

recosol

un didacticiel d'apprentissage de la reconnaissance des sols

RECOSOL, a courseware for soil investigation

AZZOUZ R., FAUGERAS J.C.

Assistants au Centre Universitaire des Sciences
et Techniques, Filière Génie Civil
Université de Clermont II*

Résumé

Le didacticiel présenté dans cet article permet la simulation de reconnaissances de sol. Il offre le choix entre trois sites et neuf projets (pont, immeuble, usine...). Pour chaque site il est capable de donner environ quatre-vingts résultats correspondant aux essais les plus fréquemment utilisés dans la pratique. A partir du plan de masse de l'ouvrage et de la description géologique du site, l'utilisateur passe commande des essais qu'il souhaite, il les implante et le didacticiel lui présente les résultats correspondants sous forme de courbes ou de tableaux. Les critères pris en compte pour l'évaluation de sa campagne sont les suivants : les types d'essais, leur nombre et leur implantation, la profondeur d'investigation et le coût total de la reconnaissance.

Abstract

The courseware presented in this paper specializes in the simulation of soil investigation. It offers a choice between three sites and nine projects (bridge, building, factory...). It is capable, for each site, to produce about 80 results, corresponding to the most frequently performed tests. Starting from the general plan of the construction and the geological description of the site, the user selects the kinds of tests he wishes to be performed, implants them and obtains from the system the corresponding results in the form of curves or tables. The criteria taken into account in the evaluation of his project are the following : types, number, depth and implantation of tests and total cost of site investigation.

* U.E.R. de Recherche Scientifique et Technique, 24, avenue des Landais, B.P. 45, 63170 Aubière.

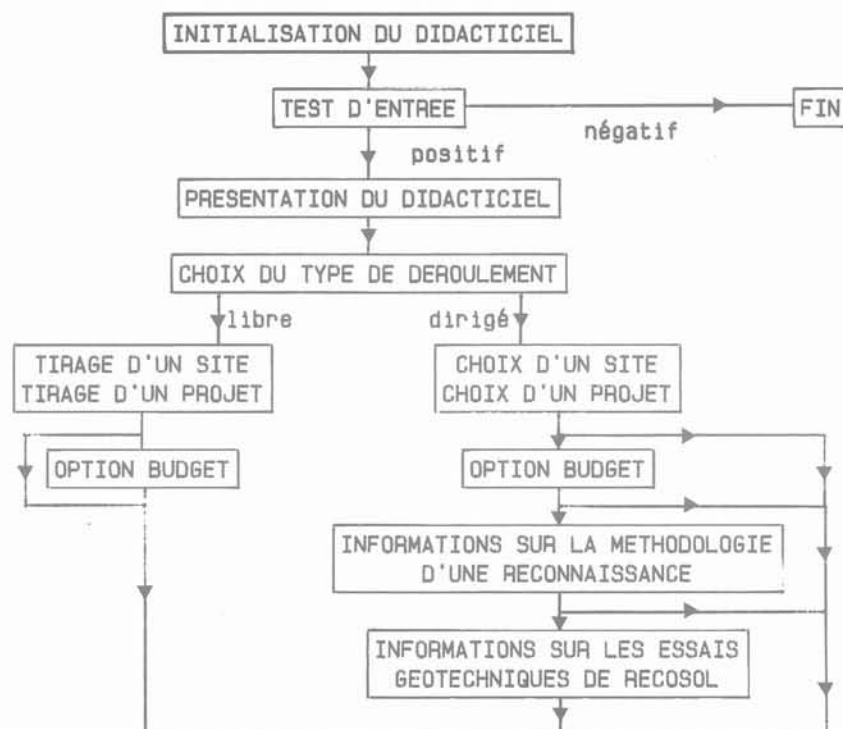
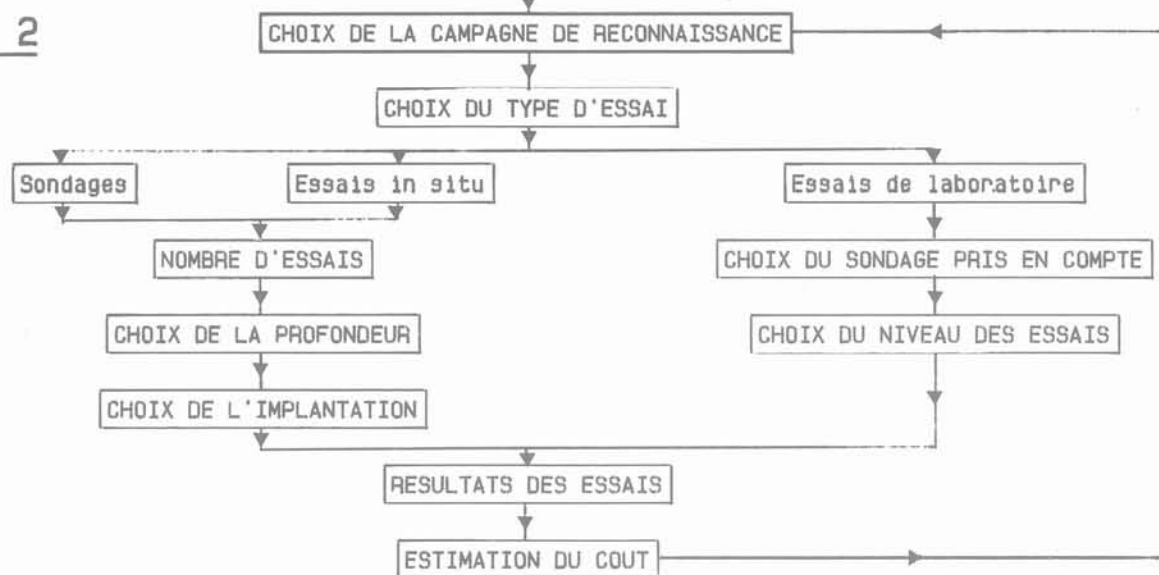
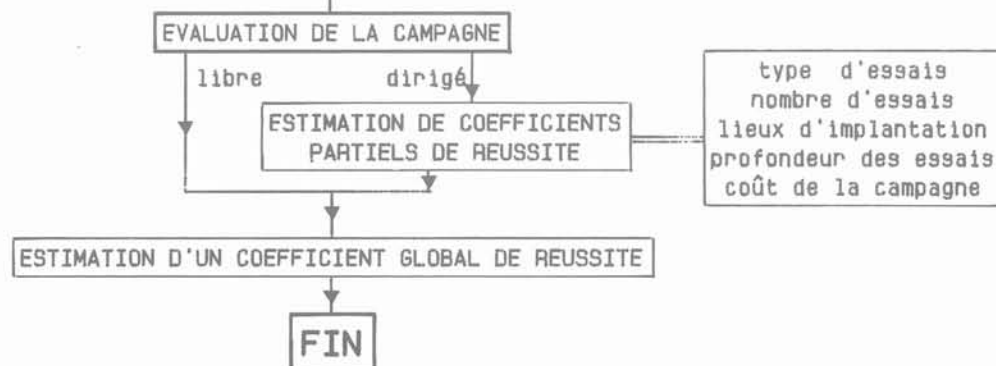
PHASE 1PHASE 2PHASE 3

Fig. 1. — Schéma général de déroulement de RECOSOL.
Fig. 1. — General diagram of RECOSOL.

1. INTRODUCTION

Dans la formation des ingénieurs et des techniciens du génie civil, l'enseignement de la mécanique des sols est particulièrement difficile dans le domaine spécifique de la reconnaissance in situ. Or l'expérience montre que l'ingénieur chargé de l'étude d'un projet ne se heurte pas à des difficultés liées à l'application des méthodes de calcul, mais à des problèmes de choix au niveau de la réalisation de la campagne. Ces problèmes ont trait par exemple à la nature (ou à la disponibilité) du matériel de sondage, à l'implantation de ceux-ci ou encore à la profondeur d'investigation.

Si l'enseignement des méthodes de calcul propres aux essais in situ ne pose pas de difficultés majeures, il faut bien admettre qu'il existe une lacune réelle en ce qui concerne la méthodologie du choix d'une campagne de reconnaissance.

Dans l'état actuel de nos connaissances, il serait illusoire (et dangereux) de croire qu'un tel enseignement puisse remplacer les années d'expériences acquises au contact de la réalité en entreprise. Néanmoins, à l'amont de l'insertion professionnelle de nos étudiants, il est du devoir des formateurs de les préparer à ce type d'analyse.

Le didacticiel présenté dans cet article permet ainsi de mettre l'utilisateur dans la position du géotechnicien chargé d'élaborer une campagne de reconnaissance. A cette fin, différents projets d'ouvrages courants du génie civil, associés à des terrains de nature géologique variée, sont proposés par le didacticiel.

Pour chaque dossier et à la vue des éléments qui lui sont fournis, l'utilisateur a la possibilité d'effectuer la commande des essais qu'il juge opportuns pour réaliser sa campagne. Il décide de la nature des essais, de leur nombre, de leur implantation et de la profondeur des sondages et a en outre, la possibilité de faire exécuter des essais de laboratoire. Ceci le conduit finalement à proposer une campagne que le didacticiel jugera en fonction des différentes contraintes propres à chaque projet. En fait, la solution proposée est finalement comparée à une campagne « optimale », ce terme ne désignant pas la campagne idéale (a priori indéfinissable) mais plutôt un ensemble de campagnes admissibles pour un type de projet sur un site donné.

La figure 1 présente l'organigramme des différentes phases de l'élaboration de la campagne de reconnaissance qui seront détaillées par la suite, en insistant sur les choix et les hypothèses géotechniques qui ont été prises.

2. PHASE 1 — PRÉSENTATION ET INITIALISATION DU DIDACTICIEL

Cette phase permet d'acquérir les différentes données nécessaires au bon déroulement du didacticiel.

Test d'entrée

Il a pour but de tester le pré-requis nécessaires pour une bonne utilisation de RECSOL. Ces pré-requis

correspondent aux notions de base de la Mécanique des Sols, mais ne concernent pas les théories de calcul en tant que telles. Le test se présente sous la forme de douze questions simples à choix multiple.

Exemple :

Une fondation est dite superficielle si :

- a) sa largeur est faible vis-à-vis de sa longueur,
- b) son encastrement dans le sol est faible,
- c) son dimensionnement ne nécessite aucune reconnaissance de sol.

Un minimum de dix bonnes réponses est nécessaire pour accéder à la suite.

Présentation du didacticiel

Cette étape propose à l'utilisateur les informations relatives au déroulement de RECSOL : les possibilités offertes, les différentes phases, les choix possibles.

Choix du type de déroulement

RECSOL permet deux types de déroulement : libre ou dirigé.

• Déroulement dirigé :

— Dans la phase 1 : il permet à l'utilisateur de choisir un site et un projet en ayant connaissance des différentes informations correspondantes. De plus il donne accès à certaines informations complémentaires (mini-cours de reconnaissance de sols, fiches essais).

— Dans la phase 2 : des explications sont fournies à l'utilisateur pour toutes demandes ou réponses erronées concernant les choix qu'il fait au niveau de sa campagne.

— Dans la phase 3 : chaque critère d'évaluation est commenté (cf. phase évaluation).

• Déroulement libre :

— Dans la phase 1 : le choix du site et du projet se fait par tirage aléatoire.

Les autres informations ne sont pas accessibles.

— Dans la phase 2 : aucune explication n'est fournie.

— Dans la phase 3 : les différents critères d'évaluation ne sont pas commentés. Seul le résultat final est proposé à l'utilisateur.

Choix d'un site

Dans sa version actuelle RECSOL propose trois sites :

• *Le site 1* est sur la commune de Riom dans le Puy de Dôme, en bordure ouest de la plaine de la Limagne. Les formations rencontrées sont dérivées de terrains oligocènes. Ce sont des matériaux fins argilo-calcaires parfois sableux, recouvrant le substratum marno-calcaire de quelques mètres.

• *Le site 2* est sur la commune de Langeac en Haute-Loire. C'est un bassin d'effondrement houiller qui présente trois principaux types de faciès :

- des roches cristallophyliennes (ou migmatites) formant les bords ou le fond de la cuvette ;
- des schistes houillers du bassin proprement dit ;
- des matériaux résultant de l'altération des roches précédentes : argiles plus ou moins plastiques renfermant des blocs de roches altérées et des limons argileux.

• *Le site 3* est sur la commune de Nantes. Il a été remblayé hydrauliquement, il y a une vingtaine d'années

sur une hauteur d'environ 4 à 5 mètres, par du sable pouvant contenir des horizons limoneux. Le sous-sol est constitué des alluvions modernes de la Loire (couches alternées de sable et de limons d'épaisseur très variable) reposant sur des sables et des graviers compacts.

Dans tous les cas il s'agit de sites réels qui ont été choisis en fonction de leur intérêt pédagogique et de leur diversité géologique mais également en fonction du nombre d'essais réels disponibles.

Choix d'un projet

Pour chaque site RECO SOL propose trois projets :

— Site 1

- Projet 1 : réalisation de silos destinés au stockage des céréales. C'est un ouvrage relativement important constitué de six silos en béton armé liés entre eux et de locaux techniques ;
- Projet 2 : réalisation d'un passage supérieur d'autoroute. L'ouvrage est constitué de deux culées, d'un appui intermédiaire au droit du terre-plein central de l'autoroute et de deux remblais d'accès ;
- Projet 3 : réalisation de deux groupes d'immeubles de $R + 2$ à $R + 4$ et d'un parking enterré sur un seul niveau ;

— Site 2

- Projet 1 : urbanisation d'une Z.A.C. s'étendant sur une superficie d'environ 8 hectares. Le type de réalisation n'est pas encore déterminé mais les résultats de la campagne devraient permettre de le préciser ;
- Projet 2 : réalisation d'un groupe scolaire comprenant trois bâtiments : un ensemble de salles de cours ($R + 3$), un bâtiment administratif avec restaurant ($R + 1$) et un gymnase ;
- Projet 3 : réalisation d'un hôtel composé de trois corps de bâtiments de $R + 3$ à $R + 5$ avec un niveau de sous-sol sous le bâtiment $R + 3$;

— Site 3

- Projet 1 : réalisation d'une école maternelle sur un seul niveau et un seul corps de bâtiment ;
- Projet 2 : réalisation d'une usine comprenant une zone de bureaux sur deux niveaux, une zone de stockage de produits lourds et une zone de production ;
- Projet 3 : réalisation d'un ensemble résidentiel constitué de petits immeubles de quatre niveaux plus un sous-sol.

Ces projets ont été choisis de telle sorte que pour chaque site ils permettent d'envisager des campagnes de reconnaissance variées. Ce sont des projets fictifs mais qui ont été inspirés par des projets réels.

Dans le cas du déroulement dirigé l'utilisateur choisit le site et le projet qu'il souhaite traiter en fonction des informations données ci-dessus ; dans le cas du déroulement libre le choix se fait par tirage aléatoire et seules les informations correspondant à ce tirage sont proposées à l'utilisateur.

Les exemples donnés dans les paragraphes suivants concernent exclusivement le site 1, et le projet 3 ; les figures proposées sont aussi proches que possible de ce qui apparaît à l'écran au cours du déroulement du didacticiel.

Option budget

Afin de mettre l'utilisateur dans des conditions proches de la réalité il lui sera proposé, quel que soit le type de déroulement, de travailler avec une contrainte économique. Dans ce cas, en fonction du site et du projet, un crédit lui est accordé ; l'utilisateur doit essayer de respecter au mieux ce crédit ce qui peut le guider et/ou le limiter dans ses choix de moyens d'investigations. Un dépassement du crédit attribué ne bloque pas le système.

Cette enveloppe budgétaire a été déterminée en fonction de la campagne « optimale » proposée par RECO SOL.

Cependant, même si l'option budget n'a pas été prise, à chaque commande l'utilisateur en connaîtra le montant. Le coût global de sa campagne sera pris en compte dans l'évaluation finale.

Informations sur la méthodologie d'une reconnaissance

RECO SOL présente la méthodologie générale d'une reconnaissance du sol : enchaînement des différentes étapes, moyens disponibles, choix des essais en fonction du problème à résoudre et de la nature des sols, profondeur de l'investigation... Cette étape optionnelle s'apparente à un cours classique sur la reconnaissance géotechnique.

Informations sur les essais disponibles de RECO SOL

Pour chaque essai disponible, RECO SOL propose, en fonction du choix de l'utilisateur, un résumé de l'essai : description de l'appareillage, principe de l'essai, présentation des résultats, domaine d'utilisation (fig. 2).

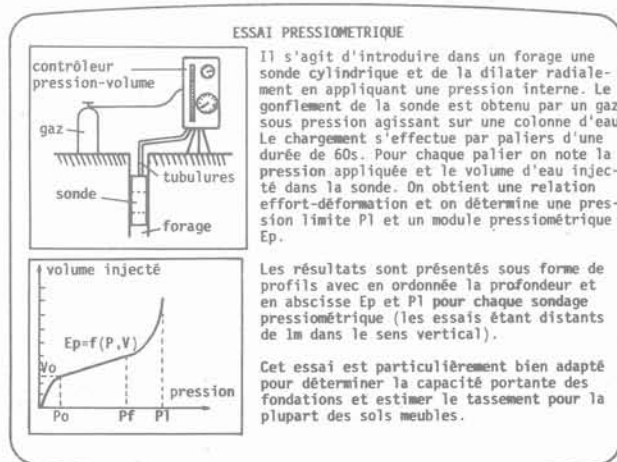


Fig. 2. — Fiche résumé — Essai pressiométrique.
Fig. 2. — Index card — Pressuremeter test.

3. PHASE 2 — CHOIX DE LA CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE

C'est la phase où l'interaction entre RECOSOL et l'utilisateur est maximale.

A partir du plan de masse du projet (fig. 3) et compte tenu des informations géologiques sur le site choisi, l'utilisateur prévoit la campagne à réaliser. Le coût de chaque type d'essai lui est présenté (amené du matériel sur chantier, mise en place par sondage, coût de l'essai : prix unitaire ou au mètre). Ces coûts moyens, observés au 1^{er} janvier 1986, peuvent être facilement réactualisés.

Le déroulement de la campagne se fait par étapes et l'utilisateur ne peut choisir qu'un seul type d'essai à chaque commande. En fonction des résultats obtenus pour ce premier type, il peut alors adapter au mieux au problème posé (nature du sol et du projet) la suite de sa campagne. C'est en fait la procédure qui devrait être adoptée dans la pratique.

Type et nombre d'essais à réaliser :

Le choix est donné entre trois catégories : sondages (1), essais mécaniques in situ (2) et essais de laboratoire (3) (tableau I). L'utilisateur fixe également le nombre d'essais qu'il désire (ce nombre est limité à vingt par commande).

Ces essais ont été retenus parce qu'ils sont les plus couramment utilisés dans la pratique. Les sondages ont été volontairement limités à trois types très différents les uns des autres bien qu'il en existe une grande variété.

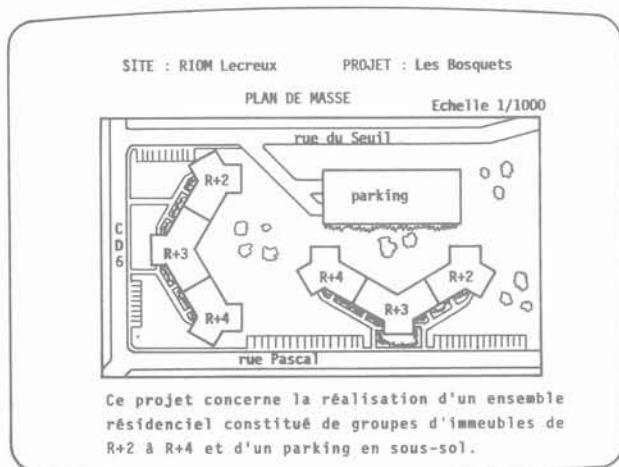


Fig. 3. — Plan de masse — Site 1, Projet 3.
Fig. 3. — General plan — Site 1, Project 3.

La reconnaissance géophysique (sismique et électrique) n'a pas été prise en compte car la nature des sites retenus ne se prête pas aisément à ce type d'essai et l'interprétation comme la visualisation des résultats posent de nombreux problèmes. Cependant dans une version future de RECOSOL l'introduction de ces méthodes pourra être envisagée.

L'utilisateur ne peut choisir la catégorie « essais de laboratoire » que si les échantillons ont été prélevés ce qui impose la réalisation de sondages préalables : sondage carotté pour les essais de cisaillement et œdométrie ou tout type de sondage pour les essais d'identification. Un test permet de s'en assurer.

Choix de la profondeur d'investigation

Il s'agit de déterminer le niveau jusqu'où seront conduits les essais (uniquement pour les catégories 1 et 2). Aucune limite n'est fixée sauf pour les sondages à la pelle mécanique où la profondeur ne peut excéder 5 m. L'utilisateur peut soit fixer une profondeur soit demander le refus.

Lieux d'implantation des différents essais

Pour chaque essai in situ ou sondage demandé, l'utilisateur doit indiquer son point d'implantation sur le plan de masse, par déplacement du curseur à l'endroit désiré.

Choix du sondage à prendre en compte pour les essais de laboratoire

L'utilisateur définit le sondage à partir duquel les essais de laboratoire seront effectués. Il a la possibilité de revoir le plan de masse avec l'implantation de tous les essais réalisés jusqu'à ce stade ceci afin de lui faciliter son choix.

Choix du niveau des essais de laboratoire

Les niveaux des essais sont fixés en fonction des différentes couches de sol. Pour faciliter ce choix, la coupe géologique peut être présentée à l'écran. RECOSOL vérifie que les profondeurs demandées sont compatibles avec la profondeur du sondage considéré. Si tel n'est pas le cas l'utilisateur doit redonner de nouvelles profondeurs.

Résultats des essais

Les résultats des essais proposés par RECOSOL ont été extrapolés à partir de campagnes réelles sur les sites retenus, à l'aide des corrélations généralement admises dans la littérature. Afin d'éviter une homothétie parfaite entre les courbes, les valeurs extrapolées ont été obtenues par tirage aléatoire dans un intervalle centré

Tableau I. — Catégories d'essais disponibles.
Tableau I. — Categories of available tests.

SONDAGES	ESSAIS MECANIKES IN SITU	ESSAI DE LABORATOIRE
Pelle mécanique Tarière mécanique Sondage carotté	Pénétromètre statique Pénétromètre dynamique Pressiomètre Scissomètre	Essai triaxial Cisaillement à la boîte œdomètre Essais d'identification

sur la valeur donnée par la corrélation (ou dans la fourchette de la corrélation s'il y a lieu).

De plus la variabilité spatiale des propriétés des sols impose de fournir les résultats des essais en tenant compte du point d'implantation de chacun d'eux. Dans la mesure où, matériellement, il est impossible de donner en chaque point du site un résultat différent, un maillage du terrain permet de définir des zones à l'intérieur desquelles les propriétés du sol sont considérées comme constantes.

Pour les essais in situ les sites ont été découpés en seize mailles de surfaces égales ; pour les sondages ce découpage est limité à huit mailles. Si deux essais d'un même type sont implantés dans une maille donnée, les profils ou les coupes seront donc identiques mais leur numérotation sera différente. En fait le découpage est transparent pour l'utilisateur.

RECOSOL affiche à l'écran les résultats sous une forme la plus proche possible de la réalité : profils pressiométriques, pénétrométriques... (fig. 4 et 5). Il n'apparaît à l'écran que la zone correspondant à la profondeur d'investigation demandée. Il est évident que les données enregistrées sont limitées à une certaine profondeur en rapport avec le site. Dans le cas où la profondeur demandée est supérieure à cette limite, RECOSOL précise alors à l'utilisateur que les caractéristiques peuvent être considérées comme constantes au-delà de la profondeur mémorisée. De même si la profondeur demandée est supérieure au refus RECOSOL indique la profondeur à laquelle celui-ci est atteint et présente les résultats correspondants.

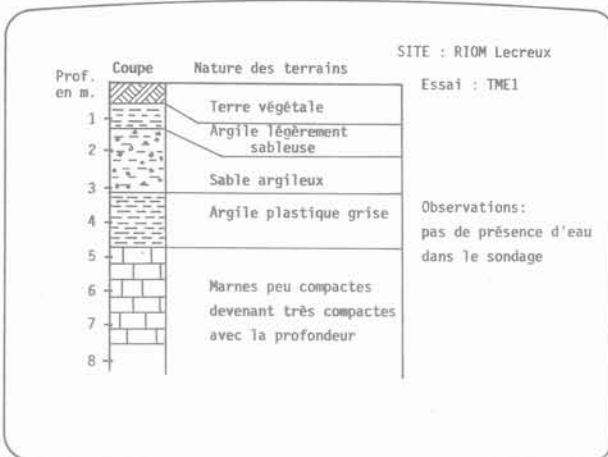


Fig. 4. — Résultats de sondage à la tarière mécanique.

Fig. 4. — Drilling results of mechanical auger.

Les résultats des essais de laboratoire sont présentés sous forme de tableau, en indiquant la référence du sondage, les profondeurs correspondant à chaque essai et les caractéristiques obtenues (fig. 6). Ces caractéristiques sont considérées comme constantes à l'intérieur d'une même couche.

Estimation du coût

Le coût des essais réalisés à chaque commande est donné avec le montant global de la campagne. A ce stade, l'utilisateur a le choix entre deux possibilités :

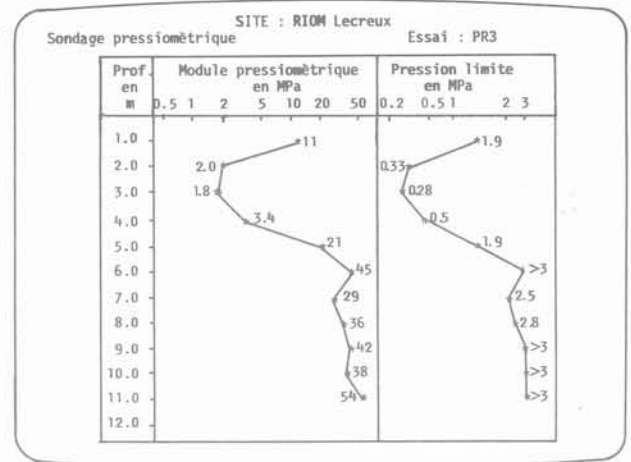


Fig. 5. — Profil pressiométrique.
Fig. 5. — Pressiometric profile.

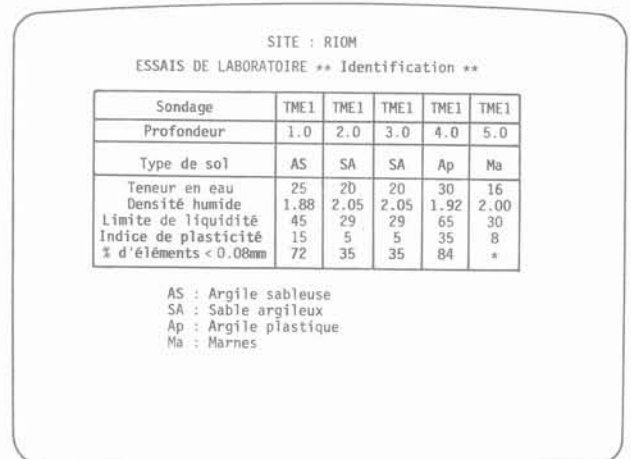


Fig. 6. — Résultats d'un essai d'identification.
Fig. 6. — Results of identification test.

- soit passer une nouvelle commande d'essais,
- soit passer à la phase 3.

4. PHASE 3 — ÉVALUATION DE LA CAMPAGNE

C'est un des points les plus importants mais aussi parmi les plus délicats à mettre en œuvre au niveau de l'analyse du problème. En effet, dans la mesure où des règles précises ne peuvent être établies, on ne peut avoir une solution unique pour le contenu d'une reconnaissance. Aucun essai n'est universel et bien souvent le choix se fait en fonction des méthodes pratiquées par l'entreprise qui réalise la campagne.

L'analyse de la campagne porte sur les cinq critères suivants :

- le nombre d'essais,
- le type d'essai,

- la profondeur de la reconnaissance,
- l'implantation des différents points d'investigation,
- le coût global.

Au préalable et en raison de certaines contraintes informatiques, il est demandé à l'utilisateur de remplir le tableau récapitulatif de sa campagne, RECOSOL propose ensuite en correspondance sa propre solution (fig. 7).

Pour chacun de ces critères RECOSOL détermine un coefficient partiel de réussite. En donnant une pondération différente à ces coefficients, en fonction de leur importance relative, RECOSOL donne alors le pourcentage global de réussite par rapport à la campagne « optimale ».

Dans le cas d'un déroulement dirigé chaque coefficient partiel donne lieu à des commentaires permettant à l'utilisateur de comprendre les erreurs qu'il a pu commettre. Sinon seul le coefficient global est commenté.

*** TABLEAU RECAPITULATIF DE LA CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE ***

		nombre (vous)(RECOSOL)		profondeur (vous)(RECOSOL)	
SONDAGES	Pelle mécanique	3	1	8	10
	Tarière mécanique Sondage carotté				
ESSAIS IN SITU	Pénétromètre statique	6	7	refus	10
	Pénétromètre dynamique				
	Pressiomètre Scissomètre				

		nombre (vous)(RECOSOL)		Pour sondages et essais in situ, donner le nombre total d'essais réalisés et la profondeur maximale atteinte pour chaque type, indiquer "refus" si nécessaire.
ESSAIS DE LABORATOIRE	Triaxial	4	3	
	Casagrande Oedomètre Identification			

LA SOLUTION PROPOSÉE PAR RECOSOL N'EST PAS UNIQUE. IL EN SERA
TENU COMPTE DANS L'EVALUATION DE VOTRE CAMPAGNE.

Fig. 7. — Tableau récapitulatif de la campagne.
Fig. 7. — Recapitulatory table of soil investigation.

Nombre d'essais

RECOSOL calcule le rapport entre le nombre d'essais réalisés et celui de sa propre solution. Le coefficient partiel de réussite est égal à ce rapport ou à son inverse dans le cas où il est supérieur à 1. Soit C_{nbr} ce coefficient.

Type d'essai

En fonction de la nature géologique de chaque site et pour chaque type de projet, il a été établi une liste d'essais recommandés, admis et déconseillés. RECOSOL comptabilise le nombre de types d'essais réalisés dans chaque catégorie. Le coefficient partiel de réussite est alors :

$$C_{typ} = (N_{rec} + N_{adm}/2)/(N_{rec} + N_{adm} + N_{dec})$$

avec : N_{rec} nombre de types d'essais recommandés,
 N_{adm} nombre de types d'essais admis,
 N_{dec} nombre de types d'essais déconseillés.

Profondeur de la reconnaissance

Concernant ce critère, l'analyse est identique au cas du nombre d'essais. Le coefficient partiel de réussite noté C_{prof} est donc le rapport entre la profondeur demandée et la profondeur préconisée ou son inverse dans le cas où ce rapport serait supérieur à 1. Seule la profondeur maximale demandée est prise en compte.

Implantation des différents essais

Dans la pratique les essais ou sondages sont implantés, dans la mesure du possible, sous l'emprise des ouvrages projetés ou à proximité immédiate. De plus ils doivent être bien répartis en fonction non seulement de l'emprise au sol des ouvrages mais également des charges transmises. Afin de prendre en compte cette réalité, chaque plan de masse a été découpé en une ou plusieurs zones (cas de plusieurs bâtiments par exemple) où les essais doivent être implantés de préférence.

$$C_1 = 1 - 1/z \sum_{i=1}^z |1 - (n_{u_i}/N_u)/(n_{r_i}/N_r)|$$

$$\text{et } C_2 = N_u/N_{u_i}$$

avec z : nombre de zones,

N_{u_i} : nombre total d'essais réalisés sur le site,

N_u : nombre d'essais réalisés à l'intérieur de toutes les zones,

n_{u_i} : nombre d'essais à l'intérieur de la zone i ,

N_r : nombre total d'essais préconisés par RECOSOL,

n_{r_i} : nombre d'essais préconisés par RECOSOL pour la zone i .

Le coefficient partiel est défini comme étant la moyenne des deux coefficients précédents :

$$C_{imp} = (C_1 + C_2)/2$$

Coût global de la campagne

Le coefficient partiel correspondant à ce critère et noté C_{co} n'est autre que le rapport entre le coût de la campagne de l'utilisateur et celui préconisé par RECOSOL.

Estimation du coefficient global de réussite

Le coefficient global de réussite est égal à :

$$C_g = (1,5.C_{typ} + C_{nbr} + C_{imp} + 1,5.C_{prof} + 0,5.C_{co})/5,5$$

Les choix du type d'essai et de la profondeur ont été volontairement privilégiés, c'est en fait une garantie pour une bonne reconnaissance.

5. CONCLUSION

Dans sa version actuelle RECOSOL permet d'appréhender la plupart des problèmes simples posés par la reconnaissance des sols de fondation des ouvrages courants de Génie Civil. Il peut être utilisé aussi bien en formation initiale qu'en formation continue pour les cadres et agents de maîtrise du bâtiment et des travaux publics, non spécialistes de Mécanique des Sols. Ce

type d'outil peut en effet les préparer à l'analyse critique des dossiers géotechniques et ainsi leur faciliter le dialogue avec l'ingénieur chargé de la reconnaissance.

Les possibilités offertes par l'E.A.O. peuvent être, dans un tel domaine, parfaitement bien exploitées. Cet outil permet en effet de simuler des situations proches de la réalité où l'utilisateur joue un rôle très actif, l'interaction avec le système est quasi permanente.

Dans cet esprit de nombreuses extensions au didacticiel présenté sont envisageables. Ainsi, le nombre de sites géologiques et de projets peut être augmenté afin d'avoir une gamme plus étendue de campagnes possibles, où d'autres types d'essais pourraient être pris en compte tels les essais géophysiques ou les essais d'eau. Un didacticiel de calcul, associé à RECOSOL permettrait de dimensionner les fondations des divers projets traités en utilisant les résultats de la campagne réalisée. D'ores et déjà cette possibilité peut être utilisée dans un cadre classique d'enseignement.

Ce didacticiel n'a pas la prétention de répondre aux problèmes très complexes d'aide à la décision. Il ne peut se situer qu'en amont d'un tel système.

Les coefficients pris en compte au niveau de l'évaluation de la campagne peuvent paraître arbitraires mais ils doivent être replacés dans leur contexte d'enseignement. Le système mis au point reste cependant proche de la réalité et toutes remarques ou suggestions ne pourraient être que favorablement accueillies afin d'améliorer cet outil.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement l'Agence de l'Informatique et la société CASSIE qui, dans le cadre du concours DIANE 1985, ont permis la réalisation de ce projet.