

ASSOCIATION INTERNATIONALE PERMANENTE
DES CONGRÈS DE LA ROUTE

Secrétariat Général : 203, Boulevard Saint-Germain, Paris.

VIII^e CONGRÈS - LA HAYE 1938

1^{re} et 2^e sections réunies.

6^e Question.



L'Etude du sous-sol des Routes :

- a) **Détermination des propriétés du sous-sol : Méthodes d'essai, appareils de mesure.**
- b) **Influence de ces propriétés sur la construction des chaussées (fondations et revêtements) et sur leur entretien.**

RAPPORT

PAR

F. CAMPUS

Professeur à l'Université de Liège.

L'Etude du sous-sol des Routes :

- a) **Détermination des propriétés du sous-sol : Méthodes d'essai, appareils de mesure.**
 - b) **Influence de ces propriétés sur la construction des chaussées (fondations et revêtements) et sur leur entretien.**
-

Les conditions relatives à la bonne tenue du revêtement d'une route peuvent être résumées comme il suit :

- 1° Le sous-sol doit être stable et indéformable en toutes circonstances.
- 2° La fondation doit résister sans défaillance aux charges circulant sur la route.
- 3° La surface de roulement doit être unie, cohérente, résistante à l'usure et non glissante.

De ces trois conditions, la dernière est la plus moderne. Elle a acquis toute sa valeur par suite du développement de la circulation automobile. C'est sur elle que se sont acharnés, avec beaucoup de succès d'ailleurs, les efforts des ingénieurs des routes depuis le début du siècle. Le succès n'a pu être obtenu que grâce au concours de spécialistes : physiciens, chimistes et ingénieurs s'occupant de liants hydrocarbonés, d'émulsions, de silicates, de ciments, de bétons, etc. Les travaux des congrès internationaux de la route successifs permettent de suivre les étapes de cette collaboration et les progrès des ingénieurs des routes dans la connaissance et la mise en œuvre de ces matériaux pour la plupart entièrement neufs pour eux.

Le fait que leur attention se tourne à nouveau vers les deux premières conditions marque-t-il aussi une étape, celle de la conquête d'une maîtrise suffisante des méthodes permettant de résoudre la troisième? Ou bien la reconnaissance que cette dernière avait trop absorbé leur attention au détriment des deux autres, reléguées provisoirement au dépôt des accessoires. Quoi qu'il en soit, l'antériorité des deux premières conditions est certaine et leur permanence ne l'est pas moins. Sur ce point, l'avis d'un professeur peut ne pas paraître dépourvu de pertinence. L'obligation d'inculquer aux jeunes ingénieurs les

principes de construction des routes est bien propre à faire réfléchir sur l'importance du terrain d'assiette et de la fondation des routes. Ne l'apercevrait-on d'ailleurs pas suffisamment de soi-même que l'étude des classiques devrait en persuader à suffisance. Les nécessités les plus anciennes et premières des constructeurs de routes les confrontèrent de tout temps avec ces problèmes.

Une autre explication de l'intérêt nouveau manifesté pour ces questions peut être trouvée dans le développement rapide, au cours des dernières années, de la science dénommée mécanique du sol ou géotechnique. Cette influence est indéniable. Les progrès des sciences se répandent actuellement avec rapidité dans tous les domaines possibles d'application. La mécanique du sol, après une période de tâtonnements dans des voies assez divergentes, s'est raccordée à la suite de la voie classique ouverte par les grands pionniers qui ont nom : Coulomb, Bousinesq, Jean Réal et d'autres. Les problèmes de la poussée des terres, de l'équilibre des massifs pulvérulents ou cohérents, des remblais et talus de tranchées, enfin des fondations ont été repris à nouveaux frais avec une vigueur et une efficacité couronnées de résultats heureux. Cependant, en ce qui concerne l'application de ces principes et méthodes aux routes, une réserve importante s'impose. Dans un problème de fondations, par exemple, le mode d'action des charges imposées au terrain est relativement bien connu et leur répartition l'est aussi avec une approximation suffisante. Pour les routes, rien de semblable. On peut certes définir les charges susceptibles de parcourir la chaussée. Mais la répartition de ces charges sur le sol sous-jacent, dans toutes les positions qu'elles peuvent occuper, échappe jusqu'à présent à une analyse suffisamment exacte. L'appréciation des pressions transmises au terrain est donc déficiente. Par conséquent, les bases d'une application précise des enseignements de la mécanique du sol font défaut pour les routes. Par là, la construction des routes reste provisoirement un art plutôt qu'une science.

Cette remarque n'a pour but que de souligner la nécessité de promouvoir les études susceptibles d'éclairer la distribution des réactions entre les revêtements de routes et le sol sous l'effet de toutes les circonstances qui peuvent intervenir. Elle ne justifierait pas que les ingénieurs tardent encore d'accorder à nouveau une attention suffisante au terrain d'assiette des routes et à leur fondation.

D'ailleurs d'autres raisons permanentes que celle de la répartition des charges les y incitent. Ce sont surtout les problèmes relatifs à l'humidité du sol et éventuellement à l'action du gel. Leur importance varie beaucoup selon les régions. Le climat très tempéré de la Belgique n'y rend pas les phénomènes du gel très accusés. Celui de l'humidité y possède une importance certes plus grande, du moins suffisante, quoique les terrains franchement mauvais n'y soient pas aussi fréquents qu'en d'autres pays. Nous résumerons notre opinion en indiquant qu'en Belgique, le problème du sol pour les routes est moins d'ordre mécanique que d'ordre physique et structural. Ce sont d'ailleurs les caractères physiques et structuraux qui déterminent les qualités mécaniques des terres. De telle sorte que la considération de ces caractères n'écarte pas une appréciation suffisante des propriétés mécaniques, mais y constitue l'introduction la plus sûre.

Des laboratoires de géotechnique sont en voie d'édification en Belgique. A l'Université de Liège, le laboratoire d'essais des constructions du Génie Civil a organisé depuis 1937 un département de géotechnique. Ce laboratoire ayant depuis de nombreuses années une assez grande pratique des essais relatifs aux revêtements de routes, son département de terres a aussi consacré son attention à la question de l'assiette des routes.

Les méthodes et appareils applicables appartiennent à l'arsenal de la géotechnique générale. Cependant, il faut reconnaître qu'actuellement cet arsenal est encore encombré de méthodes et d'appareils assez hétéroclites et qu'une sélection y serait utile. D'après ce qui a été écrit plus haut, une sélection particulière doit y être faite pour l'étude du sol en vue de la construction des routes.

Il faut distinguer d'abord la nature générale des terrains : rocheux, graveleux, sableux, argileux, limoneux, vaseux, plus ou moins agglomérés ou pulvérulents, liés ou non. Le problème de la reconnaissance du sol est d'importance pratique surtout pour les terrains les plus médiocres. Il paraît superflu d'insister au sujet des terrains rocheux et graveleux. Les questions qui peuvent surgir à leur sujet sont d'ordre tout à fait concret. Si une reconnaissance générale s'impose, elle a trait surtout à la puissance suffisante des couches, à leur inaltérabilité (analyse chimique ou exposition aux intempéries et à l'action de l'eau), aux défauts d'homogénéité ou d'isotropie

(schistosité, etc.) à la circulation des eaux souterraines et à leurs effets éventuels.

Pour les terrains meubles, la question est beaucoup plus complexe. Un rapport limité de congrès international n'est pas un cadre qui permette son exposé complet. Force est de s'en tenir à un résumé assez bref, en renvoyant pour le reste à la littérature déjà abondante sur les méthodes et appareils géotechniques et en particulier, à la description détaillée du laboratoire de géotechnique de l'Université de Liège, à paraître ultérieurement.

L'étude des sols pour routes comporte une partie *in-situ* et une partie au laboratoire.

L'examen *in-situ* ne peut se borner à la surface d'assiette. L'emploi d'appareils d'empreinte destinés à déterminer une sorte de résistance en surface n'est guère effectif. Les résultats dépendent notamment d'une manière excessive de l'état de surface, c'est-à-dire des conditions atmosphériques et des traitements subis : ameublissement par la fouille, consolidation par charriage, circulation, cylindrage, pilonnage, etc. D'ailleurs un examen ou même un prélèvement de surface ne sont pas suffisants. Les prélèvements d'échantillons doivent se faire, estimons-nous, jusqu'à 2 ou 3 mètres sous la surface d'assiette, selon la nature plus ou moins solide du terrain. Eu égard à l'opinion exprimée sur le manque de pertinence de facteurs purement mécaniques, nous pensons qu'il ne peut pas s'agir uniquement d'essais de compression tels que les empreintes au cône à diverses profondeurs, mais surtout de prélèvements d'échantillons par sondage sur toute la hauteur indiquée ci-dessus.

Pour les terrains pulvérulents non liés (sableux, graveleux ou vaseux) ces échantillons prélevés peuvent être perturbés, ameublis par le procédé de prélèvement, toutes les précautions d'usage étant d'ailleurs observées et toutes les observations utiles notées. Pour les terrains cohérents (argileux) ou agglomérés, les échantillons seront prélevés à l'état vierge, non perturbé, soit au moyen d'appareils de sondage spéciaux, d'emploi d'ailleurs délicat, soit, selon la profondeur, au moyen de fouilles de reconnaissance, système qui dans certains cas peut être finalement le plus pratique. Les échantillons ramenés au laboratoire, perturbés ou non, seront soumis aux essais physiques, chimiques, structuraux et éventuellement mécaniques suivants :

1. — Poids spécifique apparent, à l'état d'humidité naturelle;
2. — Poids spécifique absolu;
3. — Humidité en poids (on en déduit la porosité du terrain et la partie du volume des vides remplis d'eau);
4. — La perméabilité (éventuellement);
5. — L'ascension capillaire;
6. — L'absorption d'eau maximum;
7. — La composition chimique (dosage en Si, Al, Ca, métaux);
8. — La composition minéralogique (au microscope);
9. — La composition granulométrique, principalement par tamisage pour les sables, par lévigation ou aréométrie pour les grains les plus fins (< 0,15 mm.) et les argiles;
10. — L'essai de consolidation à l'oedomètre (à l'état d'humidité naturelle ou sous eau selon les cas) pour les terres argileuses ou cohérentes non remaniées, éventuellement pour les terres de remblai remaniées;
11. — L'essai de cisaillement sur terres remaniées sableuses (éventuellement);
12. — L'essai de compression simple sur cylindres vierges de terres cohérentes (éventuellement);
13. — L'essai d'empreinte au cône ou à la bille pour les mêmes terres;
14. — Eventuellement l'essai de compression triple sur des cylindres de terres non remaniées de même nature.

Les essais mécaniques 10 à 14 se feront, le cas échéant, pour plusieurs degrés d'humidité bien déterminés et, pour les terres remaniées, à divers degrés de consolidation.

Les appareillages des essais physiques, chimiques ou minéralogiques sont les appareillages classiques des laboratoires : étuves, balances, picnomètres, microscopes, tamis standard. Les appareils de lévigation sont plus spéciaux. Le laboratoire de Liège utilise les aréomètres de Bouyoucos, disposés dans un bain thermostatique, ainsi que le flouromètre de Kühl-Czernin, appareil employé pour les ciments. Pour la perméabilité et la

capillarité, des appareils spéciaux aux laboratoires de mécanique des terres. Ils ne seront pas décrits ici, non plus que les appareils mécaniques, dont l'oedomètre est le plus satisfaisant. Les appareils de cisaillement de même que l'appareil de compression triple sont plus sujets à caution et constituent davantage des appareils de démonstration ou de recherche que des instruments d'essais pratiques.

D'après l'expérience du laboratoire de Liège, l'essai de compression simple sur cylindres de terres cohérentes non remaniées est l'un des plus pratiques et des plus efficaces. L'essai à la bille ou au cône graissés peut en être un complément, mais il ne donne pas toujours des résultats concordants. Les discordances peuvent même être considérables, par suite de phénomènes complexes, tels qu'un durcissement de surface par dessiccation ou changement de répartition d'humidité, par frottement, etc. (1).

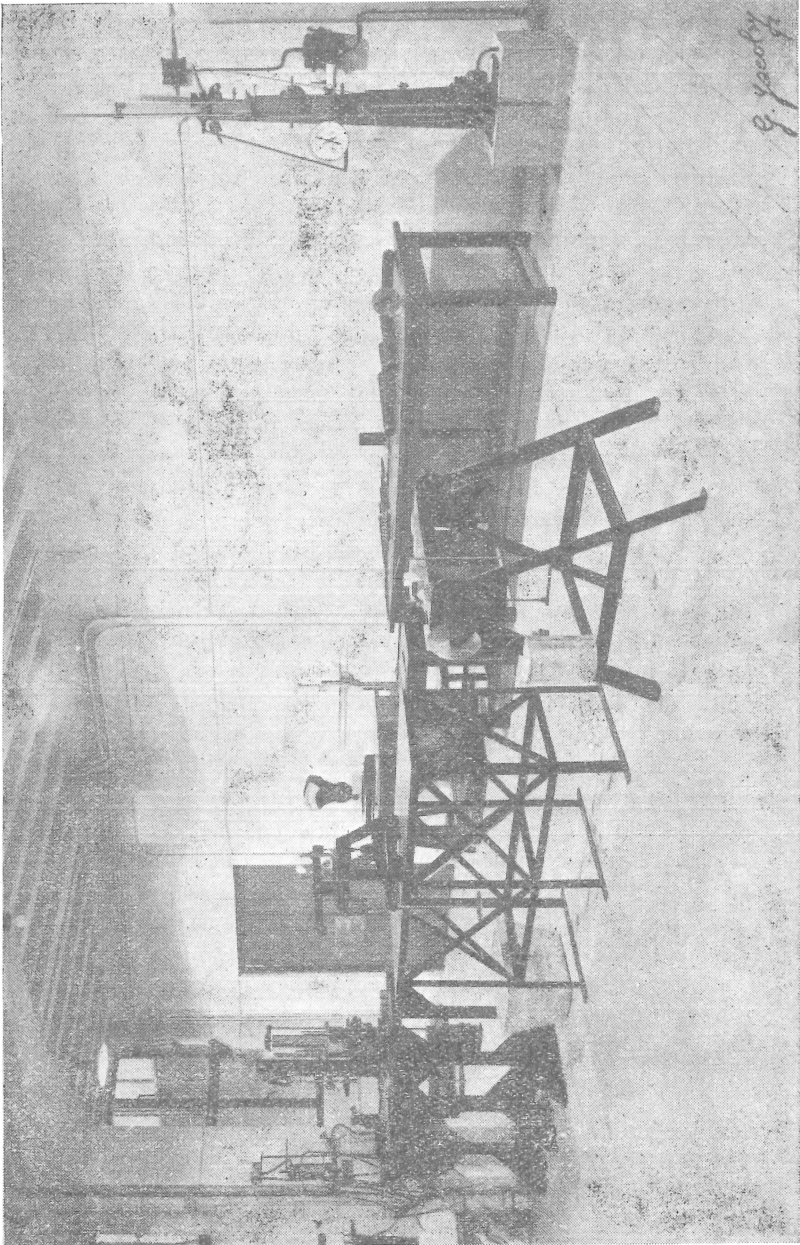
Ces essais mécaniques ont pour but de déterminer des facteurs spécifiques qui sont la cohésion (ou résistance spécifique au cisaillement) et le coefficient de frottement interne (1).

Pour les essais de compression simple et d'empreinte, au lieu d'employer les appareils particuliers des laboratoires de géotechnique, utilisant des poids, le laboratoire de Liège a trouvé qu'il était beaucoup plus commode et plus exact d'utiliser une presse Amsler de 300 kg. à dynamomètre pendulaire (fig. 1).

Pour l'étude des remblais, notamment le contrôle de leur consolidation artificielle, aux essais de laboratoire sur terres remaniées, s'ajouteront utilement des essais conjugués d'empreinte au cône sur le chantier. Les essais de laboratoire permettront, pour ainsi dire, une mesure indirecte du degré de consolidation par la résistance décelée au cône, cette mesure s'effectuant en profondeur et pas seulement en surface.

Il est certain que les résultats de ces essais ne peuvent constituer une fin en soi, si tant est qu'une science aussi orientée vers l'application que la géotechnique puisse le permettre en aucun cas. Ces études entraînant nécessairement une certaine dépense, elles doivent tendre à une meilleure économie générale de l'établissement de la route, en réagissant sur l'étendue des dispositions de drainage, sur l'importance de la fondation, sur des corrections éventuelles des couches supérieures du sol, qui

(1) Voir F. CAMPUS, *Détermination des caractéristiques mécaniques des terres argileuses*. Congrès national des sciences, Bruxelles, 1935.



participent en quelque sorte à la fondation, ou au drainage ou à l'isolement contre le gel. Seulement, ce serait une erreur d'envisager l'économie uniquement sur les frais d'établissement de l'assiette, du drainage et de la fondation. Il faut aussi considérer, et dans la mesure prépondérante, les frais de maintenance et d'entretien de la route et de ses accessoires (drains, fossés, accotements, aqueducs, etc.). A cet égard et en raison de l'indétermination des actions mécaniques entre le sol et la fondation, tout en considérant que la disposition des drainages et fondations doit rationnellement s'établir en meilleure connaissance de cause après étude préalable du sol, il faudrait cependant se méfier d'interprétations trop strictes, attendu que toute rigueur de caractère mathématique fait défaut. Les études géotechniques ne peuvent justifier des décisions téméraires en matière de fondation de routes; elles doivent plutôt y introduire plus de discernement et contribuer, avec tous les perfectionnements acquis dans l'établissement du revêtement superficiel, à mettre l'ingénieur à même de construire désormais des routes meilleures encore, c'est-à-dire de conservation plus garantie, plus durable et plus économique. Elles permettront aussi la correction définitive de beaucoup de routes établies trop hâtivement au point de vue de l'assiette au cours des dernières années. Sous ce rapport, la décision récente prise en Belgique de donner aux nouvelles routes en béton de grande voirie une épaisseur uniforme de 23 cm. confirme l'opinion que nous avons déjà publiée en 1928 (F. Campus. — Rapport relatif au V^e Congrès international de la route à Milan. Revue Universelle des Mines 15 janvier, 1^{er} et 15 février 1928) en faveur des routes en béton de forte épaisseur. Il faut d'ailleurs prendre garde de réserver l'avenir, eu égard à l'augmentation probable des charges des véhicules.

L'étude du sol, avec le concours des laboratoires, doit aussi réapprendre aux ingénieurs des routes, une meilleure appréciation des influences physiques : climat, eaux souterraines et météoriques, gel, etc.

Tous ces éléments justifient qu'elle soit remise à la place qui lui revient depuis toujours, une des plus fondamentales. Ses progrès récents lui permettent de remplir désormais son office avec autant d'assurance et des méthodes aussi scientifiques que l'étude des revêtements superficiels.