

Les besoins en données pédologiques dans les études de génie civil

Contributions potentielles des bases de données IGCS

O. Scheurer⁽¹⁾ et B. Barakat⁽²⁾

- 1) Département des Sciences agronomiques et animales
Institut polytechnique Lasalle Beauvais, rue Pierre Waguet - 60026 Beauvais Cedex
- 2) Département Géosciences
Institut polytechnique Lasalle Beauvais, rue Pierre Waguet - 60026 Beauvais Cedex
olivier.scheurer@lasalle-beauvais.fr

RÉSUMÉ

La prise en compte du sol par les géotechniciens dans la conception des ouvrages de génie civil est systématique ; cependant, les bases de données pédologiques issues du programme IGCS (Inventaire Gestion et Conservation des Sols) sont très rarement exploitées dans ce domaine. L'article présente les résultats d'une étude exploratoire menée pour recenser les besoins en données-sols dans les études de génie civil, afin d'identifier la demande potentielle et les réponses qui peuvent être apportées par les bases de données IGCS. Les principales sources d'information mobilisées sont huit entretiens auprès de professionnels du domaine de la géotechnique et du génie civil et des publications scientifiques et techniques.

Les usages potentiels des données pédologiques concernent les ouvrages linéaires de surface ou enterrés, les bâtiments sans fondations profondes et les infrastructures non bâties. Ces données pourraient contribuer au traitement de problématiques variées : prévision des propriétés physiques et de l'épaisseur des matériaux à déplacer ou de support dans les travaux de terrassement ou d'excavation, détection des zones à nappe superficielle à prendre en compte pour l'assainissement des ouvrages, évaluation de la corrosivité des sols pour la gestion des réseaux de canalisations enterrées, évaluation de la sensibilité au retrait-gonflement pour la prévention des risques naturels. Cependant, le référentiel technique du génie civil est basé sur des classifications ou des indicateurs des propriétés des sols qui sont spécifiques du domaine de la géotechnique. Les bases de données IGCS ne seront utilisées que si elles permettent facilement de rattacher les sols d'un territoire à ce référentiel, par le biais de fonctions de pédotransfert. Par ailleurs, le niveau de résolution des bases de données IGCS est souvent incompatible avec les exigences des études géotechniques aux stades de l'avant projet sommaire ou définitif. C'est en particulier le cas des référentiels régionaux pédologiques (RRP) établis au 1/250 000^e. Les RRP pourraient en revanche trouver leur intérêt dans les études préliminaires.

Mots clés

Science du sol, géotechnique, pédologie, génie civil, base de données géographiques, DoneSol.

SUMMARY**NEEDS FOR PEDOLOGICAL DATA IN CIVIL ENGINEERING STUDIES****Potential contributions of IGCS soil databases**

Soil studies by geotechnicians in the conception of works of civil engineering are systematic; however, the pedological databases from the french soil mapping program (IGCS) are very rarely used in this domain. The article presents the results of an exploratory study led to list needs for pedological data in civil engineering studies; the aim is to identify a potential demand and the answers which could be brought by IGCS databases. The information sources were interviews with eight professionals in the domain of geotechnics and civil engineering and scientific and technical literature.

The potential uses of the pedological data concerns linear surface or subsurface works, buildings without deep foundations and unbuilt infrastructures. These data could contribute to the treatment of varied problems: assessment of the physical properties and thickness of layers to be moved or of supporting layers in excavations and earthworks, detection of superficial watertable for drainage works, assessment of soil corrosivity for the management of pipeworks, prediction of the swelling-shrinkage potential of soil materials. However, the technical references in civil engineering are based on classifications or indicators of the soil material properties which are specific to the geotechnic domain. IGCS databases will be used only if they allow easily to connect soil units with these classifications, by means of pedotransfer functions. Besides, the resolution level of soil information in the IGCS databases is not compatible with the requirements of the geotechnical studies at the advanced stages of the project; these databases could find their interest in the preliminary studies.

Key-words

Soil science, geotechnics, civil engineering, soil database, DoneSol.

RESUMEN**LAS NECESIDADES EN DATOS PEDOLÓGICOS EN LOS ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL****Contribuciones potenciales de las bases de datos IGCS**

La toma en cuenta del suelo por los geotécnicos en la concepción de las obras de ingeniería civil está sistemática; sin embargo, se explotan raramente los bancos de datos pedológicos resultando del programa IGCS (Inventario Gestión y Conservación de los Suelos) en este campo. El artículo presenta los resultados de un estudio exploratorio realizado para inventariar las necesidades en datos-suelos en los estudios de ingeniería civil, con el fin de identificar la demanda potencial y las repuestas que pueden estar llevadas por las bases de datos IGCS. Las principales fuentes de información están ocho entrevistas de profesionales del campo de la geotécnica y de la ingeniería civil y de las publicaciones científicas y técnicas. Los usos potenciales de los datos pedológicos conciernen las obras lineares de superficie o enteradas, los edificios sin fundaciones profundas y las infraestructuras no construidas. Estos datos podrían contribuir al tratamiento de problemáticas variadas; previsión de la propiedades físicas y del espesor de los materiales a desplazar o de soporte en las obras de nivelación o de excavación, detección de las zonas con manto freático superficial a tomar en cuenta para el saneamiento de las obras, evaluación de la sensibilidad al proceso de retracción-expansión para la prevención de los riesgos naturales. Sin embargo, el referencial técnico de la ingeniería civil se basa sobre clasificaciones o indicadores de las propiedades de los suelos que no son específicos del campo de la geotécnica. Las bases de datos IGCS estarán usadas que si permiten vincular fácilmente los suelos de un territorio a este referencial, por la ayuda de funciones de pedo-transferencia. Por otra parte, el nivel de resolución de las bases de datos IGCS está a menudo incompatible con las exigencias de los estudios geotécnicos al nivel del anteproyecto sumario o definitivo. Esta en particular el caso de los referenciales regionales pedológicos (RRP) establecido al 1/250 000. Los RRP en cambio podrían encontrar su interés en los estudios preliminares.

Palabras clave

Geotécnica, pedología, ingeniería civil, bases de datos geográficas, doneSol.

Le sol assure de multiples fonctions écologiques, économiques et sociales. Dans les domaines du génie civil, de l'équipement et de l'aménagement du territoire, il devient le support d'activités, de constructions et d'infrastructures. Pour assurer la durabilité de ce mode d'utilisation, la connaissance et la prise en compte des caractéristiques des sols sont indispensables, dès le stade de la conception d'un projet. Or, selon une enquête réalisée en 2006 (Le Bas et Schnebelen, 2006), les bases de données pédologiques du programme IGCS (Inventaire Gestion et Conservation des Sols) sont très rarement exploitées dans ces domaines. Une étude prospective a donc été engagée pour recenser les besoins en données-sols correspondant à ces problématiques, afin d'identifier la demande potentielle, les réponses qui peuvent être apportées par les bases de données IGCS et les lacunes éventuelles.

LE CADRE GÉNÉRAL : LE GÉNIE CIVIL ET LES SOLS

Génie civil: définition

Le génie civil se définit comme l'ensemble des techniques mises en œuvre pour la réalisation d'ouvrages de construction et d'infrastructures. Il couvre ainsi les domaines des travaux publics, et du bâtiment pour ce qui est du gros œuvre.

Les ouvrages concernés sont de natures très variées:

- bâtiments notamment industriels (usines, entrepôts et autres unités de stockage),
- ouvrages d'art (ponts, viaducs, tunnels)
- infrastructures de transport: routes, voies ferrées, pistes d'aéroports
- voiries (parkings...)
- réseaux divers de canalisations enterrées (eau potable, eaux usées ou pluviales, gaz, électricité, téléphone).

L'équipement et l'aménagement du territoire reposent largement sur la planification, la conception et la réalisation de ces types d'ouvrages. Ces 2 domaines recoupent donc en grande partie celui du génie civil.

Les problématiques liées au sol en Génie civil

La prise en compte du sol dans la conception d'ouvrages de génie civil est systématique. Elle se fait par le biais d'études géotechniques. Les questions traitées par ces études géotechniques sont diverses:

- **fondations**: contraintes admissibles, tassements prévisibles, sensibilité au retrait-gonflement, type de fondation à envisager pour maximiser le rapport sécurité/coût,

- **terrassements et constructions en terre** (remblais et couches de forme¹ routières): faisabilité, conditions et modalités de stabilisation, notamment par traitement physico-chimique et/ou compactage, conditions de réemploi des matériaux décapés, stabilité des talus et des parois des fouilles.

- **Canalisations enterrées**: faisabilité, stabilité de l'assise, risques de corrosion.

Au sens géotechnique, la définition du sol est avant tout mécanique. Le sol comprend tous les matériaux de la couche terrestre dont les particules solides sont faiblement liées entre elles et peuvent être séparées par agitation dans l'eau. Pour le géotechnicien, une formation géologique de roche meuble est considérée comme un sol et la profondeur du sol correspond à la profondeur d'apparition du premier substrat consolidé. Cette définition est donc bien plus large que celle du sol au sens pédologique.

Les bases et méthodes des études géotechniques

Méthode générale

Schématiquement, le déroulement général d'une étude géotechnique pour un ouvrage donné est le suivant:

- Sondages systématiques sur le site par carottages manuels ou mécaniques, avec un maillage de l'ordre de 30 à 100 m (adaptation de cette densité selon la taille et l'hétérogénéité du site), sur une profondeur (quelques mètres) variable selon le type d'ouvrage et le type de terrain; description de chaque strate observée.
- Regroupement des strates semblables selon des critères morphologiques; établissement d'une typologie et zonage du site.
- Prélèvement d'échantillons de sol (au minimum 1 par type de strate identifié); analyses, mesures de propriétés physiques et essais géotechniques au laboratoire.
- Positionnement des sols étudiés selon un système de classification basé sur les critères mesurés au laboratoire.
- La classification permet de prévoir le comportement du sol pendant et après la mise en place de l'ouvrage: au sein d'une même classe, les sols présentent des propriétés géotechniques identiques ou très voisines (perméabilité, compressibilité, résistance au cisaillement, retrait-gonflement...).
- En fonction de la classification obtenue, des préconisations peuvent être faites pour la réalisation de l'ouvrage, en s'appuyant très souvent sur des essais complémentaires *in situ*, en fonction d'un référentiel technique spécifique à chaque problématique.

1: Couche de forme : couche de matériaux destinée à homogénéiser et à améliorer la portance du sol support d'une chaussée (Screg Est, 2008) ; elle doit permettre la circulation des gros engins du chantier routier et assurer un support ferme en vue du compactage des couches supérieures. Elle repose soit sur le sol naturel (portion d'ouvrage en déblai) soit sur du matériau rapporté (portion d'ouvrage en remblai)

Les aspects hydrogéologiques sont également pris en compte, par la pose de piézomètres, pour prévenir les effets d'une nappe superficielle sur la réalisation des travaux et adapter la conception de l'ouvrage (drainage...).

Le rôle du système de classification dans la pratique géotechnique est central; il est résumé dans le schéma de la *figure 1*. Il s'agit d'une approche très semblable à celle des agronomes utilisant un triangle de texture après analyse granulométrique pour prévoir le comportement agronomique d'un horizon de surface et en déduire des préconisations en matière de travail du sol, de fertilisation ou d'amendement.

Il existe plusieurs systèmes de classification géotechniques (Magnan, 1997):

- certains sont très généraux et visent à couvrir l'ensemble des domaines du génie civil où les sols sont concernés. Il s'agit par exemple de la classification dite LPC (Laboratoires des Ponts et Chaussées), issue de la classification américaine USCS (United Soil Classification System);
- d'autres sont conçus pour évaluer l'aptitude du sol à un emploi particulier du génie civil. C'est le cas de la classification GTR (Guide des Terrassements Routiers) (LCPC - SETRA, 2000) qui définit des classes de sols en fonction de leur aptitude au compactage, utilisée en France pour les travaux de terrassement routiers; elle fait l'objet de la norme NF P 11-300 (AFNOR, 1992).

Variables mesurées et indicateurs calculés

Pour caractériser un échantillon de sol, plusieurs mesures sont réalisées au laboratoire; certaines variables obtenues servent ensuite à calculer des indicateurs utilisés pour la classification.

Composition granulométrique

Les valeurs mesurées sont:

- la proportion de particules fines ($\emptyset < 80 \mu\text{m}$) et grossières ($\emptyset > 80 \mu\text{m}$),

- la proportion d'éléments grossiers ($\emptyset > 2 \text{ mm}$),
- la dimension maximale des plus gros éléments contenus dans le sol.

Pour les sols dits « grenus » (contenant plus de 50 % de particules ayant $\emptyset > 80 \mu\text{m}$), il peut être nécessaire d'établir une courbe granulométrique pour calculer un coefficient d'uniformité C_u et un coefficient de « courbure » C_c ; ces derniers permettent de repérer les sols à granulométrie étalée, dits « biens gradués », bénéficiant de ce fait d'une capacité portante élevée et pouvant être aisément compactés en remblais.

Limites d'Atterberg

Il s'agit de la limite de plasticité (w_p) et de la limite de liquidité (w_L). On en déduit par calcul l'indice de plasticité I_p qui est l'un des indicateurs les plus utilisés pour prévoir le comportement « argileux » du sol ($I_p = w_L - w_p$).

L'activité des argiles est parfois estimée par le rapport:

$$A_c = \frac{I_p}{\%A (< 2 \mu\text{m})}$$

Valeur de bleu de méthylène (VBS)

Cette variable est directement liée à la surface spécifique du sol; c'est un indicateur de la quantité et de l'activité de la fraction argileuse. Comme l'indice de plasticité (I_p), elle prévoit le comportement « argileux » du sol.

Un autre indicateur d'activité des argiles est obtenu par le rapport:

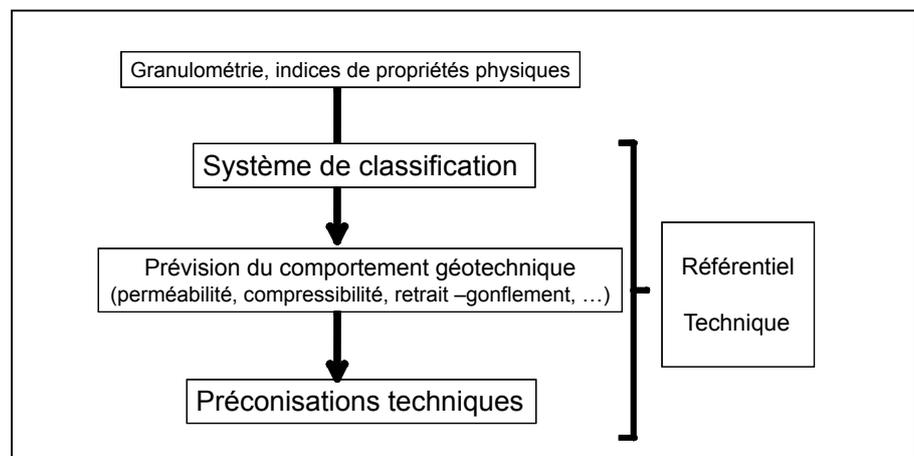
$$A_{CB} = \frac{100 * VBS}{\%A (< 2 \mu\text{m})}$$

Optimum Proctor

Il s'agit de la teneur en eau permettant d'obtenir la densité maximale du matériau sous l'effet d'un compactage en conditions standardisées au laboratoire.

Figure 1 - Rôle du système de classification dans la pratique géotechnique (d'après Holtz et Kovacs, 1991).

Figure 1 - Role of a classification system in the geotechnical practice (after Holtz and Kovacs, 1991).



Essais de comportement mécanique

Ces différents essais en laboratoire (oedomètre, boîte de cisaillement, triaxial...) sont réalisés pour mesurer la compressibilité et la résistance au cisaillement. D'autres plus spécifiques peuvent être réalisés sur les matériaux granulaires; ils ont pour but d'évaluer leur aptitude à résister au trafic ou leur risque de fragmentation.

Taux de matière organique

Les sols contenant moins de 3 % de matière organique sont considérés comme inorganiques; au-delà de 10 %, le comportement géotechnique des sols est considéré comme défavorable.

Teneur en eau naturelle

La teneur en eau naturelle (w_n) est une variable d'état du sol; elle est mesurée pour évaluer le comportement mécanique du matériau et prévoir dans quelle mesure ce matériau décapé peut être réutilisé comme remblai ou couche de forme. L'interprétation de la teneur en eau se fait par le calcul d'indices, relativement à un état hydrique de référence, dont par exemple:

- Indice de consistance ($(w_L - w_n) / I_p$)
- rapport teneur en eau actuelle/ teneur en eau à l'optimum Proctor.

La classification GTR utilise les 4 indicateurs suivants (figure 2): VBS (ou I_p), dimension maximale des plus gros éléments (D_{max}), « passant à 80 μm » et « passant à 2 mm » (en %); les % sont calculés à partir de la masse totale de l'échantillon (terre fine + éléments grossiers).

Les études géotechniques aux différentes phases d'un projet de génie civil

Les études géotechniques normalisées interviennent à 3 étapes d'un projet de génie civil (Philipponnat et Hubert, 2007):

- étude préliminaire
- avant projet sommaire
- avant projet définitif et projet.

L'étude préliminaire a pour objectif d'appréhender *a priori* les problèmes liés au site vis-à-vis du projet; elle se base sur une première approche de la géologie et de l'hydrogéologie locales, et des propriétés physiques et mécaniques des sols. Elle repose sur une visite du site et l'étude des données disponibles (cartes, bases de données de sondages...).

Pour un bureau d'étude géotechnique, elle constitue un préalable à la réponse à un appel d'offres pour un projet donné.

Au stade de l'avant-projet sommaire, l'étude géotechnique vise 3 objectifs:

- choisir un système de fondations,
- mettre en évidence les problèmes particuliers posés par le projet,
- élaborer un programme précis de reconnaissance pour la phase suivante.

Les informations fournies sont surtout qualitatives; elles sont basées sur des sondages et essais de terrain en nombre réduit.

Au stade de l'avant-projet définitif et du projet, l'étude géotechnique a pour but de répondre aux questions précises posées par la réalisation de l'ouvrage. La densité des sondages et essais de terrain est élevée; ceux-ci sont complétés par des essais de laboratoire.

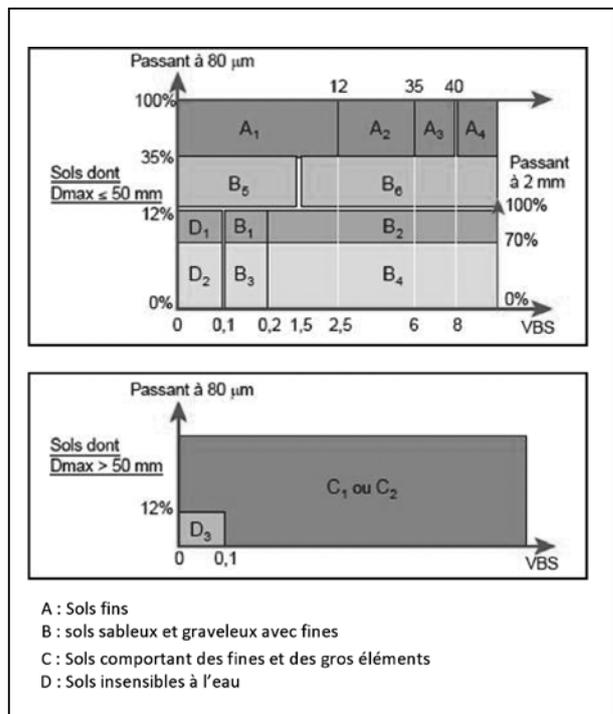
Conclusions

Le référentiel technique du génie civil est basé sur des classifications ou des indicateurs des propriétés des sols qui sont spécifiques du domaine de la géotechnique. Les bases de données IGCS ne seront utilisées que si elles permettent facilement de rattacher les sols d'un territoire à ce référentiel.

Le niveau de résolution des bases de données IGCS existantes n'est en général pas compatible avec les exigences des études géotechniques aux stades de l'avant-projet sommaire ou définitif. Ces dernières requièrent en effet des inventaires aux échelles supérieures à 1/ 10 000^e qui ne couvrent que des surfaces limitées. En revanche, les bases de données issues d'études à petite et moyenne échelles pourraient trouver leur intérêt dans les études préliminaires.

Figure 2 - Classification des sols pour la géotechnique routière (GTR) selon la norme AFNOR (1992) d'après Anonyme (2004).

Figure 2 - Soil classification for road geotechnics (GTR) according to the French national organization for standardization (AFNOR, 1992) after Anonyme (2004).



LES USAGES IDENTIFIÉS ACTUELS DE BASES DE DONNÉES IGCS

Matériel et méthode

Le programme IGCS (Inventaire Gestion et Conservation des Sols) est multi-échelles; il se subdivise en sous-programmes: RRP (Référentiel Régionaux Pédologiques; au 1/250 000), CPF (Connaissance Pédologique de la France; du 1/50 000 au 1/100 000) et SR (Secteur de Référence; 1/5 000 au 1/10 000). Toutes les données issues du programme IGCS sont stockées dans la base de données nationale DoneSol.

Notre étude a pour but de comprendre dans quelle mesure ces données présentes dans DoneSol sont ou pourraient être utilisées dans des études géotechniques. Elle a été réalisée dans le cadre du « Groupement d'Intérêt Scientifique sur les Sols » (GIS Sol), par le groupe de travail « Projets » du programme national « Inventaire, Gestion et Conservation des Sols ».

L'étude devait initialement faire l'objet d'un stage et d'un mémoire d'élève ingénieur spécialisé en Science du sol ou en Géotechnique. Faute de candidat, les moyens mis en œuvre se sont trouvés nettement limités. Plusieurs sources d'information ont été mobilisées :

- données bibliographiques.
- entretiens auprès de professionnels du domaine de la géotechnique et du génie civil (8 entretiens)
- réponses à un questionnaire envoyé par mél en 2008 à 21 bureaux d'étude géotechniques de l'Oise et d'Ile-de-France (4 réponses !)
- base de données des applications thématiques issues d'IGCS, mise à jour par InfoSol en 2006
- résultats de l'enquête réalisée en 2007 auprès d'utilisateurs potentiels d'une base de données sols accessible sur Internet (Questionnaire Websol: 231 réponses).

Résultats

D'après l'enquête réalisée en 2006 (Le Bas et Schnebelen, 2006) auprès des maîtres d'ouvrage délégués et correspondants régionaux du programme IGCS, aucune application thématique concernant le génie civil au sens strict n'a été recensée. Une seule application peut être rattachée au domaine de la géotechnique : repérage des secteurs favorables à l'implantation de gravières.

Les données présentes dans DoneSol ont été utilisées dans les études préalables à l'implantation de grands ouvrages linéaires (TGV, autoroute, canal), mais les applications recensées ne portent que sur l'évaluation des impacts agricoles et environnementaux de ces ouvrages.

L'enquête Websol 2007 visait à recenser les besoins d'utilisateurs potentiels en données sols accessibles sur Internet

en ciblant une grande diversité d'acteurs, y compris des organismes et entreprises intervenant dans les domaines du génie civil, de l'équipement et de l'aménagement du territoire; parmi les 231 répondants, on n'identifie que 8 acteurs potentiellement concernés par les études géotechniques, issus de 4 catégories d'organismes (Fédérations départementales du bâtiment et travaux publics, Directions départementales de l'équipement, bureaux d'étude, écoles d'ingénieurs). Ce faible nombre tend à confirmer le peu d'intérêt pour les bases de données IGCS manifesté globalement par ce public; le questionnaire ne permet pas de préciser leurs centres d'intérêt réels dans ce domaine.

Par ailleurs, les quelques enquêtes et entretiens réalisés spécifiquement pour cette étude montrent que l'existence même de DoneSol n'est pas connue dans les bureaux d'études spécialisés en géotechnique, ce qui constitue le premier obstacle à leur utilisation. Ce résultat mériterait toutefois d'être confirmé sur un échantillon plus large et mieux réparti géographiquement.

USAGES POTENTIELS DES DONNÉES PRÉSENTES DANS DONESOL

Ces usages potentiels ont été identifiés à partir de la synthèse des 8 entretiens réalisés auprès de professionnels du domaine de la géotechnique et du génie civil, complétée par des références bibliographiques.

Types d'ouvrages concernés

Dans un inventaire pédologique, les investigations réalisées (observations et analyses) explorent la couverture pédologique et la partie supérieure du matériau parental ou du substrat. Sur le territoire métropolitain, la profondeur d'investigation maximale est de l'ordre de 1,5 à 2,5 m (Lagacherie *et al.*, 2001); elle est donc inférieure à la profondeur du sol géotechnique dans le cas des sols issus de formations sédimentaires meubles.

De ce fait, les données présentes dans DoneSol permettront de traiter les problèmes géotechniques lorsque l'une ou l'autre des situations suivantes se présentera :

- les sols reposent sur un matériau consolidé peu profond; la profondeur du sol pédologique est alors équivalente à celle du sol géotechnique
- l'ouvrage en projet ne nécessite pas des fondations profondes; la profondeur d'investigation géotechnique est du même ordre de grandeur que la profondeur d'investigation pédologique.

Cette situation concerne principalement 3 types d'ouvrages :

- bâtiments ou ouvrages peu élevés, hangars et immeubles sans sous-sol,
- ouvrages linéaires de surface (routes, voies ferrées) ou enterrés (canalisations),

- infrastructures non bâties (aires de stationnement, pistes, plates-formes).

Problématiques associées

Travaux d'excavation

Dans les ouvrages nécessitant l'extraction des couches superficielles de sol (carrières, canalisations...), l'étude géotechnique a pour but d'estimer le volume, les conditions et le coût d'extraction et de déplacement du matériau excavé. De plus, elle doit déterminer les possibilités de réemploi du matériau afin d'éviter sa mise en décharge.

Par ailleurs, dans tout ouvrage de génie civil, la couche de terre dite «végétale» doit être décapée puis réutilisée comme couche de surface. Pour le réaménagement agricole d'un chantier ou la création d'espaces verts, la composition de la terre végétale rapportée doit normalement respecter un cahier des charges portant sur sa composition granulométrique et chimique (notamment pH et teneur en éléments nutritifs).

Trois indicateurs sont donc à renseigner :

- épaisseur de la strate de surface dont la teneur en matière organique est supérieure à 3 %,
- granulométrie et composition chimique de cette strate,
- épaisseur et propriétés géotechniques des strates sous-jacentes; le positionnement de ces strates dans la classification GTR renseigne sur leur comportement physique lors de l'extraction et leur aptitude au réemploi sous forme de remblai.

Terrassements, remblais et couches de forme :

Un chantier de terrassement a pour but d'aplanir la partie supérieure d'un terrain par déplacement de terre au moyen d'opérations de déblai et de remblai; le terrain est ensuite stabilisé par compactage. Dans le cas des ouvrages routiers et autres infrastructures non bâties, le sol stabilisé est un support destiné à recevoir les revêtements de chaussée (*figure 3*); il est constitué soit par le sol naturel (section en déblai) soit par du matériau de remblai issu du site. Ce sol support, appelé « partie supérieure

du terrassement », est en général recouvert par une couche de forme dont l'épaisseur (0,2 à 0,8 m) est à adapter selon les propriétés physiques du support et du matériau utilisé.

Afin de limiter l'emploi de granulats exogènes, la couche de forme est le plus souvent constituée par les matériaux du site après traitement(s) spécifique(s).

L'étude géotechnique a pour but d'une part de déterminer les modalités de compactage du sol support et les pré-traitements éventuels (fragmentation des éléments grossiers, traitement physico-chimique à la chaux, au ciment ou liant hydraulique routier²...), d'autre part de définir l'épaisseur et les modalités de mise en place de la couche de forme.

Pour traiter ces questions, il s'agit essentiellement de prévoir le comportement physique des sols en place ou à déplacer par le terrassement: niveau de cohésion (matériau granulaire, cohérent ou consolidé), argilosité, aptitude au compactage...

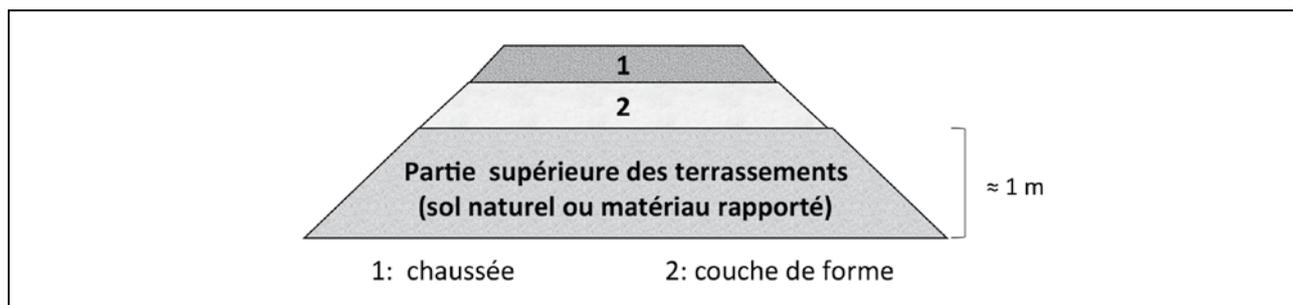
Dans ce domaine, le référentiel de préconisations techniques est basé sur la classification GTR, conçue spécifiquement pour traiter ces questions de géotechnique routière; il est rassemblé dans un guide technique intitulé « Réalisation des remblais et des couches de forme » (LCPC - SETRA, 2000). Là encore, le positionnement des strates du sol dans cette classification est nécessaire. Les préconisations sont adaptées en fonction de l'état hydrique des matériaux au moment des opérations. La détermination des périodes favorables à chaque opération nécessite en outre de caractériser le régime hydrique du sol.

Gestion des réseaux de canalisations enterrées

Les installateurs et gestionnaires de réseaux de canalisations enterrées en fonte ou en acier cherchent à prévoir et localiser le vieillissement de leurs ouvrages et notamment leur détérioration par corrosion externe, afin d'en assurer la maintenance. Les études géotechniques cherchent donc à évaluer la corrosivité des sols. Dans les sols naturels, celle-ci est favorisée par l'humidité, les conditions réductrices, l'acidité, l'hétérogénéité verticale du milieu et les faibles résistivités. Il existe un système simple de classification des sols selon leur corrosivité, en

Figure 3 - Les couches constitutives d'un support de chaussée (d'après LCPC-SETRA, 2000).

Figure 3 - The road base layers (after LCPC-SETRA, 2000).



2 : Liant composite mis au point pour obtenir les mêmes phénomènes de prise hydraulique que les ciments, mais le plus souvent avec des cinétiques spécifiques.

fonction de ces 5 critères; il fait l'objet de la norme AFNOR NF A 05-250 (1990). Des modèles prédictifs plus complexes peuvent être utilisés (Sadiq *et al.*, 2004); d'autres sont en cours de mise au point.

Assainissement des ouvrages

Les études géotechniques visent à détecter la présence d'une nappe d'eau libre (permanente ou temporaire) dans le terrain naturel, susceptible d'affecter la stabilité et la pérennité de l'ouvrage. Le cas échéant, il faut prévoir le rabattement à opérer et dimensionner les ouvrages d'assainissement.

Prévention des risques naturels

Le principal risque naturel dépendant du sol à prendre en compte résulte des phénomènes de gonflement-retrait dans les sols argileux. De nombreuses classifications géotechniques permettent d'attribuer un potentiel de gonflement-retrait à un matériau; elles utilisent divers indicateurs analytiques, souvent combinés entre eux: I_p , VBS, % A ($< 2\mu\text{m}$), I_p et % A ($< 2\mu\text{m}$), I_p et w_L . Aucune ne semble véritablement satisfaisante (Audigier *et al.*, 2007); en particulier, les seuls critères de la classification GTR ne paraissent pas suffisants (Chrétien *et al.*, 2007). Au stade de l'étude préliminaire, les cartes départementales de l'aléa retrait-gonflement élaborées au 1/50 000^e par le BRGM sont disponibles sur une grande partie du territoire.

Les contributions potentielles des données présentes dans DoneSol

Les informations nécessaires au géotechnicien au stade de l'étude préliminaire ont été confrontées ici aux variables couramment renseignées dans la base de données selon la structure de DoneSol (InfoSol, 2010), pour chaque unité typologique de sol (UTS).

La majorité des informations utiles figurent dans les tables STRATE et AFFECT_STRATE_U_SOL; celles-ci donnent la valeur modale des variables caractéristiques des strates qui constituent chaque UTS. La variabilité intra-unité y est également renseignée pour chaque variable par un intervalle de valeurs (mini-, maxi-) ou par des valeurs secondaires.

Caractérisation de la couche de terre végétale

L'épaisseur et la profondeur d'apparition de chaque strate sont renseignées. La teneur en matière organique d'une strate est donnée par classes d'abondance; l'abondance « moyenne » correspond à une teneur comprise entre 1 et 4 %. De ce fait, le classement en terre végétale des strates d'abondance moyenne conduira à une estimation du volume de terre à décapier avec une large marge de sécurité.

La composition granulométrique sera *a priori* correctement renseignée par la granulométrie de la terre fine (3 fractions), l'abondance des éléments grossiers (en %) et leur taille.

Les données d'analyse chimique devront être considérées avec prudence dans la mesure où leur variabilité intra-strate est plus forte, sous l'influence de la diversité des pratiques agricoles.

Caractérisation des strates sous jacentes et positionnement des strates dans la classification GTR

Le positionnement d'une strate donnée dans la classification GTR ne sera pas immédiat car les indicateurs nécessaires ne sont pas renseignés en tant que tels dans DoneSol. Il devrait cependant être possible d'estimer chaque indicateur à partir de variables de la base de données en établissant des fonctions de pédotransfert (*tableau 1*):

- pour les indicateurs I_p et VBS, des relations statistiques avec de forts coefficients de corrélation ont en effet été montrées avec des variables telles que le taux d'argile (% $< 2\mu\text{m}$), le taux de matière organique et la CEC (Remy, 1971; Atlan et Feller, 1983; Chrétien *et al.*, 2007; Clément, cité par Laribi *et al.*, 2007).
- les 2 autres indicateurs (passant à 80 μm et passant à 2 mm) sont exprimés en % massique de la strate; leur estimation nécessitera de convertir l'abondance volumique des éléments grossiers renseignée dans DoneSol en abondance pondérale (*via* la masse volumique des éléments grossiers, non renseignée dans DoneSol). Par ailleurs, la fraction fine ($\emptyset < 80\mu\text{m}$) devrait pouvoir être estimée par interpolation sur une courbe granulométrique cumulée (à construire à partir d'une composition granulométrique en 5 fractions).

La table ANALYSES de DoneSol permet d'enregistrer les valeurs de limites d'Atterberg mesurées sur un horizon; toutefois cette variable est très rarement renseignée (présente dans 0,7 % des analyses enregistrées), hormis dans certaines études de secteurs de référence en vue du drainage des terres agricoles.

Caractérisation des strates vis-à-vis des autres problématiques

La base de données DoneSol contient aussi des informations utiles au traitement des autres problématiques énumérées plus haut (*tableau 2*). La profondeur et la durée d'apparition d'une nappe temporaire ou permanente peuvent être estimées à partir des taches d'oxydation et de réduction, et autres signes d'hydromorphie visibles dans les strates.

La sensibilité au retrait-gonflement d'une strate pourrait être renseignée à partir de 2 indicateurs:

- le taux d'argile granulométrique, associé à une estimation globale du type minéralogique dominant à l'aide du rapport CEC/A (Baize, 1988),
- la présence d'une structure dite verticale (en coins ou en plaquettes obliques, à faces luisantes) qui est la manifestation directe d'une dynamique saisonnière de retrait-gonflement intense.

Tableau 1 - Variables utilisables dans DoneSol pour estimer les variables géotechniques de la classification GTR.**Table 1** - Available variables in the DoneSol database for estimating geotechnical variables of the GTR classification.

Variables géotechniques	Variables pédologiques DoneSol
Ip	% A, CEC, w pF4.2
VBS	CEC
Passant < 80 µm (en % sur 0-50 mm)	granulométrie 5 fractions, abondance E.G., taille des E.G.
D max des E.G.	taille des E.G.
fraction > 0-50 mm (%)	abondance E.G., taille des E.G.

E.G. = éléments grossiers

Tableau 2 - Variables utilisables dans DoneSol pour 3 problématiques géotechniques.**Table 2** - Available variables in the DoneSol database for 3 geotechnical problems.

Problématique	Variables pédologiques DoneSol
Assainissement des ouvrages	taches d'oxydation et réduction, texture, porosité
Corrosivité des sols	taches d'oxydation et réduction, pH, texture, salure
Alea retrait-gonflement	% A, CEC/A type de structure

Tableau 3 - Exemples de discordance entre classe DoneSol et seuil géotechnique.**Table 3** - Examples of discordance between a class in the DoneSol database and a geotechnical threshold.

Variable	Classe Donesol	Seuil géotechnique
Abondance MO	1 - 4 %	3%
Taille des éléments grossiers	20 – 60 mm	50 mm
Limons et Sables	seuil à 50 µm	80 µm

Par ailleurs, la prévision de phénomènes de glissement de terrain pourrait dans certains cas être améliorée grâce à des informations pédologiques en complément des données géomorphologiques : intensité de l'hydromorphie, présence de Col-luviosols (Closson *et al.*, 1999).

Problèmes méthodologiques

Ces usages potentiels des données présentes dans DoneSol révèlent 2 questions méthodologiques à traiter :

- comment exploiter les variables quantitatives renseignées par classes, lorsque les bornes de ces classes ne correspondent pas aux seuils utilisés dans les référentiels géotechniques (exemples du *tableau 3*) ?
- comment intégrer et représenter spatialement les propriétés géotechniques estimées par strate pour fournir au géotechnicien une aide à la décision opérationnelle ?

CONCLUSIONS

Cette étude exploratoire montre que les données issues du programme IGCS peuvent constituer des sources d'information précieuses pour les géotechniciens. Le territoire français est majoritairement couvert par des études à petite ou moyenne échelle (du 1/50 000^e au 1/250 000^e) et sera à terme entièrement couvert par les RRP. L'intérêt de ces bases de données se situe essentiellement au stade de l'étude préliminaire, notamment pour contribuer à une meilleure estimation du coût d'un projet de génie civil. Les informations disponibles sont complémentaires de celles des cartes géologiques à 1/50 000^e.

L'utilisation des bases de données pédologiques se heurte aujourd'hui à deux obstacles majeurs :

- la géotechnique et la pédologie sont 2 mondes professionnels qui s'ignorent ; l'existence même des programmes IGCS et *a fortiori* leur contenu ne semblent pas connus de nombreux géotechniciens.

- le référentiel technique du génie civil est basé sur un système de classification spécifique (en général la classification GTR) et les données présentes dans DoneSol ne sont pas immédiatement transférables dans ce système.

Pour lever ces obstacles, la collaboration entre géotechniciens et pédologues gestionnaires de bases de données devrait être amorcée au niveau d'une région sur une étude de cas. Celle-ci serait l'occasion, d'une part de traiter les questions méthodologiques et notamment de proposer des fonctions de pédotransfert, d'autre part de (dé)montrer et de valider les possibilités d'applications géotechniques à partir d'un référentiel régional pédologique.

REMERCIEMENTS

Aux professionnels enquêtés: Nicolas Airiau (Sogeti-Ingénierie), Georges Bieske (Egis Géotechnique), Xavier Dubois (Eurovia), Michel Khatib (Fugro), Zanna Mazidou (Veolia Eau), Gérard Ragot (Eurovia), Pierre Regenass (INSA Strasbourg), Marc Vincent (BRGM).

Aux membres du groupe « Projets IGCS » qui ont participé à cette étude: Christophe Ducommun (Agrocampus-Ouest), Bertrand Laroche (INRA InfoSol), Patrick Legouée (Univ-Caen géographie), Joël Moulin (CDA Indre), Joëlle Sauter (ARAA).

Au GIS Sol et au MAAP pour le soutien financier à cette étude dans le cadre du groupe « Projets IGCS ».

BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR, 1992 - Exécution des terrassements - Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières. Norme homologuée NF P. pp. 11-300
- AFNOR, 1990 - Evaluation de la corrosion - canalisations enterrées en matériaux ferreux non ou peu alliés. Norme homologuée NF A. pp. 05-250
- Anonyme, 2004 - Le traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques pour l'exécution des remblais et des couches de forme. Routes n°89. pp. 7-14
- Atlan Y., Feller C., 1983 - Applications de la pédologie à la géotechnique routière; exemple du Sénégal. Documents du BRGM. 56: 55p. + annexes
- Audigier M., Geremew Z., Laribi S., Cojean R., 2007 - Caractérisation au laboratoire de la sensibilité au retrait-gonflement des sols argileux. Revue française de géotechnie. n°120-121. pp. 67-82
- Baize D., 1988 - Guide des analyses courantes en pédologie. Ed. INRA. 172 p.
- Chrétien M., Fabre R., Denis A., Marache A., 2007 - Recherche des paramètres d'identification géotechniques optimaux pour une classification des sols sensibles au retrait-gonflement. Revue française de géotechnie. n°120-121. pp. 91-106
- Closson D., Engels P., Demaret X., 1999 - The use of the soil map of Belgium in the assessment of landslide risk. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 3 (3). pp. 165-172
- Holtz R.D., Kowacs W. D., 1991 - Introduction à la géotechnique. Presses internationales polytechniques
- InfoSol, 2010 - Dictionnaire de données DoneSol - Version 2.0.4. Document INRA - GIS Sol . 315 p + annexes
- Laribi S., Cojean R., Audigier M., Grambin-Lapeyre C., Geremew Z., 2007 - Essai d'adsorption de bleu de méthylène: influence de paramètres du protocole expérimental sur la valeur au bleu en fonction de la minéralogie des argiles. Revue française de géotechnie. n°120-121. pp. 83-90
- Lagacherie P., Couleuvrat C., Feraud J., Hardy R., Limaux F., Party J.P., Vinatier J.M., 2001 - Cahier des clauses techniques générales pour la réalisation d'une étude pédologique en vue d'établir un référentiel sol local. Document IGCS - INRA - Ministère de l'Agriculture et de la forêt. 8 p. + annexe
- Le Bas C. et Schnebelen N., 2006 - Utilisation des données sols d'I.G.C.S. en France - Etat des lieux en 2006. Etude et Gestion des Sols. Vol. 13(3). pp. 237-246
- Magnan J.P., 1997 - Description, identification et classification des sols. Techniques de l'ingénieur. Construction. vol. 1 n° C208
- LCPC- SETRA, 2000 - Réalisation des remblais et des couches de forme. Guide technique. Fascicule 1: Principes généraux. LCPC - SETRA . 98 p.
- Philipponat G. et Hubert B., 2007 - Fondations et ouvrages en terre. Ed. Eyrolles
- Remy J.C., 1971 - Influence de la constitution physique des sols sur leur comportement mécanique; signification des limites d'Atterberg en matière de travail du sol. Ann. agron. 22 (3). pp. 267-290
- Sadiq R., Rajani B., Kleiner Y., 2004 - Fuzzy-based method to evaluate soil corrosivity for prediction of water main deterioration. Journal of Infrastructure Systems, v. 10, n°. 4, pp. 149-156
- SCREG Est, 2008 - Glossaire (terrassement, couche de forme) - Site consulté le 26.10.2009. <http://www.screg-est.fr/spip.php?page=glossaire>

PUBLICATIONS ET DOCUMENTS PUBLIÉS PAR L'AFES

Revue

Science du Sol

Revue scientifique publiée de 1952 à 1993.

Elle comporte 300 à 400 pages par an. Un index est présenté tous les ans dans le quatrième numéro.

A cessé de paraître fin 1993. Certains numéros disponibles.

La Lettre de L'Association

Publiée quatre fois par an, ce journal annonce les nouvelles de l'association, les réunions nationales et internationales ; il donne des critiques d'ouvrages, de thèses, de la documentation, etc.

La Lettre est envoyée à chaque adhérent de l'association : elle accompagne l'adhésion.

Rédacteur en chef : F. Féder.

Etude et Gestion des Sols

Revue trimestrielle, francophone traitant de la connaissance et de l'usage des sols.

Rédacteur en chef : D. Arrouays.

Rédacteurs en chef Adjoints : D. Baize, D. Schwartz

Secrétariat de rédaction : F. Héliès, C. Laveuf, J.-P. Rossignol.

Le Comité éditorial est composé de trente six membres de France et de pays francophones.

Ouvrages

Le Livre Jubilaire (1984)

Point sur les acquis à cette date en matière de science du sol et de pédologie.

Fonctionnement hydrique et comportement du sol (1984)

Podzols et podzolisation

par D. Righi et A. Chauvel : ouvrage publié en coédition par l'AFES et l'INRA, avec le concours du CNRS, de l'ORSTOM, et de la région Poitou-Charentes (1987).

Micromorphologie des sols/ Soil micromorphology

par N. Fédoroff, L.M. Bresson, Marie Agnès Courty, publié par l'AFES avec le concours du CNRS, de l'INAPG, de l'INRA, du Ministère de l'Environnement et de l'ORSTOM (1985) (épuisé).

Carte mondiale des sols et sa légende (1984)

Présentée sous forme numérique.

Le Référentiel Pédologique

par D. Baize et M.-C. Girard, (Coord.) AFES, Association Française pour l'Etude du Sol (FRA), Editions Quae, Versailles (FRA) ; 2009. 405 p. - Collection Savoir-Faire.

Synthèse nationale des analyses de terre : Période 1990-1994

par C. Walter, C. Schwartz, B. Claudot, P.-Aurousseau et T. Bouedo, avec le concours du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche.

Actes du XVI^e Congrès Mondial de Sciences du Sol, Montpellier - Août 1998