

# COMPOSITION ET EXTENSION D'UNE FORMATION SABLEUSE A ARGILO-SABLEUSE RECOUVRANT LOCALEMENT DES CALCAIRES AQUITANIENS A L'OUEST DE LA BEAUCE (PÉRONVILLE, EURE-ET-LOIR)

par Philippe CHERY\*, Ary BRUAND\*, Michel DABAS\*\*, Bernard RENAUX\* & Laurent RAISON\*

## Résumé

Des formations composées de matériaux sableux à argilo-sableux non calcaires sont localement présentes en Beauce sous une couverture limono-argileuse d'âge quaternaire tout en reposant sur des calcaires aquitaniens. Une de ces formations d'extension hectométrique a été étudiée en combinant une prospection électrique et des sondages mécaniques. Les résultats montrent que la composition granulométrique des matériaux et la minéralogie de l'argile varient dans une très large gamme sur une même verticale. Par ailleurs, de tels matériaux décrits comme appartenant à des placages sur les calcaires aquitaniens, comblent en fait une dépression affectant le toit du calcaire. Enfin, ces matériaux ayant été repérés à de nombreux endroits lors de prospections pédologiques, ils occuperaient une surface beaucoup plus importante que celle généralement admise.

## Summary

Non calcareous and sandy to sandy-clay materials are locally present in Beauce, underlying clayey-loam quaternary materials and lying on aquitanian limestones. They were studied by combining a geoelectrical survey and auger borings. Results showed that both the particle size distribution and the clay mineralogy varied highly in the same boring. Moreover, such materials filled a depression whereas they were generally described as recovering the aquitanian limestones. Finally, these materials were observed in numerous points during soil survey; this would indicate that they occupy a larger area than it was earlier shown.

## 1. INTRODUCTION.

Des calcaires aquitaniens constituent le soubassement de la partie occidentale de la Beauce, aussi appelée Petite Beauce. Ces calcaires sont d'origine lacustre à laguno-lacustre et de faciès très variable (LORAIN, 1973; GIGOT, 1973; MÉNILLET, 1981). Ils ont été affectés en surface par la cryoturbation durant le Quaternaire et l'on observe fréquemment plusieurs générations de poches de cryoturbation (OULD MOHAMED et BRUAND, 1994; OULD MOHAMED, 1995). Des matériaux limono-argileux de faible épaisseur (de 0,30 à 1,50 mètres) et d'âge quaternaire recouvrent les calcaires aquitaniens de façon quasi continue (MACAIRE 1971, 1972 a et b; ARROUAYS *et al.* 1989). Affleurant ou intercalées entre ces formations limono-argileuses et les calcaires aquitaniens, des formations burdigaliennes, sableuses et argilo-sableuses et non calcaires, d'origine fluviale et contemporaines des sables et argiles de Sologne et de l'Orléanais, sont présentes localement en Petite Beauce (MACAIRE, 1972 a et b; GIGOT, 1973). A proximité et au nord-ouest de la forêt d'Orléans, ces formations atteignent plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur mais elles s'amincissent rapidement vers le nord et l'ouest pour n'atteindre que quelques mètres d'épaisseur, puis disparaître (GIGOT, 1973).

L'objectif de cette étude est de préciser la géométrie et la composition de ces formations sableuses à argilo-sableuses, en particulier lorsqu'elles sont présentes de façon très discontinue et qu'elles semblent n'avoir qu'une extension latérale très limitée. En effet, ces formations ont été repérées dans de telles situations à de nombreux endroits lors de prospections pédologiques en Petite Beauce (ARROUAYS *et al.*, 1989; DUVAL et ISAMBERT, 1992), mais aucune d'elles n'a encore été analysée de façon détaillée.

## 2. PRÉSENTATION DU SITE.

Le site est localisé entre Orléans et Châteaudun, à proximité du village de Villamblain (X = 543, Y = 2338), entre les lieux-dits de Liconcy et Machelainville. La morphologie du paysage est faiblement ondulée (pentes variant de 2 à 3%). Ce site, d'une superficie d'environ 50 hectares, est situé à plus de 10 kilo-

\* Unité de Science du Sol - SESCOF, INRA Orléans, Domaine de Limère, Avenue de la Pomme de Pin, 45160 Ardon.

\*\* Centre de Recherches Géophysiques, CNRS, Garchy, 58150 Pouilly-sur-Loire.



mètres à l'ouest des formations burdigaliennes les plus septentrionales qui aient été répertoriées lors des travaux de cartographie géologique (GIGOT, 1973).

L'étude pédologique détaillée d'un secteur d'une surface de plusieurs milliers d'hectares, qui inclut le site, a montré que les sols sont développés dans des matériaux limono-argileux d'âge quaternaire (ARROUAYS *et al.*, 1989 ; DUVAL et ISAMBERT, 1992 ; OULD MOHAMED et BRUAND, 1994). L'étude pédologique a aussi révélé la présence de matériaux sableux à argilo-sableux non calcaires, intercalés entre la couverture limono-argileuse et les calcaires aquitaniens. Ces matériaux, présents en plusieurs endroits du secteur, ont des caractères analogues (présence de sables grossiers quartzeux et feldspathiques, absence de carbonates, couleur,...) à ceux des formations burdigaliennes (GIGOT, 1973) ; ils constituent l'objet de notre étude.

### 3. MÉTHODES D'ÉTUDE.

La composition et la distribution des matériaux sableux et argilo-sableux a été étudiée en couplant une prospection géophysique à des sondages mécaniques (BOTTRAUD *et al.*, 1984 ; HESSE *et al.*, 1986 ; DABAS *et al.*, 1989 ; LAMOTTE *et al.*, 1994 ; CHÉRY *et al.*, 1996). La prospection géophysique a été effectuée à l'aide d'un résistivimètre RMCA4 (SEPTA/CNRS). Un traîné électrique a tout d'abord été réalisé sur une longueur de 380 m (transect ABC) au mois d'octobre. Quatre espacements d'électrodes (quadripôle Wenner) ont été utilisés ( $a = 1, 2, 3$  et  $6$  mètres) afin d'étudier les variations de résistivité avec la profondeur (TABBAGH, 1992). Des sondages mécaniques ont ensuite été réalisés tous les 25 mètres le long de ce traîné électrique afin de décrire la succession des matériaux qui surmontent les calcaires aquitaniens et les variations d'épaisseurs de ces matériaux. Le quadripôle Wenner en  $a = 3$  mètres s'étant révélé être le mieux adapté pour délimiter les matériaux argilo-sableux, neuf profils électriques ont été réalisés au mois de janvier de l'année suivante selon la direction nord-sud et trois autres, selon la direction est-ouest, de façon à recouper au maximum la structure correspondant à la formation argilo-sableuse. Enfin, de nombreux sondages mécaniques ont été répartis sur le secteur afin de vérifier ponctuellement la présence de ces matériaux.

### 4. RÉSULTATS ET DISCUSSION.

#### 4. 1 Analyse de la formation à partir d'un traîné électrique.

Les quatre profils électriques ( $a = 1, 2, 3$  et  $6$  mètres) révèlent l'existence d'une anomalie dissymétrique le long du transect ABC, le gradient de résistivité apparente étant beaucoup plus élevé pour la limite nord que pour la limite sud de cette anomalie (figure 1). Cette anomalie s'observe sur tous les profils. La gamme de résistivité apparente enregistrée va de  $35 \Omega.m$  ( $a = 1$  m) à  $170 \Omega.m$  ( $a = 6$  m). Si l'on se reporte aux sondages électriques réalisés par CHÉRY (1995), les valeurs les plus faibles correspondaient à des résistivités de la formation limono-argileuse et les plus élevées, à celles du calcaire aquitainien.

Une pseudo-section a été établie à partir des quatre géométries de quadripôle utilisées en associant les mesures électriques sur un même profil (HALLOF, 1957 ; EDWARDS, 1977) (figure 2a). Les valeurs de résistivité électrique sont présentées avec une échelle arbitraire pour l'axe des ordonnées qui correspond à la profondeur. La dissymétrie de l'anomalie observée sur les profils électriques apparaît très nettement sur la pseudo-section.

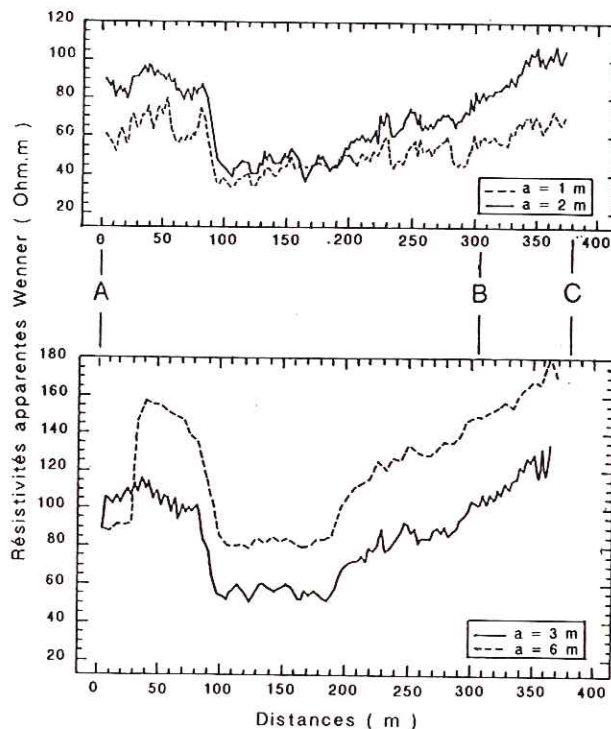


Fig. 1 - Profils électriques (quadripôles Wenner,  $a = 1, 2, 3$  et  $6$  mètres) le long du transect ABC.

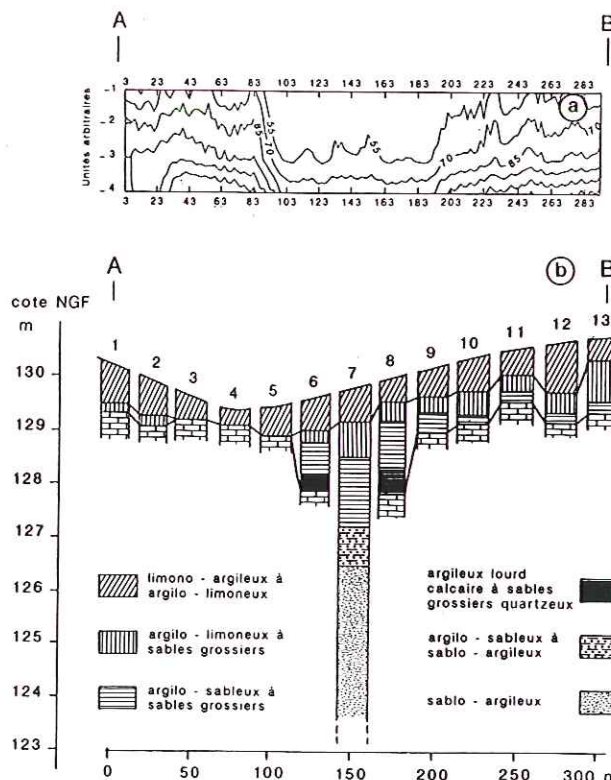


Fig. 2 - Pseudo-section établie à partir des profils électriques (a) et succession de matériaux observée lors des sondages mécaniques (b).

#### 4. 2 Composition granulométrique et minéralogique de la formation.

Les sondages mécaniques réalisés le long du transect AB (figure 2b) révèlent que l'anomalie correspond à la présence de matériaux sableux à argilo-sableux. La dissymétrie observée



lors de la prospection géophysique correspond effectivement à une dissymétrie dans la distribution des matériaux sableux à argilo-sableux le long du transect AB. Les matériaux varient dans une gamme très large qui va du sable argileux à l'argile lourde. La fraction sableuse est en majeure partie constituée de sables grossiers (200 à 2000  $\mu\text{m}$  de diamètre). C'est dans la partie centrale du transect, où les matériaux sableux à argilo-sableux ont plus de 5,50 mètres d'épaisseur, que cette gamme de variation de composition granulométrique est la mieux exprimée. En cet endroit, sous-jacent à la formation limono-argileuse, on observe la succession verticale descendante de matériaux sablo-argileux sur au moins trois mètres d'épaisseur puisque le calcaire aquitainien n'a pas été atteint. Plusieurs niveaux sablo-argileux à argilo-sableux présentent une teinte gris-bleu (5B 6/1) à gris-verdâtre (5G 4/1), traduisant ainsi un milieu réducteur. La présence du calcaire aquitainien à 2,0 mètres et 2,5 mètres de profondeur dans respectivement les sondages 6 et 8, et son absence à 6,20 mètres de profondeur dans le sondage 7, indiquent que la pente de la surface du calcaire est d'au moins 15 % entre ces deux sondages.

Les analyses effectuées pour les sondages 7 et 8 permettent de préciser les variations de composition granulométrique des matériaux rencontrés (figure 3). Dans le sondage 7, le rapport limon/sable indique deux discontinuités majeures dans les matériaux. Il varie de 11,0 à 15,8 dans les matériaux limono-argileux (de 0 à 0,65 m), puis de 3,2 à 4,9 dans les matériaux argileux lourds et argilo-sableux (de 0,65 à 1,50 m), et enfin de 0,1 à 0,5 dans les matériaux argilo-sableux et sablo-argileux plus profonds (de 1,50 à 6,20 m). Les analyses minéralogiques réalisées sur la fraction argile indiquent la présence de kaolinite et de minéraux 2:1 de type smectite et illite dans les quatre échantillons analysés. L'intensité relative des raies de diffraction 001 indique qu'entre 45 et 140 cm de profondeur, la proportion de smectite et, de façon plus limitée, celle de kaolinite, augmentent au détriment des minéraux argileux 2:1 non gonflants. Puis, plus en profondeur, seule la proportion de kaolinite augmente au détriment de l'ensemble des minéraux argileux 2:1. Cette évolution est cohérente avec les variations de la capacité d'échange cationique (CEC). Celle-ci croît de 48 à 55 cmol/kg jusqu'à 150 cm de profondeur, puis décroît pour atteindre environ 20 cmol/kg à 300 cm de profondeur et ne plus sensiblement varier jusqu'à la profondeur de 600 cm. Entre 300 et 600 cm, les valeurs de CEC sont certainement dues à la large prédominance de kaolinite dans la fraction argile. La diminution de CEC à partir de la profondeur de 150 cm correspond à l'augmentation très nette de la teneur en sable grossier ainsi qu'à la très forte diminution du rapport limon/sable.

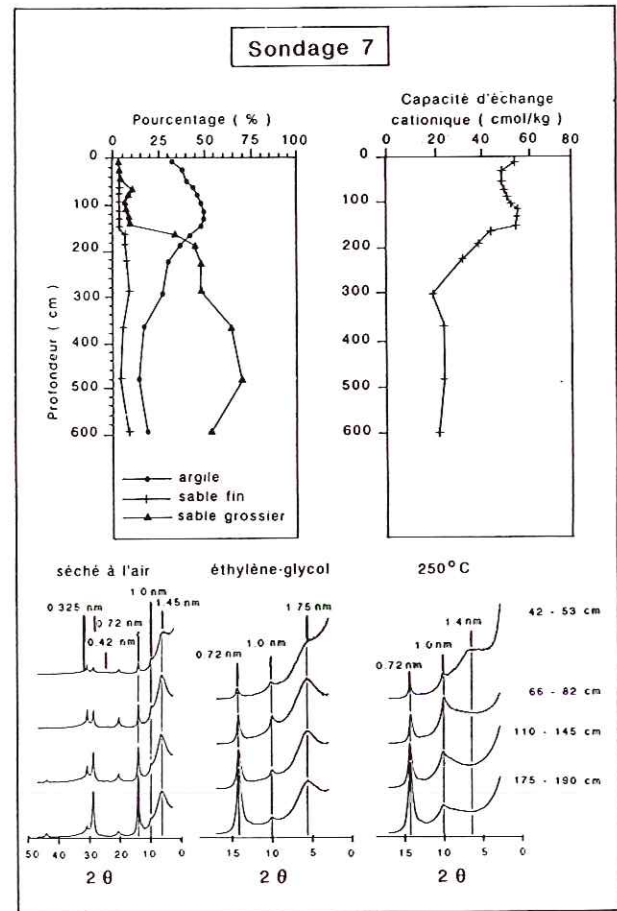
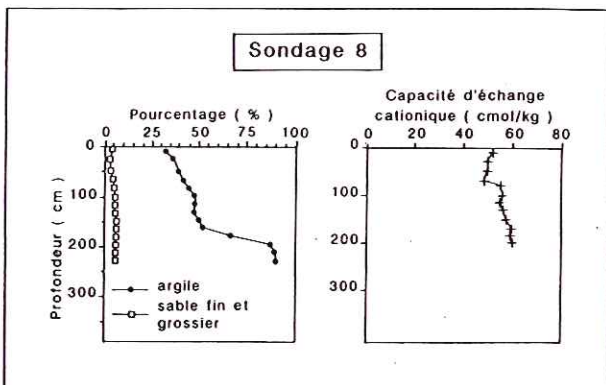


Fig. 3 - Composition granulométrique et capacité d'échange cationique de la fraction argile dans les sondages 7 et 8 et diffractogrammes de rayons X de la fraction argile à plusieurs profondeurs dans le sondage 7.

Dans le sondage 8, le rapport limon/sable indique aussi deux discontinuités majeures dans les matériaux. Il varie de 22,1 à 33,3 dans les matériaux limono-argileux (de 0 à 70 cm), de 11,0 à 16,8 dans les matériaux argilo-limoneux et argilo-sableux et de 2,7 à 8,2 dans les matériaux argilo-calcaires (de 200 à 230 cm). La CEC est comprise entre 48 et 52 cmol/kg dans les matériaux argileux puis elle est voisine de 60 cmol/kg dans les matériaux argilo-limoneux et argilo-calcaires (figure 3), ce qui indique une proportion élevée de smectite dans la fraction argile.

#### 4. 3 Extension de la formation à partir des données de la prospection électrique.

L'anomalie identifiée sur le transect ABC est suffisamment nette pour qu'une prospection systématique ait pu être envisagée afin de rechercher l'extension latérale de cette anomalie. Les valeurs de résistivité apparente correspondant à l'anomalie se sont révélées plus faibles au mois de janvier (20 - 30  $\Omega\cdot\text{m}$ ) (figure 4) qu'au mois d'octobre précédent (50 - 60  $\Omega\cdot\text{m}$ ) (figure 1). Cette différence s'explique par une teneur en eau des sols plus élevée au mois de janvier. La carte d'isoresistivité électrique apparente a été établie à partir des 12 profils électriques réalisés avec un écartement de 3 mètres (figure 4). La comparaison avec le transect AB indique que la présence de matériaux sableux à argilo-sableux correspond au mois de janvier à des résistivités apparentes inférieures à 40  $\Omega\cdot\text{m}$ . Si l'on interprète la





courbe d'isorésistivité 40  $\Omega$ .m comme étant la limite de la formation sableuse à argilo-sableuse, la surface occupée par cette formation est d'une quinzaine d'hectares et sa limite est très sinueuse. Tous les sondages mécaniques effectués par la suite dans la zone de résistivité apparente inférieure à 40  $\Omega$ .m indiquent effectivement la présence de matériaux sableux à argilo-sableux sous la couverture limono-argileuse dont l'épaisseur varie de 70 à 90 cm au droit de ces matériaux (figure 4 b). En revanche, les matériaux sableux à argilo-sableux n'ont pas été observés pour les sondages effectués hors de la zone de résisti-

tivité inférieure à 40  $\Omega$ .m, excepté pour un sondage où leur épaisseur n'était que de 25 cm (figure 4 b). En de nombreux points de sondage, le calcaire n'a pas été atteint à 3 mètres de profondeur dans la zone de résistivité inférieure à 40  $\Omega$ .m. Ainsi que l'indiquaient déjà les sondages du transect AB, ces nouveaux sondages associés à la prospection géophysique montrent que les matériaux sableux à argilo-sableux comblent une dépression à la surface du calcaire aquitainien.

Enfin, la carte de résistivité apparente indique la présence d'une discontinuité dans les matériaux sableux et argilo-sableux à l'est du secteur, ce qui est confirmé par les sondages mécaniques (figure 4). La dépression a environ 200 à 300 mètres de large dans la partie centrale du site ; elle se prolonge vers l'ouest par un diverticule étroit de 50 à 100 mètres de large, l'épaisseur des matériaux sableux à argilo-sableux est au moins de plusieurs mètres (figure 4). A l'extrémité ouest du secteur étudié, un sondage a été effectué jusqu'à 5,20 mètres de profondeur sans que le calcaire n'ait été atteint.

## 5. CONCLUSION.

Les matériaux sableux à argilo-sableux intercalés entre les calcaires aquitaniens et la couverture limono-argileuse quaternaire, présentent en un même endroit et sur seulement quelques mètres d'épaisseur, une très large gamme de compositions granulométrique et minéralogique. Ces matériaux, qui ont été décrits comme étant des placages d'âge burdigalien sur les calcaires aquitaniens, apparaissent être une formation de remplissage de dépressions d'extension limitée, mais à relief très accusé dans le toit des calcaires aquitaniens.

Cette étude a par ailleurs montré que, même lorsque les formations sableuses à argilo-sableuses sont de faible extension en surface, elles peuvent avoir une épaisseur supérieure à plusieurs mètres sans qu'elles ne soient repérables en surface par une quelconque variation de topographie. De telles formations ont été repérées ponctuellement en de nombreux endroits à l'ouest et au nord-ouest de la Beauce lors de prospections pédologiques. Ces formations seraient par conséquent beaucoup plus souvent présentes sur les calcaires aquitaniens qu'on l'admet généralement.

---

**REMERCIEMENTS :** Cette étude a été réalisée dans le cadre des activités du réseau GEOFCAN (Approche géophysique et structurale de l'Organisation spatiale et du Fonctionnement des Couvertures pédologiques Anthropisées ou Naturelles) et a bénéficié d'un soutien financier du Conseil Régional de la Région Centre.

Les auteurs remercient Monsieur P. PERDEREAU (Ferme de Machelainville) pour les facilités qui leur ont été offertes lors de la réalisation de cette étude.

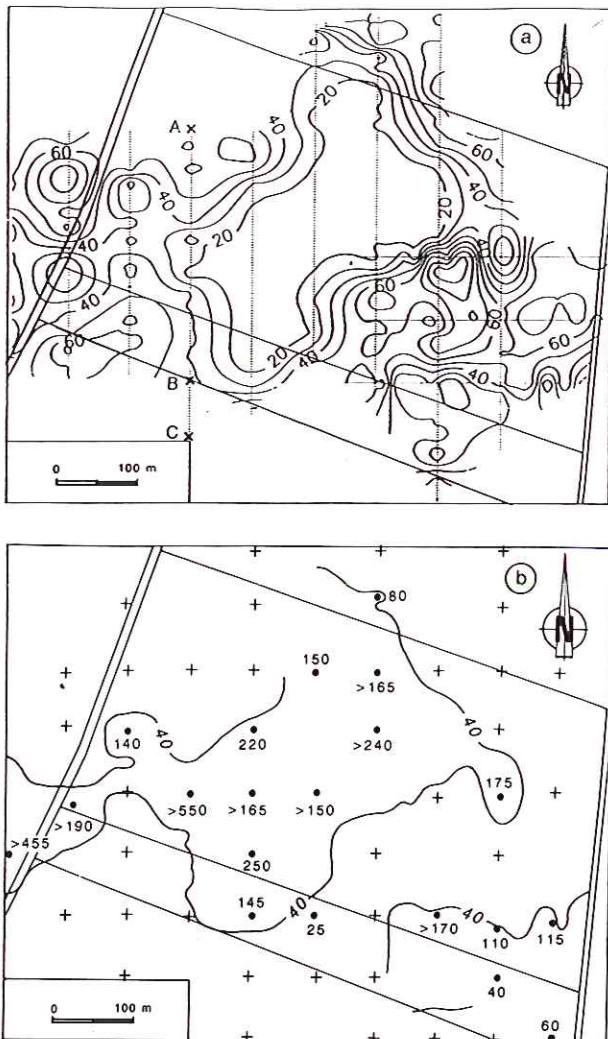


Fig. 4 - Carte de résistivité apparente réalisée à partir de 12 profils électriques (quadripôle Wenner,  $a = 3$  mètres) (a) et carte de localisation des sondages mécaniques (b). Les points signalent la présence des matériaux sableux à argilo-sableux dont l'épaisseur est indiquée en centimètres. Les croix indiquent que le calcaire aquitainien a été atteint sans rencontrer de matériaux sableux à argilo-sableux.

## BIBLIOGRAPHIE

- ARROUAYS D., DUVAL O., RENAUX B. (1989) – Esquisse des paysages pédologiques du Loiret. Notice explicative de la carte pédologique du Loiret à 1/250 000. SESCOF, INRA, Orléans, 185 p.
- BOTTRAUD J.-C., BORNAND M., SERVAT E. (1984) – Mesures de résistivité apparente appliquées à la cartographie en pédologie, *Science du Sol*, 4, 1984, p. 279-294.
- CHÉRY P. (1995) – Variabilité de l'épaisseur de la couverture de sol. Conséquence pour le bilan hydrique hivernal d'un secteur de Petite Beauce. *Thèse de Doctorat*, Université de Nancy, INRA, Orléans, 263 p.
- CHÉRY P., DABAS M., BRUAND A., VOLTZ M. (1996) – Epaisseur de la couverture de sol et prospection géophysique par des méthodes électriques : étude de cas en Petite Beauce. *Géologues*, 109, p. 17-23.
- DABAS M., HESSE A., JOLIVET A., TABBAGH A. (1989) – Intérêt de la cartographie de la résistivité électrique pour la connaissance du sol à grande échelle. *Science du Sol*, 27, 1, p. 65-68.
- DUVAL O. & ISAMBERT M. (1992) – Notice explicative de la carte pédologique de Villamblain. Document INRA, 38 p.
- EDWARDS L.-S. (1977) – A modified pseudosection for resistivity and induced polarization. *Geophysics*, 42, p. 1 020-1 036.
- GIGOT C. (1973) – Notice explicative de la carte géologique à 1/50 000. Feuilles de Patay (XXI-19), BRGM, Orléans, 18 p.
- HALLOF P.-G. (1957) – On the interpretation of resistivity and induced polarization measurements. Thesis, MIT, Cambridge, MA (non publié).
- HESSE A., JOLIVET A., TABBAGH A. (1986) – New prospects in shallow depth electrical surveying for archaeological and pedological applications, *Geophysics*, 51, 3, 1986, p. 585-594.
- LAMOTTE M., BRUAND A., DABAS M., DONFACK P., GABALDA G., HESSE A., HUMBEL F.-X., ROBAIN H. (1994) – Distribution d'un horizon à forte cohésion au sein d'une couverture de sol aride du nord Cameroun : apport d'une prospection électrique. *C. R. Acad. Sc.*, Paris, t. 318, série II, 7, p. 961-968.
- LORAIN J.-M. (1973) – La géologie des calcaires de Beauce. In : Le calcaire de Beauce. *Bull. Liaison Labo. P. et Ch.*, spécial U, p. 14-53.
- MACAIRE J.-J. (1971) – Etude sédimentologique des formations superficielles sur le tracé de l'autoroute A 10 entre Artenay et Meung-sur-Loire. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Université d'Orléans, 104 p.
- MACAIRE J.-J. (1972 a) – Sur le limon de la Beauce au Nord-Ouest d'Orléans (Loiret). *C. R. Acad. Sc.*, Paris, t. 274, p. 1892-1895.
- MACAIRE J.-J. (1972 b) – Le limon des plateaux dans le Loiret sur le tracé de l'Autoroute A 10. *Bull. Liaison Labo P. et Ch.*, 61, p. 37-41.
- MÉNILLET F. (1981) – Les lithofaciès des calcaires de Beauce (Stampien supérieur et Aquitanien) du Bassin de Paris (France). *Bull. BRGM*, section IV, 1, p. 15-55.
- OULD MOHAMED S. (1995) – Etude du fonctionnement hydrique hivernal d'un sol limono-argileux de Petite Beauce. Application d'un modèle d'infiltration sur la lixiviation du nitrate. Thèse de Doctorat, Université d'Orléans, 196 p.
- OULD MOHAMED S. & BRUAND A. (1994) – Morphology, location in voids and origin of secondary calcite in soils from Beauce (France). In : *Soil Micromorphology : studies in management and genesis*. A.J. Ringrose Voase and G.S. Humphreys (eds). Proc. IX Working Meeting on Soil Micromorphology. Townsville, Australia, July 1992, Developments in Soil Science 22, Elsevier, Amsterdam, p. 27-36.
- TABBAGH A. (1992) – Sur la comparaison entre la prospection électrique et trois méthodes de prospection électromagnétique pour la détection de contrastes de résistivité associés aux structures archéologiques. *Prospezioni Archeologiche*, 10, 49-63.

