

ETUDE SUR LE SOL DE TUNIS

Tunis se développe vers le lac sur des terrains sédimentaires en cours de consolidation sur lesquels il est souvent difficile d'asseoir des fondations solides.

La réussite du bâtisseur repose à la fois sur une connaissance exacte des propriétés mécaniques du sol et sur l'application de techniques modernes de construction.

Pour comprendre la nature du sous-sol de Tunis, il est nécessaire de connaître son histoire géologique.

La ville est construite sur une faille qui marque la limite d'une zone d'effondrement dans laquelle s'est précipitée la mer à la fin de l'ère tertiaire (plan N° 1).

Alors que les hauteurs du Belvédère, de la Kasbah, de Montfleury, etc... révèlent par des effleurements leur infrastructure tertiaire (éocène, pliocène), recouverte par des couches du quaternaire ancien, les terrains voisins du rivage ne sont constitués jusqu'à une très grande profondeur, que de sédiments récents.

Des sondages géologiques effectués à Djebel-Djelloud, rue Kléber et Cité-Jardins ont mis en évidence l'importance de l'affaissement qui accuse une dénivellation variant de 160 à 350 mètres.

De ces éléments, on peut déduire un classement approximatif des sols suivant les trois zones indiquées sur le plan n° 2 :

1°) Une zone située à l'Ouest de la cassure géologique formée de couches anciennes d'argiles rouges et grises alternées, de sables et de grès.

2°) Une zone intermédiaire, établie à l'emplacement de la faille, constituée de terrains tertiaires effondrés mélangés à des dépôts quaternaires récents.

3°) Une zone située à l'Est de la faille, en bordure du lac, de formation sédimentaire non consolidée et constituée jusqu'à une grande profondeur de vases bleues plus ou moins fluentes, renfermant à différents étages des dépôts de sables lenticulaires.

C'est dans cette troisième zone que se posent au constructeur les plus difficiles problèmes de fondation.

Une visite des quartiers situés à l'Est du grand axe, Avenue de Carthage-Avenue de Paris donne déjà un moyen d'apprécier sur place les conséquences de l'inconsistance du sol.

On remarque par exemple :

— Que la densité des immeubles va en décroissant rapidement dans la direction du lac;

— Qu'il en est de même en ce qui concerne leur hauteur;

— qu'au delà des limites de l'ancien rivage reporté sur la carte (plan n° 3), les terrains récemment remblayés ne sont pour ainsi dire pas bâtis.

D'autre part, on constate d'importants tassements qui mettent parfois les rez-de-chaussées en contre-bas de la voirie, des déversements qui empiètent sur le gabarit autorisé ou sur la mitoyenneté et qui compromettent dangereusement la stabilité de l'ouvrage, enfin de graves lézardes susceptibles d'entraîner des accidents.

Quelles sont les raisons d'une telle situation ?

Elles proviennent sans doute souvent du peu de soin apporté par le constructeur à l'établissement de ses fondations, mais surtout de la faible portance du sol et des tassements qu'il est susceptible de subir.

Dans la zone considérée, en effet, le taux de travail admissible par les terrains est compris entre 200 et 400 grammes et les couches de vase susceptibles de tassements sont considérables.

Il serait donc impossible dans ces conditions de construire suivant les règles de l'art avec des procédés rentables, si une étude systématique des sols ne permettait aujourd'hui, grâce aux méthodes géotechniques nouvelles, de prévoir le comportement des ouvrages sous l'effet des charges de surface et des réactions qu'elles provoquent.

Ces méthodes permettent soit de stabiliser le sol d'assise pour recréer les conditions normales d'exécution des fondations, soit d'adapter les fondations aux propriétés particulières du terrain conformément aux règles de la mécanique des sols.

Parmi les procédés de consolidation, il en est de traditionnels qui ont été utilisés largement à Tunis et qu'il est bon de rappeler.

Le plus simple et le plus courant consiste à exécuter à l'emplacement prévu pour la construction un massif constitué par un mélange de terre et de chaux grasse de deux à trois mètres d'épaisseur.

Ce mélange appelé résame a l'inconvénient de ne durcir que très lentement, ce qui oblige à ne construire au-dessus qu'un an après sa mise en œuvre.

Le procédé a l'avantage d'absorber les effets de poinçonnements et d'empêcher, grâce à l'imperméabilité du mélange, la consolidation par le haut des couches argileuses ou vaseuses sur lesquelles il repose; par contre, il alourdit l'ouvrage et peut provoquer des affaissements par refoulement périphérique des vases fluentes, c'est pourquoi son emploi doit être limité à des constructions ne dépassant pas trois étages dans lesquelles les charges sont réparties de façon uniforme.

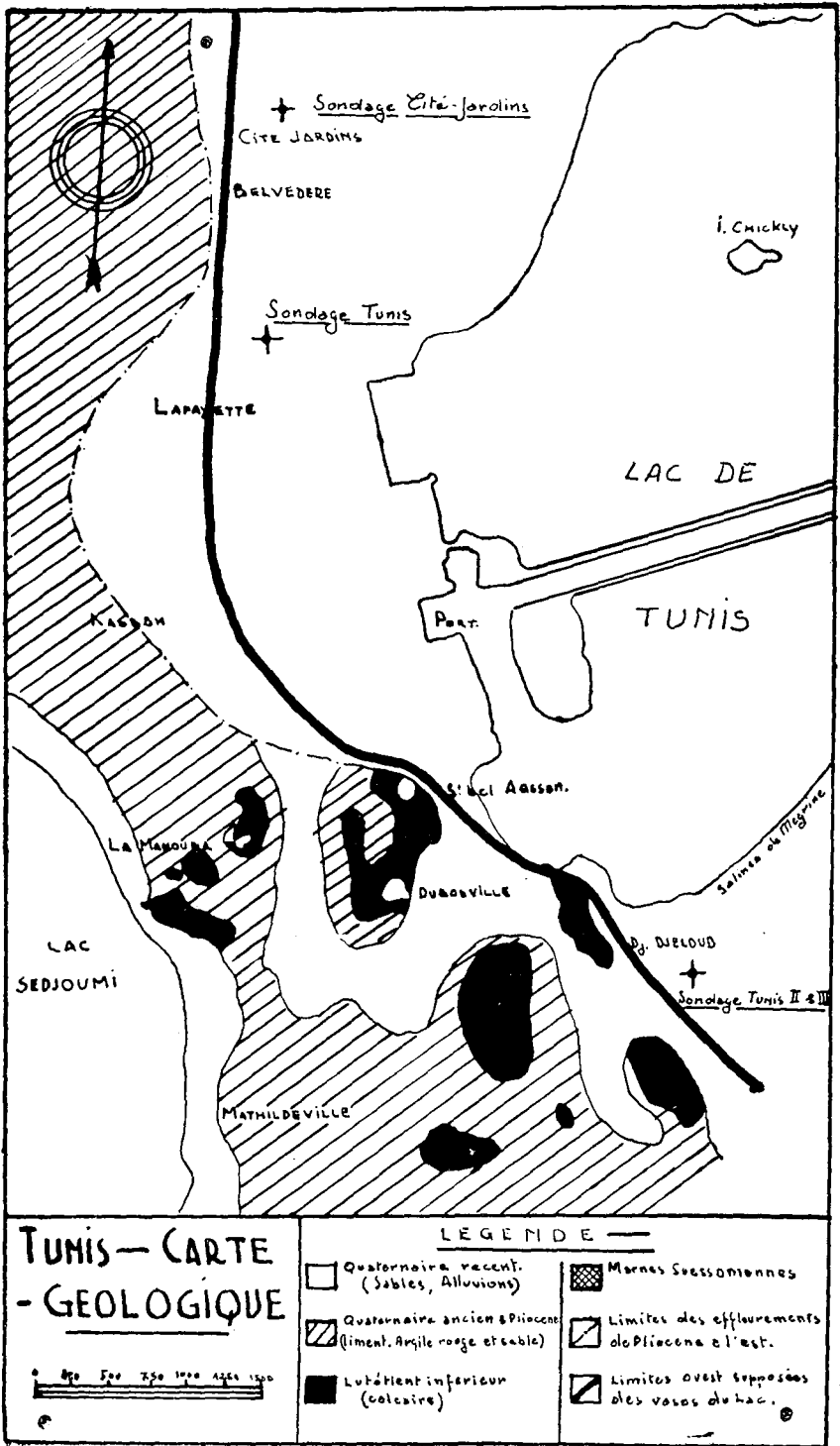


Fig. N° 1

Il est nécessaire de dire également quelques mots d'un autre procédé traditionnel qui fut très employé à Tunis pour la consolidation des sols argileux compacts.

Ce procédé consiste à pratiquer le resserrage du sol par battage à refus de pieux d'eucalyptus.

Des monuments et immeubles importants ont été fondés dans ces conditions : la Cathédrale, le Théâtre, la Dépêche Tunisienne, etc...

Pour améliorer la surface de réparation, ce procédé a été combiné dans la plupart des cas avec le radier de résame ou de béton dans lequel la tête des pieux était noyée.

Il est probable, toutefois, que ce procédé ne pourrait réussir dans les vases de la zone étudiée car le fonçage de pieux dans un sol plastique entraîne en général un remaniement défavorable sans resserrage réel.

En fait, ces méthodes traditionnelles ne sont pas satisfaisantes et les constructeurs qui veulent réaliser une consolidation du sol convenable doivent faire appel à des méthodes scientifiques.

Parmi celles-ci, on a utilisé avec succès en Europe et en Amérique la stabilisation de sols de vases par un procédé qui consiste à pratiquer des puits de sable dans le terrain à aménager de façon à réaliser des drains verticaux. Sous la pression propre du terrain et des surcharges qu'on lui applique, l'eau remonte dans les puits et s'évacue en surface par une couche filtrante ménagée horizontalement.

On réalise la consolidation sous des charges égales au poids de la construction et l'on peut ensuite bâtir sans enregistrer de tassements notables.

Cette technique apparemment simple nécessite cependant une étude approfondie de la granulométrie des matériaux en présence. Il est à noter également que le tassement peut être très lent malgré l'accélération considérable qui lui est imprimée.

Une autre procédé scientifique de consolidation des sols vaseux qui a donné des résultats excellents mais qui est très onéreux est le procédé dit par électro-osmose.

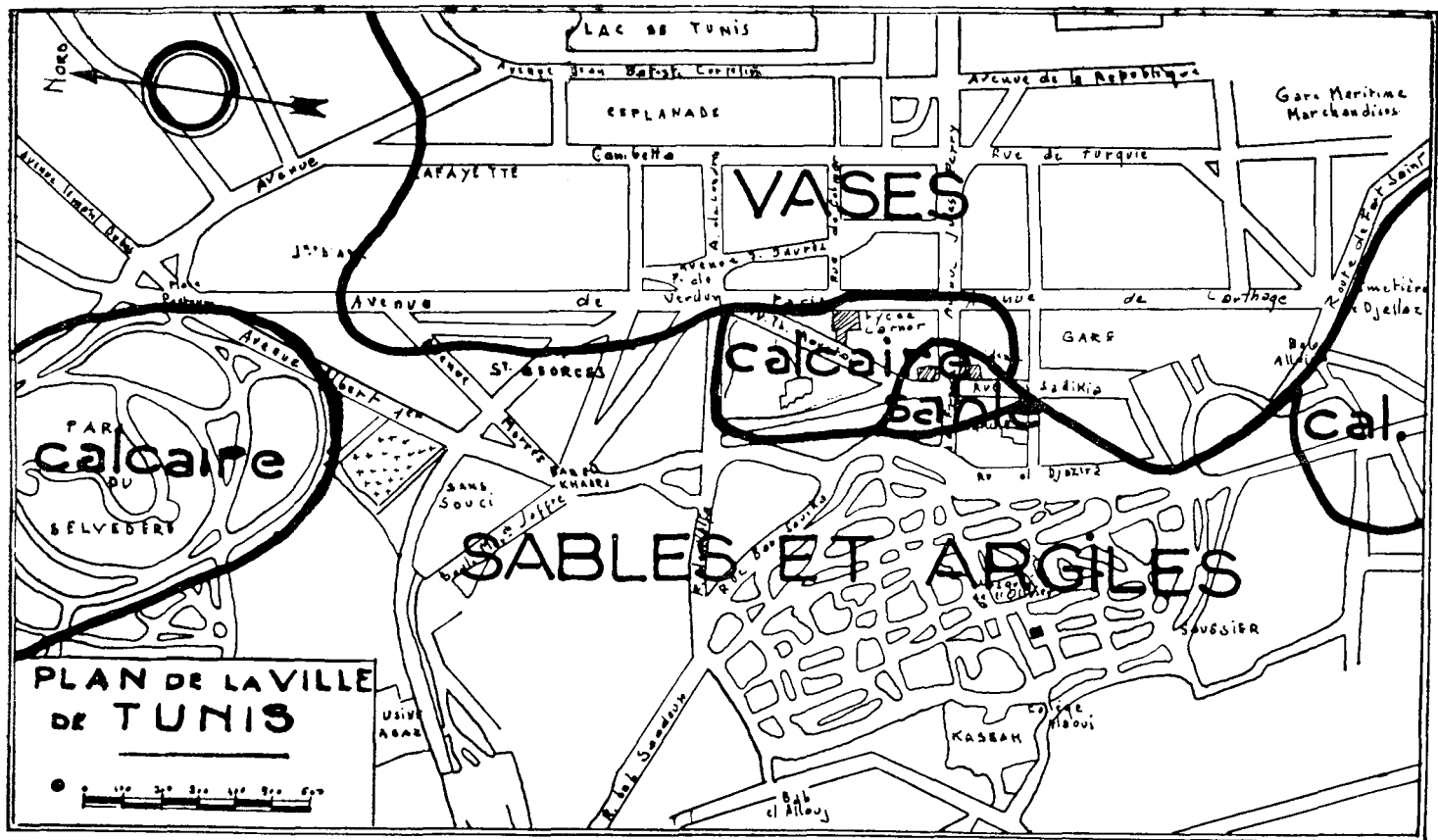
Son principe est basé sur l'action que produit un courant électrique sur les molécules d'eau retenue par les vases.

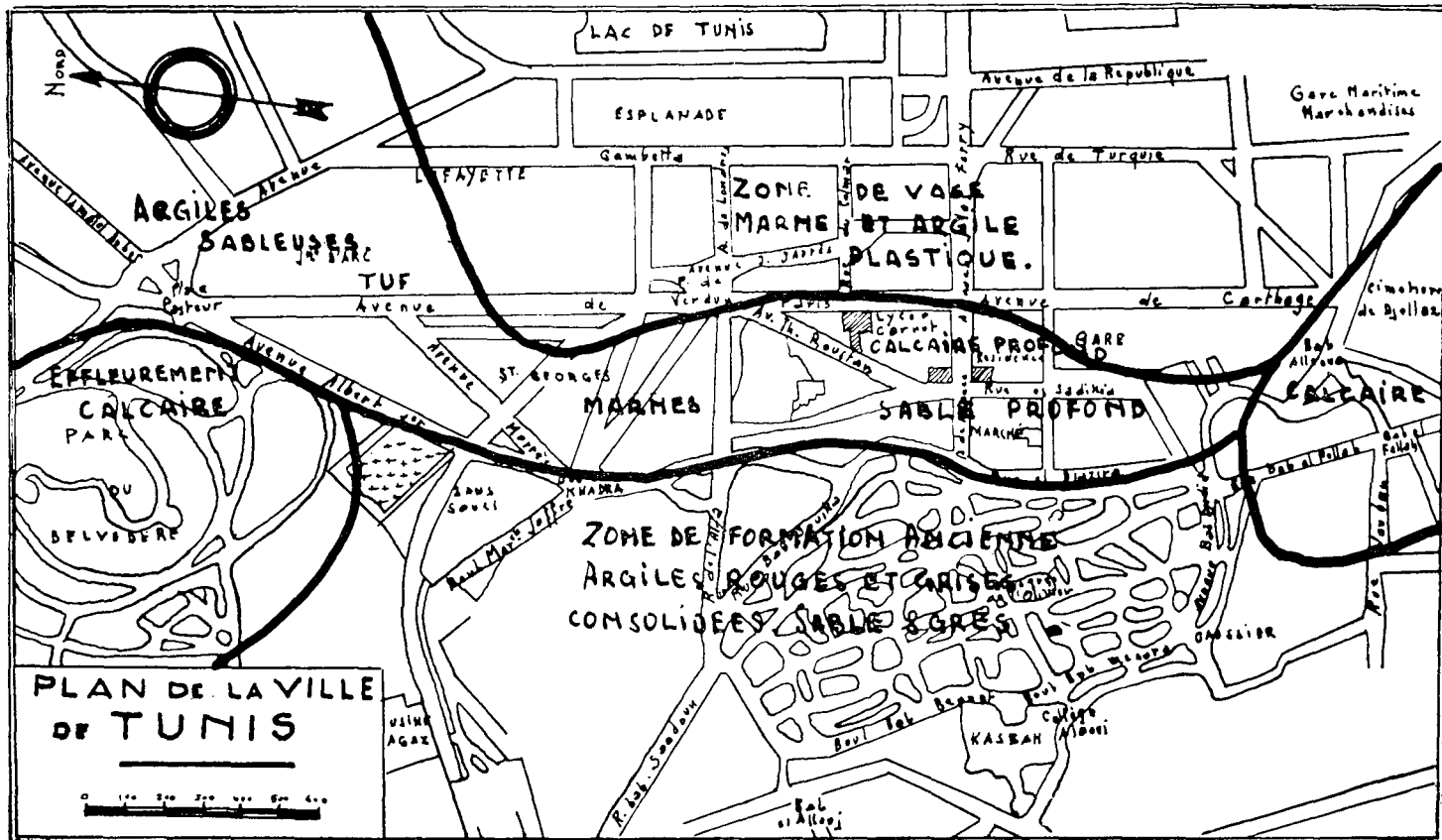
Sous l'effet du champ électrique, ces molécules se déplacent de l'anode vers la cathode et il suffit d'entourer cette dernière d'une crépine pour recueillir l'eau et l'évacuer à l'aide d'une pompe.

Malheureusement, ce procédé entraîne une consommation élevée de courant.

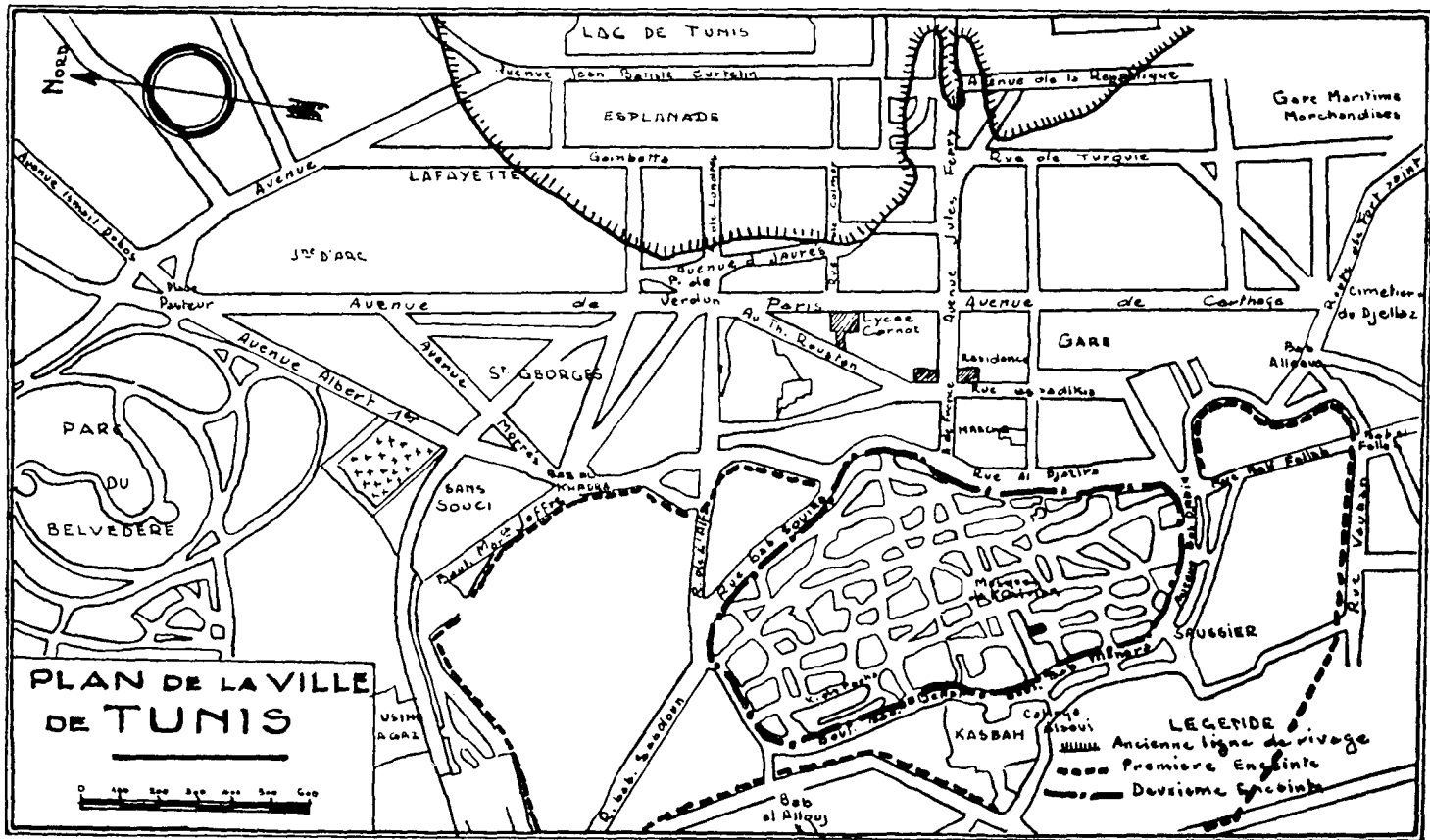
Il existe également des procédés de consolidation qui reposent sur l'action chimique de certains éléments sur les sols. Malheureusement, ceux dont l'efficacité sur les terrains vaseux est actuellement reconnue entraîneraient à des dépenses excessives.

Il ressort de cette brève énumération que les modes de consoli-





Plan N° 2



dation scientifique des sols sont peu nombreux et d'une tactique peu courante.

Le constructeur est donc amené dans la plupart des cas à adopter les fondations aux propriétés mécaniques des terrains qui lui sont imposés.

Les solutions qu'il peut adopter sont classiques : elles consistent soit à reporter les charges jusqu'au bon sol par l'intermédiaire de puits ou de pieux, soit à répartir les charges sur le terrain de telle sorte que les pressions qui en résultent restent inférieures en tout point aux taux de travail admissibles du sol.

Ces solutions qui paraissent d'une réalisation facile en théorie le sont beaucoup moins dans la pratique, car ce que l'on appelle le bon sol est extrêmement rare à Tunis et les réactions des terrains plastiques sous l'effet des charges appliquées sont complexes.

Il est évident que dans la zone des terrains intéressés, la réalisation de ces modes de fondation serait particulièrement difficile, si les progrès effectués par la géotechnique depuis une vingtaine d'années ne permettaient pas soit de calculer dans certaines conditions les contraintes créées dans le sous-sol par les actions de surface soit de déterminer la résistance latérale des pieux.

La stabilité des fondations par radier ou par pieux sur sols compressibles dépend donc intimement de la connaissance des lois de la mécanique des sols.

Ces lois ou hypothèses fondamentales sont :

— La loi de Coulomb qui exprime que la résistance au cisaillement d'un massif cohérent est une fonction linéaire de la pression qui lui est appliquée.

— Les formules de Boussinesq qui donnent les composantes verticales des tensions provoquées par une charge concentrée sur un sol cohérent.

— Les formules de Froehlich qui généralisent les formules de Boussinesq pour un terrain pulvérulent.

— La loi de Darcy qui exprime la relation unissant entre deux points d'un terrain la vitesse du courant d'eau, la perméabilité et le gradient hydraulique, et dont on déduit le fait capital que les essais d'écoulement laminaire faits sous modèle réduit, restent valables.

Ces lois fondamentales sont intimement liées aux quatre coefficients caractéristiques des sols suivants :

- l'angle de frottement intense;
- la cohésion;
- la compressibilité;
- la perméabilité.

La détermination des coefficients caractéristiques du terrain que l'on veut, étudier est effectuée sur des échantillons intacts, prélevés par sondage dans chacune des couches compressibles reconnues.

Les sondages doivent être effectués sur une profondeur au moins une fois et demi supérieure à la plus petite dimension de l'ouvrage à réaliser.

Les essais qui déterminent l'angle de frottement et la cohésion sont pratiqués sur l'appareil de Casagrande; ils résultent directement d'une application de la loi de Coulomb.

La compressibilité des terrains et leur perméabilité se mesurent à l'œdomètre.

La compressibilité se déduit graphiquement de l'indice des vides sur la courbe des déplacements œdométriques.

La perméabilité résulte d'une application de la loi de Darcy.

Les caractéristiques du sol étant déterminées, on a la possibilité :

- grâce à l'angle de frottement et à la cohésion;
- soit de calculer par la formule de Froehlich la valeur de la charge maxima qui correspond à la limite des déformations élastiques;
- soit de calculer par la formule de Caquot la charge qui correspond au poinçonnement;
- grâce au coefficient de compressibilité et de perméabilité;
- soit de calculer le tassement total par les formules de Boussinesq;
- soit de calculer le tassement en fonction du temps par les formules de Terzaghi et Froehlich.

Le calcul des tassements par la formule de Terzaghi ne donne de bons résultats que pour les couches d'argiles anciennes.

Pour les terrains alluvionnaires, on peut appliquer la méthode de Buisman, qui est entièrement basée sur des essais de laboratoire.

Buisman a déduit d'essais œdométriques, systématiques que le tassement sous pression constante d'un échantillon est une fonction linéaire des logarithmes du temps qu'il comporte deux termes l'un relatif à la surcharge appelé tassement direct, l'autre dépendant du poids propre de l'élément appelé tassement séculaire.

Il suffit de prélever des échantillons intacts dans chaque couche du terrain et de les soumettre à la charge qui correspond au tassement séculaire pour déduire ensuite facilement le tassement dû à la surcharge.

En conclusion, l'exposé schématique qui précède prouve que l'on dispose actuellement de méthodes qui permettent de déterminer l'ordre de grandeur des tassements et leur allure en fonction du temps.

Il faut donc espérer que les constructeurs qui ont la possibilité d'établir des superstructures adaptées aux déformations du sol et éventuellement aux tassements inégaux, ne seront plus arrêtés par les terrains de vase de la zone basse de Tunis et hâteront le développement de ce quartier déshérité.

P. GUESDE,
Ingénieur au Commissariat
à la Reconstruction et au Logement.