation de l'efficacité du contrôle de terrassement, il est important de prendre en compte l'ensemble du site, et non pas un défaut ponctuel. De nombreux problèmes de conception et de construction de terrassement proviennent du fait de l'absence relativement courante d'études préliminaires de l'ensemble du site. Souvent, la performance d'un remblai non conforme au cahier des charges est due non pas à un compactage insuffisant mais à un drainage de faible qualité.

La technique des colonnes support de remblai n'est pas nouvelle. Les remblais sur pieux sont utilisés depuis plus de 60 ans et la technologie 'moderne' des colonnes de gravier a été appliquée pour la première fois en Europe dans les années 60. Cependant, les changements économiques, politiques et technologiques, ainsi que les améliorations apportées à cette technique ont considérablement augmenté son emploi dans le monde ces 5 dernières années.

La technique permet la construction de remblais routiers sur des sites qui à défaut ne s'y prêteraient pas du point de vue de la capacité portante, de la stabilité, et/ou du temps de construction. Parmi les avantages figure la réduction significative ou l'élimination de l'ampleur des tassements et de leur apparition. Les équipements modernes et les renforcements géosynthétiques ont considérablement développé l'application de la technique des colonnes support de remblai.

Le C12 a décidé d'examiner plusieurs techniques de colonnes et de dresser une synthèse de l'état de l'art actuel. Les techniques étudiées couvrent les colonnes de graviers, les colonnes de béton vibré, la stabilisation combinée avec des colonnes verticales et les renforcements à base de géosynthétiques.

Les aspects géotechniques, en majorité des matériaux naturels, sont davantage sujets à des variations inhérentes de comportement et de dégradation à long terme. Les conséquences de ces variations peuvent avoir d'importantes conséquences sur les coûts de la durée de vie des ouvrages et sur la sécurité du public.

Le C12 s'est intéressé aux pentes en raison du nombre plus important de ruptures et de leurs conséquences, par rapport aux autres aspects géotechniques. Des études de cas de plusieurs pays ont été analysées. L'éventail des problèmes est vaste : des dangers géotechniques les plus dangereux mettant en danger des vies et l'économie, à des gênes occasionnées, exigeant seulement des efforts d'entretien.

Des progrès importants ont été réalisés en matière d'évaluation du danger des pentes. Les conditions et méthodes d'évaluation des risques sont maintenant bien au point. La valeur et la contribution des aspects géotechniques sont actuellement quantifiées.

LISTE DES MEMBRES AYANT CONTRIBUE A CE RAPPORT

1. Auteur principal : H. HAVARD (France)
Membres ayant apporté leur contribution :
J. NOMERANGE (Belgique),
E. HOPPE (Etats-Unis), C. AIME (France),
M. de VAULX de CHAMPION (Belgique),
C. BARBOSA (Portugal), E. DAPENA (Espagne),
D. PATTERSON (Royaume-Uni),
G. TOPHINKE (Allemagne)

2. Auteur principal : C. DUMAS (Etats-Unis)
Membres ayant apporté leur contribution :
J. NOMERANGE (Belgique),
A. PHEAR (Royaume-Uni),
E. HOPPE (Etats-Unis)

3. Auteur principal : D. PATTERSON (Royaume-Uni)
Membres ayant apporté leur contribution :
J. NOMERANGE (Belgique),
E. HOPPE (Etats-Unis),
H. HAVARD (France), G. PERONI (Italie),
M. MAHMUD (Malaisie), S. DOROBANTU (Roumanie),
PARRIAUX (Suisse)

MATERIAUX NATURELS HORS SPECIFICATION COURANTE ET PERTINENCE DU CONTROLE DES TRAVAUX DE TERRASSEMENTS

Pour le dernier Congrès AIPCR de Kuala Lumpur, le Comité 12 avait analysé l'évolution des projets et des travaux de terrassements engagée pour prendre en compte les exigences de protection de l'environnement de plus en plus lourdes, voire parallèlement pour développer de façon volontariste des méthodes de travail aussi compatibles que possible avec le principe de développement durable. Dix sept pays avaient contribué à cette étude, confirmant largement la tendance à subordonner les travaux de terrassement à une prise en compte de plus en plus rigoureuse et économe de la protection de l'environnement et du cadre de vie. Le rapport établi à cette occasion formulait en particulier dans ses conclusions provisoires que «de grands progrès semblent possibles du côté des ingénieurs en terrassements, par exemple augmenter la proportion des matériaux d'excavation, etc., utilisés en remblais».

C'est dans cette optique que le sujet 1 a été traité entre 2000 et 2003. On peut résumer l'objet de cette étude en deux orientations principales :

- peut-on accroître la proportion de matériaux naturels extraits dans les déblais des ouvrages routiers réemployée en corps de remblai, en vue de limiter les dépôts et les emprunts de volumes très importants le plus souvent hors emprise de la route à construire ?
- peut-on mieux valoriser les sols trouvés dans l'emprise du projet pour leur faire développer des performances de portance de nature à réduire le dimensionnement des chaussées et donc les besoins en ressources non renouvelables externes au chantier ?

Pour poursuivre ces objectifs, il était nécessaire de connaître les pratiques correspondant aux diverses situations en matière de contrôle de chantier, afin de clarifier la relation entre spécifications et pratique effective de terrain.

Une enquête a donc été lancée en février 2001 auprès des 38 pays associés aux travaux du Comité 12 portant sur les classifications de sols de référence à travers les différents pays, sur la nature et l'état d'humidité des sols admis en remblai, sur les structures de plates-formes (partie supérieure de remblai et/ou couche de forme) propres à chaque pays et sur les spécifications et méthodes de contrôle d'acceptation et de mise en œuvre des remblais, des couches de forme et des réseaux de drainage. Les méthodes de contrôle de pose du drainage ont été ajoutées, car une enquête finalisée par un article de Routes/Roads N° 306 d'avril 2000 («résultats d'enquêtes sur les pathologies des remblais en service») avait montré que beaucoup des désordres observés en remblai avaient pour origine des défauts de drainage et d'assainissement superficiel et il est donc apparu opportun d'ajouter ce paramètre à l'enquête.

Malgré tout l'intérêt que cela aurait présenté, il semble utile de souligner que ce rapport n'a pas abordé les pratiques de réemploi en ouvrage de terrassement des déchets et sous-produits. Le champ couvert par notre sujet était déjà très vaste d'une part et d'autre part une telle enquête n'aurait pu se cantonner aux aspects techniques, devant aussi se référer aux législations complexes en vigueur qui sont souvent plus contraignantes que la simple compatibilité technique avec les exigences fonctionnelles de l'ouvrage.

Treize pays ont répondu de façon détaillée à cette enquête : l'Allemagne, l'Angleterre, la Belgique, le Canada, la Croatie, Cuba, l'Espagne, les Etats-Unis d'Amérique, la France, l'Italie, le Japon, le Portugal et la Suisse.

Cette enquête apporte une masse d'informations importantes et pas toujours aisément comparables d'un pays à l'autre car les pratiques sont parfois complexes, elles peuvent parfois différer des spécifications strictes car adaptées au terrain et aux circonstances par ceux qui les utilisent, les méthodes et essais utilisés pour caractériser les pratiques présentent des différences parfois non négligeables d'un pays à l'autre sous le même nom... Cependant il semble que les éléments collectés permettent de dégager des conclusions intéressantes qu'il serait profitable d'approfondir pour améliorer la performance des projets de terrassement.

Les classifications de sols utilisées pour les travaux de terrassement semblent pouvoir être classées en 3 types :

- les classifications assez générales souvent dérivées des classifications américaines USCS et HRB, utilisées pour définir des classes de sols auxquelles des conseils d'emploi sont associés laissant au géotechnicien la responsabilité de déterminer les conditions de réemploi en tenant compte des particularités du projet (cas de l'Allemagne et de la Suisse par exemple) ;
- les classifications spécialisées associées à une grille de réemploi non nécessairement imposée au projeteur, mais dont il semble qu'on n'y déroge qu'en cas d'impérieuse nécessité. Ces classifications peuvent être encore basées sur les classifications USCS et HRB (par exemple l'Italie, le Portugal), le plus souvent adaptées, mais aussi sur des classifications originales créées spécifiquement pour les besoins des terrassements comme en Espagne ou en France ;
- les classifications de besoins et non de sols comme celle de l'Angleterre qui a défini des spécifications auxquelles doivent répondre les sols pour être compatibles avec une partie d'ouvrage donnée, un même sol pouvant ainsi satisfaire aux critères énoncés pour plusieurs classes d'usage. Une telle «classification» est en fait une spécification.

On peut remarquer que beaucoup de pays utilisent une classification de sols propres aux travaux de terrassement et pouvant différer très notablement des classifications de sols utilisées couramment dans d'autres domaines (par exemple en mécanique des sols).

L'admission des sols en remblai varie d'un pays à l'autre. L'état d'humidité des sols est le plus souvent caractérisé par rapport à l'optimum de teneur en eau déterminé par l'essai Proctor de référence (le plus souvent Proctor normal, mais parfois aussi le Proctor modifié ce qui donne des différences assez importantes). Les seuils au-delà desquels la mise en œuvre est prohibée varient d'un pays à l'autre apparemment dans des proportions assez importantes pour les sols trop humides. Pour les sols les plus secs (très difficiles à compacter en vue de remblais stables), peu d'informations sont fournies. Il faut souligner que pour remédier aux sols trop humides, la plupart des pays utilisent le traitement à la chaux permettant une mise en œuvre satisfaisante.

Les sols jugés trop plastiques pour être mis en remblai peuvent être déterminés par un seul seuil, par exemple pour l'Angleterre (limite de liquidité supérieure à 90 ou indice de plasticité supérieur à 65), pour la Croatie (limite de liquidité supérieure à 65 ou indice de plasticité supérieur à 30), pour le Canada, l'Italie et la Suisse (plus de 50 % de fines) ou par plusieurs seuils simultanément, par exemple pour l'Allemagne et le Portugal (plus de 40 % de fines, limite de liquidité supérieure à 50 et position du point dans le diagramme de Casagrande), pour la Belgique (plus de 50 % de fines et indice de plasticité supérieur à 12), pour l'Espagne (limite de liquidité supérieure à 90 et indice de plasticité supérieur à $0.73 \times$ limite de liquidité - 14,6), pour la France (plus de 35 % de fines et indice de plasticité supérieur à 40).

De même, la taille des blocs les plus gros admis en remblai varie de 200 mm en Italie (voire pour certains sols 100 mm en Angleterre) à 1 200 mm aux Etats-Unis d'Amérique, avec le plus souvent une spécification de taille maximale compatible avec les épaisseurs de couche compactée allant de 50 % de cette épaisseur élémentaire à 100 %.

Les teneurs en matière organique admises dans les sols mis en remblai vont de 1 à 10 % au maximum.

Plusieurs pays ont mis au point des règles techniques pour le réemploi des roches évolutives, pour les roches solubles ou encore pour d'autres matériaux plus ou moins spécifiques à ces pays. Ces règles sont le plus souvent assorties de particularités de mise en œuvre basées sur des expériences contrôlées et donc intéressantes car bien justifiées.

L'admission des sols en partie supérieure de remblai et/ou en couche de forme comparée entre les pays présente un intérêt limité car le dimensionnement de cette partie présente une diversité témoignant de conceptions très différentes et c'est sans doute sur ce point que ce rapport peut être le plus bénéfique. La plupart des pays ayant répondu à cette enquête spécifient une couche de forme sur le remblai. Certains comme l'Angleterre et le Canada ont même intégré cette couche de forme dans la couche de fondation de chaussée, la partie inférieure (la sous-fondation au Canada) étant constituée de matériaux de terrassement, la partie supérieure relevant des travaux de chaussée. Parmi les pays réalisant une couche de forme, certains ne spécifient pas de précaution particulière pour la partie de remblai juste sous-jacente (par exemple l'Allemagne, la Croatie, le Japon ou la Suisse). D'autres pays ont des spécifications sur la couche de forme et aussi sur la partie supérieure de remblai (par exemple l'Angleterre, le Canada, Cuba, l'Espagne, la France, l'Italie ou le Portugal). Enfin certains pays n'utilisent pas de couche de forme, mais ont des spécifications propres à la partie supérieure de remblai (par exemple la Belgique et les Etats-Unis d'Amérique).

L'épaisseur de la partie supérieure de remblai à laquelle des spécifications particulières sont attribuées varie largement puisqu'elle va de 30cm habituellement au Canada, 40 à 85 cm au Portugal, 100 cm en Espagne, France, Japon et Suisse, 130 cm en Angleterre, 200 cm en Italie et 300 cm (10 pieds) aux Etats-Unis d'Amérique. La plupart du temps, les spécifications particulières à cette couche portent seulement sur la granulométrie plus fine du matériau admissible et sur un compactage renforcé. Certains pays ont aussi des exigences supplémentaires sur la portance et/ou sur la sensibilité à l'eau des sols employés, plus restrictives que pour les remblais.

La couche de forme varie aussi très largement en épaisseur et en nature dans les pays où elle est prévue. Son épaisseur semble le plus souvent ajustée aux besoins de chaque projet particulier. Toutefois, certains pays ont une exigence d'épaisseur fixe comme l'Italie (30 cm), le Japon (100 cm) ou la Suisse (60 cm). La nature des matériaux admis vise généralement des sols peu sensibles à l'eau avec une granulométrie adaptée aux objectifs de nivellement (le plus souvent ± 2 cm à ± 3 cm). Hormis le cas des matériaux traités aux liants, on trouve ainsi que l'Angleterre exige moins de 15 % de passant à 63 μm , la France moins de 12 % à 80 μm , le Portugal moins de 20 % à 75 μm , l'Espagne et l'Italie moins de 35 % respectivement à 80 et à 75 μm , ces exigences de pourcentage de fines étant associées à des seuils plus ou moins restrictifs sur la plasticité des fines. Par contre l'Allemagne requiert les mêmes sols qu'en remblai (mais en spécifiant une portance minimale, ce qui *ipso facto* peut rendre certaines catégories de sols admises en remblai impropres à la couche de forme). Comme dans le cas de l'Allemagne évoqué ci-avant, les exigences de nature sont aussi complétées par l'exigence de portance finale qui n'est souvent pas compatible avec n'importe quel sol. Malheureusement ce critère ne peut être exploité pour comparer les pratiques des pays entre eux car les standards de contrôle sont presque tous différents et de plus on ne précise pas si la portance spécifiée doit être mesurable *in situ* quel que soit le temps.

Les exigences relatives à la mise en œuvre en remblai et en couche de forme varient également entre les pays tant dans l'objectif de compactage à atteindre (en remblai entre 90 et 100 % du Proctor normal suivant les pays, suivant les sols et parfois suivant la position dans le remblai ; c'est parfois la référence du Proctor modifié qui est utilisée, mais en général avec un objectif réduit par rapport à la référence au Proctor normal), que dans la nature des contrôles (le plus souvent en densité quand elle est mesurable, c'est à dire lorsque le sol n'est pas trop grossier) et dans la fréquence de ceux-ci. Peu de pays pratiquent le contrôle des moyens pour s'assurer de la qualité des résultats soit directement d'après les spécifications (cas de la France) ou par corrélations établies en chantier (cas de l'Allemagne) et de ce fait ont des temps de réponses des contrôles trop longs ne permettant de redresser le fonctionnement d'un chantier non satisfaisant sans le plus souvent permettre une rétroaction sur les ouvrages déjà réalisés compte tenu des cadences de production et de l'importance des ouvrages de terrassement. Il faut aussi noter que dans le cas des matériaux grossiers non compatibles avec l'essai Proctor, les méthodes de contrôle ne sont pas totalement satisfaisantes (excepté le cas du contrôle des moyens) car le plus souvent basées sur une mesure de déformabilité qui n'est pas sensible qu'à l'état de compactage. Certains pays (Allemagne, Japon) ont développé un contrôle intéressant basé sur un objectif de pourcentage de vides.

Les exigences relatives à la mise en œuvre en couche de forme sont assez voisines (la masse volumique apparente sèche visée est le plus souvent voisine de 100 % de celle de l'optimum Proctor normal ou de 95 % de celle de l'optimum Proctor modifié ce qui est du même ordre). Les objectifs de portance semblent varier assez notablement, mais la multiplicité des modes opératoires propres à chaque pays ne permet pas une comparaison sérieuse.

Enfin, l'enquête sur les contrôles de pose des réseaux de drainage paraît démontrer que des progrès importants peuvent être faits dans la rigueur de la réception de ces ouvrages. Ceux-ci représentent souvent un investissement assez important et surtout constituent un élément très sensible pour la pérennité de l'ouvrage. L'enquête sur la pathologie des remblais en service évoquée plus haut qui avait montré que beaucoup de pathologies trouvaient l'une au moins de leurs origines dans le drainage ou l'assainissement, renforce cet objectif.

COLONNES SUPPORT DE REMBLAIS

Un réseau routier efficace est une nécessité économique pour la plupart des pays. Cependant, ces dernières années, les usagers ont subi à la fois les effets du vieillissement et de la dégradation des routes, ainsi que l'augmentation du volume de la circulation. L'élargissement des routes existantes et l'augmentation de la capacité du réseau par des constructions nouvelles posent souvent des problèmes exceptionnels. Dans de nombreux cas, les terrains restants ne sont pas économiquement viables pour un usage commercial. La plupart du temps, il s'agit de sols mous ou contaminés, nécessitant une amélioration importante pour qu'ils puissent supporter un remblai routier.

La technique des colonnes support de remblais connaît de plus en plus de succès ces dernières années, notamment pour des raisons économiques. Cette technique permet la construction de remblais sur des sites qui, sinon, ne conviendraient pas pour des charges importantes. Les avantages en sont notamment la réduction des tassements et de la pression des terres, ainsi que la possibilité de construire des remblais en une seule phase.

La technique des colonnes support de remblai est appliquée occasionnellement depuis 60 ans, et s'est considérablement développée dans le monde grâce aux progrès et aux améliorations réalisés récemment. Le C12 a décidé d'étudier plusieurs de ces techniques et de résumer l'état de l'art de la pratique aujourd'hui.

Le rapport final, rédigé par le C12, couvre les points suivants :

- méthodes de conception et de construction,
- études de cas,
- mode de décision pour le choix d'un système de colonnes de support de remblai,
- conclusions générales et recommandations,
- futures orientations et besoins en matière de recherche.

Les techniques étudiées dans le rapport comprennent les colonnes de graviers, les colonnes de béton vibré, la stabilisation combinée avec des colonnes verticales et les colonnes renforcées par des supports géosynthétiques.

REFERENCES

1. Elias, V, Welsh, J and Lukas, J. FHWA Demonstration Project : *Ground Improvement Technical Summaries*, Volumes I &II. Federal Highway Administration, Washington, D.C., 2001.
2. Kempfert, H.G., Stadel, M. and Zaeske, D. Design of Geosynthetic Reinforced Bearing Layers over Piles. Bautechnik #12, 1997.
3. Russel, D. and Pierpoint, N. An Assessment of Design Methods for Piled Embankments. Ground Engineering, pp, 39-44, 1997.
4. Slocombe, B.C., and Bell, A.L. Discussion-Settling on a Dispute. Ground Engineering, pp 34-36, 1998.
5. Tonks, D., and Hillier, R. Discussion-Assessment of Re-visited. Ground Engineering, pp 46-50, 1998.
6. Alexiew, D. FHWA-Bast Presentation : Reinforced Embankments on Piles or Columns, 2002.
7. Hillmann, R. FHWA-Bast Presentation : Project Study on Accelerated Construction with Regard to Bundesautobahn A26, 2002.
8. Li, Y., Aubeny, C. and Briaud, J.L. Draft FHWA Report : Geosynthetic Reinforced Pile Supported Embankments, 2002.
9. British Standard 8006, Code of Practice for Strengthened/Reinforced Soils and Other Fills, Incorporating Amendment No. 1, 1995.
10. Rogbeck, Y., Gustavsson, S., Sodergren, I., Lindquist, D. Reinforced Piled Embankments in Sweden – Design Aspects. Proceedings of the Sixth International Conference on Geosynthetics, 1998
11. Jenner, C.G., Austin, R.A. and Buckland, D. Embankment Support over Piles Using Geogrids. Proceedings of the Sixth International Conference on Geosynthetics, 1998.

PRISE EN COMPTE DU RISQUE DE GLISSEMENT DES PENTES

Le but de ce thème de travail était d'établir des recommandations pour l'évaluation des risques associés aux pentes en terre dans le domaine de la construction routière. Cette évaluation s'appuierait sur la mise au point d'un cadre d'évaluation des risques qui serait ensuite utilisé pour analyser et présenter des exemples d'expériences de réussite et d'échec.

Les précédents rapports AIPCR qui ont mené à cette étude :

- Erosion des sols pendant et après la construction (Marrakech, 1991)
- Glissements de terrain : techniques d'évaluation du risque (1997)
- Contribution à la gestion des risques des pentes existantes (M. Shimazu, 2000).

Par ailleurs, une enquête a été réalisée sur la pathologie des remblais en service (publiée dans Routes/Roads, n°306, II-2000) pour comprendre le comportement des remblais et commencer à évaluer l'échelle quantitative d'instabilité. A la première réunion du Comité technique C12 en mars 2000 à Paris, la prise en compte du risque de glissement des pentes a été définie comme un besoin majeur pour tous les pays, sous le thème conception et construction, et un programme de travail sur ce sujet a été mis au point.

Les aspects géotechniques d'une route englobent principalement : remblais et déblais, pentes renforcées et stabilisées, couche de forme sous le corps de la chaussée, fondations, terrassements respectueux de l'environnement et du paysage, drainage du sol et aménagements paysagers. Puisqu'il s'agit en majorité de matériaux naturels, il existe davantage de variabilité dans le comportement des ouvrages géotechniques, dans la sensibilité aux dégradations ou changements à long terme, que dans le cas d'autres matériaux (généralement fabriqués) utilisés pour construire d'autres éléments du réseau routier. Les conséquences de leur comportement peuvent avoir une influence significative sur les coûts et le calendrier de la construction, la sécurité, l'environnement, la performance et le coût sur la durée de vie de la route. En outre, les maîtres d'œuvre ont des obligations envers les riverains et le public en général en ce qui concerne la stabilité du sol, les eaux de ruissellement et les eaux souterraines. Il est difficile de prévoir et de comprendre l'évolution du comportement, mais le but doit être de développer un concept de «vie résiduelle» pour les ouvrages géotechniques d'une route qui permette l'évaluation effective et la mise en place de stratégies d'entretien valables.

Le C12 a concentré ses efforts sur les talus en remblai à cause de leur plus grande fréquence de rupture. On a constaté une amélioration dans les évaluations du danger et des risques de rupture des pentes. Le rapport final contient des conseils concernant le risque de glissement des pentes, complétés par des études de cas.

REFERENCES

Clayton C R I (2001). Managing geotechnical risk. Telford, London.

Duncan J M, Naven M and Patterson K (1999). Manual of geotechnical engineering reliability calculations.

FHWA SA-93-057 (1993). Rockfall hazard rating system. National Highway Institute.

Kong W K (2002). Risk assessment of slopes. Quarterly Journal of Engineering Geology, 35, 213-222.

Lo D O K (2002). Interim review of pilot applications of quantitative risk assessment to landslide problems in Hong Kong. GEO Report 126.

McMillan P and Matheson G D (1997). A two-stage system for highway rock slope risk assessment. Int. J. Rock Mech. And Min. Sci. 34. Elsevier Science Ltd.

Parkhurst S and Flavell R (2000). Risk assessment and quantification of slope condition based upon site inspection surveys. Railway Engineering 2000. UK.

Perry J, Pedley M and Reid, M (2001). Infrastructure embankments – condition appraisal and remedial treatment. CIRIA Report C550. Construction Industry Research and Information Association, London.

Schuster R L. Landslides : investigation and mitigation. Special Report 247 Chapter 2 Socio-economic significance of landslides. Transportation Research Board, National Research Council.

Shimazu A (2000). Contributions to risk management of existing slopes. PIARC Report.

Logiciels :

LYNX Geosystems Inc (Canada)

RocFall Rocscience Inc (Canada)

@Risk Palisadi Corporation (Australia, USA & Europe)

Sites internet :

<http://www.ggsd.com> - Geotechnical & Geoenvironmental Software Directory

<http://rru.worldbank.org/Toolkits/highways>

Kane A R (1999). Why asset management is more critically important than ever before.

<http://www.tfrc.gov/pubrds/marapr00/kane.htm>. Speech to the Asset Management Peer exchange, sponsored by AASHTO and FHWA.

CONCLUSIONS (PROJET)

Thème 1

- **Le contrôle de la pose et du fonctionnement des drains** devrait constituer un objectif de progrès important pour les maîtres d'ouvrage routier auquel pourrait contribuer l'AIPCR en développant des échanges puis des recommandations sur ce sujet, cause d'une grande partie de la pathologie des terrassements ;
- **La prise en compte plus ou moins forte du module des sols supports de chaussée** (partie supérieure des terrassements et couches de forme) dans le dimensionnement de la structure de chaussée conduit à des pratiques très différentes d'un pays à l'autre. Ce sujet mérite un approfondissement car il représente un enjeu significatif vis-à-vis d'une pratique vertueuse du développement durable (économie de ressources non renouvelables et de transport) ;
- **La coopération des approches terrassement et chaussée pour l'optimisation des investissements dans les routes économiques** (routes à faible niveau d'investissement, à faible trafic, à faible durée de vie et haut niveau d'entretien en site agressif, à faible disponibilité de matériaux nobles...) est apparue comme une urgence lors du séminaire tenu par le C12 à Oulan-Bator (Mongolie) pour répondre aux besoins des pays en développement, en transition ou/et en climat extrême avec des techniques surtout de terrassements (sols sélectionnés et améliorés) et un dimensionnement cohérent plutôt de type chaussée ;
- **L'intérêt d'une analyse critique par les pays membres des critères de refus des sols en remblai** semble évident, compte tenu des grandes disparités relevées entre les pays et que ne semblent pas toujours complètement justifier les particularités locales (climat, relief, etc.) ;
- **Le contrôle d'admission et de mise en œuvre des sols grossiers (non adaptés à l'essai Proctor)** apparaît souvent dépourvu de références techniques solides et de méthode de contrôle réellement fondée ;
- **La problématique des contrôles de terrassement et des conflits qui peuvent s'y rattacher met en évidence la nécessité d'études géotechniques** préalables suffisantes pour permettre à l'entrepreneur d'estimer équitablement sa prestation et prévenir ainsi des difficultés de gestion du contrat ;
- **Les objectifs de compactage tant en pourcentage de densité de la référence Proctor qu'en fourchette de teneur en eau admissible** diffèrent notablement d'un pays à l'autre sans que les raisons en soient toujours explicites. Un fondement scientifique de ces objectifs constituerait un réel progrès ;
- **Les méthodes et fréquences de contrôle** justifieraient des débats intéressants et sans aucun doute fructueux, car les pratiques devraient se fonder sur une analyse de risque aussi objective que possible, ce qui ne semble pas toujours le cas.

Thème 2

L'état de l'art actuel des diverses techniques de colonnes support de remblai peut se résumer comme suit :

Colonnes de graviers et de sable

- a) Cette technologie est au point, avec des protocoles détaillés de conception et de construction qui ont été établis et appliqués depuis de nombreuses années ;
- b) D'importantes améliorations ont été apportées aux équipements de construction. Ceux-ci ont un fonctionnement plus simple, plus rapide et plus efficace au niveau du placement des colonnes dans le sol ou sur l'eau ;
- c) Les limites d'emploi de cette technique (sols très mous) doivent être prises en compte. Il peut être utile d'emballer la colonne de graviers avec des géotextiles ;
- d) Les colonnes de sable peuvent être employées avec une enveloppe en géotextile. Pour ce système, il est important d'appliquer une conception spécifique avec le calcul des effets de consolidation et de la résistance nécessaire pour le géotextile.

Colonnes de béton vibré (VCC)

- a) Les colonnes de béton vibré sont mises en œuvre avec essentiellement les mêmes équipements que pour les colonnes de gravier. Les colonnes de béton vibré sont davantage utilisées dans le monde que les colonnes de graviers.
- b) Les avantages principaux en sont l'applicabilité sur sols très mous, le faible coût par capacité verticale et la capacité à former une couche continue par l'utilisation de colonnes «champignon» à la surface du sol.

Pieu vissé conventionnel et tarière continue

- a) L'emploi de matériaux géosynthétiques a permis d'améliorer considérablement la rentabilité de ces pieux à forte capacité (par rapport aux autres systèmes).
- b) La qualité et le coût de ce type de colonne se sont considérablement améliorés ces dernières années.
- c) Une conception spéciale du liant doit être effectuée pour chaque sol.

Injection de coulis

- a) Les conséquences du coulis superflu sur l'environnement restent à résoudre.

Toiles en matériaux synthétiques

- a) L'emploi du renforcement géosynthétique a considérablement diminué les coûts des remblais sur colonnes support. Les matériaux géosynthétiques permettent un plus grand espacement des colonnes sans avoir à utiliser de dalles en béton onéreuses ; ils rendent inutiles les pieux battus sur les pentes latérales et les pentes d'extrémité.
- b) Le protocole de conception n'est pas encore au point et il n'existe pas de norme unanimement approuvée. Il existe de nombreuses méthodes et certains pays (Grande Bretagne, Allemagne et Suède) ont mis au point des directives et des normes. Cependant, les méthodes varient selon les concepteurs de projet.
- c) Le contrôle et la qualité de la construction sont très importants pour la réussite d'un projet. Il faut des matériaux de qualité et prendre toutes les précautions pour ne pas endommager les colonnes et leur tête.

Thème 3

- Les enjeux suivants concernant le risque de glissement des pentes dans le domaine routier émanent du rapport AIPCR correspondant et des discussions lors du Séminaire «Gestion durable du risque de glissement des pentes sur les routes» qui s'est tenu au Népal au printemps 2003 ;
- L'éventail des problèmes est vaste : des dangers géotechniques les plus dangereux mettant en danger des vies et l'économie, à des gênes occasionnées, exigeant simplement des efforts d'entretien ;
- Les progrès dans la compréhension du comportement des pentes ont eu tendance à se concentrer sur les aspects mécaniques passés et actuels, et non pas sur la prévision d'instabilités futures ;
- Les techniques analytiques de prévision d'instabilité doivent faire l'objet d'évaluation et de développement ;
- Des études plus approfondies sont nécessaires sur les changements climatiques, la fréquence et la surface d'instabilité de pentes ;
- Les conditions et méthodes d'évaluation des risques (le produit de l'impact et la probabilité) sont maintenant bien au point. La compréhension du risque doit englober le cycle de vie d'une pente, de la conception à l'exploitation, en passant par la construction ;
- Il est important de choisir des 'normes' adaptées lors de l'évaluation de l'acceptabilité des risques. Ces 'normes' se rapporteront à la sécurité, au coût du cycle de vie, à l'impact sur l'environnement, à la fiabilité des déplacements et à la qualité de conduite ;
- Les pays en développement sont à la recherche de conseils sur le choix et l'application de techniques de prévention et d'aménagements, ainsi que sur l'évaluation des dangers et des risques ;
- La gestion des pentes sur l'ensemble d'un itinéraire de transport est une pratique relativement nouvelle, non pas sur un aspect technique, mais sur le plan de l'exploitation, de la planification et de la gestion efficace. La gestion des aspects géotechniques devrait faire partie d'une approche plus globale de la gestion des infrastructures routières.
- Gérer un réseau routier comme une entreprise, et fournir des données sur les besoins en matière de prévision de la performance : ces deux aspects doivent être définis afin de donner des conseils aux pays en développement.