

LES FRAGIPANS DES SOLS LESSIVES GLOSSIQUES DU
BAS-BOCAGE VENDEEN (France).

par

Jacques DUCLOUX ⁽¹⁾ et Jacques RANGER ⁽²⁾

Etude effectuée dans le cadre du programme de travail de l'Equipe de Recherche Associée du Centr National de la Recherche Scientifique n° 220 (Pédologie des Pays Atlantiques).

Dans le Sud du Massif Armoricaïn, les sols du Bas-Bocage vendéen se développent dans une couverture plus ou moins continue de "limons des plateaux".

Ce sont des "sols lessivés glossiques" à profils homogènes, assez fortement engorgés pendant la période hivernale. Ils renferment dans leurs horizons illuviaux des fragipans (RANGER, 1.974; DUCLOUX et RANGER, 1.975).

Nous cherchons ici à caractériser ces horizons dont l'influence conditionne pour une large part l'économie en eau des sols qu'ils affectent.

Rappelons brièvement que la région est formée par un socle cristallophyllien et comporte actuellement un climat de type atlantique (pluviométrie de 780 mm/an; température moyenne annuelle de 11,8°C; température minimale moyenne du mois le plus froid de 2,2°C, à la Roche-sur-Yon-Vendée -).

(1) Laboratoire de Pédologie - Faculté des Sciences. 86022. POITIERS. France.

(2) Station de Recherches sur les sols forestiers. INRA. 54280. CHAMPNOUX-SEICHAMPS. France.

ORIGINE DU FRAGIPAN.

Les modes d'existence des horizons à fragipans sont très variés si bien que les auteurs n'ont pas tous la même opinion sur leur origine; ainsi du point de vue génétique peut-on dégager deux tendances:

- . La première envisage une origine mixte :
 - climatique tout d'abord, à effets marqués en climat périglaciaire, provoquant l'induration du pan, essentielle - ment par dessèchement et tassement;
 - pédologique ensuite, induisant la cimentation des agrégats.

On peut citer les travaux de FITZPATRICK (1.956), CRAMPTON (1.965), LOZET et HERBILLON (1.971), PLAISANCE (1.965), qui ont porté sur des régions où le climat périglaciaire a réellement existé.

. La deuxième tendance est partisane d'une origine pédologique stricte. Les arguments principaux émanent des notes de YASSOGLOU et al. (1.960), de JHA et al. (1.963), de GROSSMANN et CARLISLE (1.969) qui font remarquer que cet horizon peut se rencontrer dans les zones non soumises aux conditions froides comme la Louisiane aux U. S. A.

D'autres auteurs, comme JAMAGNE et HEBERT (1.964) pensent que "la présence d'un fragipan fortement développé semble liée à un degré d'évolution très poussé au sein d'un matériau de texture fine, en relation avec des conditions extrêmes d'économie en eau". NETTLETON et al. (1.968) concluent que "the degree of natural drainage or degree of wetness has an influence on fragipan formation". Pour ces derniers auteurs, il existerait en outre une relation entre la teneur de ces horizons en minéraux altérables, l'âge des surfaces géomorphologiques sur lesquelles on les rencontre et le développement du fragipan. Enfin il faut signaler l'étude synthétique de GROSSMANN et CARLISLE (1.969) pour lesquels la formation de cet ho

rizon en relation avec des conditions climatiques ("catas-trophic development") n'est pas admissible partout.

PROPRIETES MORPHOLOGIQUES ET PHYSIQUES.

Nous avons observé plus ou moins nettement toutes les propriétés morphologiques qu'on attribue communément aux horizons de fragipans.

- Certains horizons illuviaux possèdent des plans de clivage verticaux blanchâtres qui définissent des polygones de 50 cm environ dans leur plus grande largeur. Les prismes ainsi définis possèdent une sous-structure feuilletée.
- A l'état frais, les agrégats ont tendance à "exploser" sous faible pression; par contre, à l'état sec, ils sont très résistants.
- Leur limite avec les horizons supérieurs est nette alors que la transition inférieure est graduelle.
- Leur profondeur est variable; ils s'étendent le plus souvent vers 50-75 cm sous des horizons texturaux très dégradés, ou des A et Bg.
- Par contre, ils ne se développent pas parallèlement à la surface morphologique actuelle, et peuvent être ravinés.
- Les racines qui pénètrent peu dans les prismes, se localisent surtout à leurs interfaces.

Une des propriétés physiques essentielles des fragipans est leur densité apparente très élevée (de l'ordre de 1,8 à 1,9 suivant les profils). Elle s'accompagne d'une porosité totale inférieure à 30 %. (tableau n° 1).

	A ₁	B _{tg}	B ₂₁ tgx	B ₂₂ tgx	B ₃ tg
Densités :					
réelle	2.53	2.73	2.68	2.63	2.64
apparente	1.02	1.48	1.90	1.90	1.74
Porosité					
p. cent	60	46	29	27	34
H ₂ O pF3	26	21	17	18	19

Tableau 1 : Caractéristiques physiques comparées
d'horizons avec et sans fragipan.

PROPRIETES MICROMORPHOLOGIQUES.

DU POINT DE VUE QUALITATIF, les caractéristiques micromorphologiques diffèrent assez peu des horizons illuviaux aux fragipans. Il semble néanmoins que d'une façon générale, les variations apparaissent sur trois points:

- L'assemblage élémentaire passe du type intertexturé à porphyrosculpté dans les fragipans;
- L'assemblage plasmique, tout d'abord insqueisépique devient vomasépique par zones. Des séparations plasmiques apparaissent;
- les vides intrapédiques diffèrent aussi. Les plus souvent, les chambres et les chenaux font place à des fissures, des fentes tapissées d'argilanes (vides méta). De petits agrégats, peu apparents macroscopiquement, ainsi définis pourraient exprimer le caractère "explosif" qui apparaît par pression.

QUANTITATIVEMENT, les fragipans se distinguent nettement. Le tableau 2 regroupe les résultats obtenus par prospection des lames minces à l'aide d'un compteur de points ($x = 1/6$ mm, $y = 1/4$ mm). Nous avons compté au minimum 1600 points par lame. Ceci permet de repérer avec 95 p. cent de certitude tous les constituants qui occupent au moins 1 p. cent de la surface totale de la lame (VAN DER PLAS et TOBI, 1.965).

On remarque en particulier la diminution des vides dans le pan, alors que les cutanes qui leur sont associés augmentent. L'augmentation de densité semble en relation directe avec celle du colmatage de la porosité par les argilanes et les argilasquelétanes.

	Plasma	Argilas- queletanes	Argilanes		Papules	Vides intra- pédiques
			de grains	de vides		
A ₁	80.3	-	-	-	-	19.7
A ₂	91.5	-	-	-	-	8.5
B ₁ tg	78.3	-	2.7	1.7	4.4	12.7
B ₂ tgx	79.1	4.5	3.3	5.5	2.9	4.7
B ₂₂ tgx	93.0	4.1	1.1	0.9	1.0	4.0

Tableau 2 : Traits micromorphologiques
(exprimés en p. cent de volume)

PROPRIETES CHIMIQUES.

En fait, les propriétés chimiques des fragipans ne semblent guère différentes de celles des horizons texturaux non indurés.

Cependant, elles ont attiré les chercheurs qui, à travers elles, tentent de définir les raisons de leur fragilité à l'état frais, de leur dureté à l'état sec, et de la réversibilité du phénomène.

On a fait appel à l'existence de tenons ou ponts chimiques entre les éléments constitutifs des agrégats, liens au demeurant très variables suivant les auteurs:

- réalisés par les argiles cristallines ou non (NETTLETON et al, 1.968), pouvant jouer le rôle de "mortier" entre les "briques" de silt (JHA et al, 1.963).

- formés par la silice (hypothèse à peu près rejetée), les hydroxydes de fer (ANDERSON et al, 1.958), d'aluminium (YASSOGLOU et al, 1.970), on les deux (CRAMP - TON, 1.965; HORN et al, 1.965; EMERSON et DETTMAN, 1.960);

- formés par des films aqueux (hypothèse rejetée).

Quand aux mécanismes précis du tenon, c'est principalement la liaison hydrogène qui est mise en cause. Ainsi NETTLETON et al (1.968) ont montré un maximum d'absorption I. R. à $2,9\mu$, caractéristique de la vibration (H-OH). Ils concluent à la présence d'argile non cristalline qui assurerait le tenon.

C'est à partir de ces divers travaux que nous avons essayé de comprendre le phénomène.

- En premier lieu, on constate que l'évaluation de la teneur en produits amorphes n'est absolument pas discriminatoire quel que soit la méthode employée. Le tableau 3 en rend compte.

	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	Total amorphes
Btg	6.24	1.38	0.60	8.22
B ₂₁ tgx	5.86	1.35	0.93	8.14
B ₂₂ tgx	5.77	1.16	0.69	7.62
B ₃ tg	5.90	1.28	0.71	7.89

(en p. cent d'oxyde)

Tableau 3 : Teneur en produits amorphes de la fraction inférieure à 2 μ .

Méthode De CONINCK et al (1969).

- D'autre part, nous avons cherché à mettre en évidence le mode de dissolution de ces amorphes de façon dynamique en employant la méthode préconisée par SEGALLEN (1.968), puis en étudiant les courbes de vitesse de dissolution (QUANTIN et LAMOUROUX, 1.973).

Les courbes groupées par échantillon permettent de comparer le comportement des différents éléments (figure n° 1).

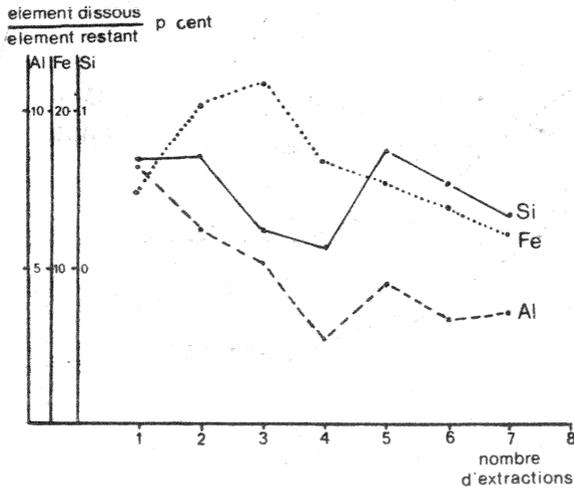
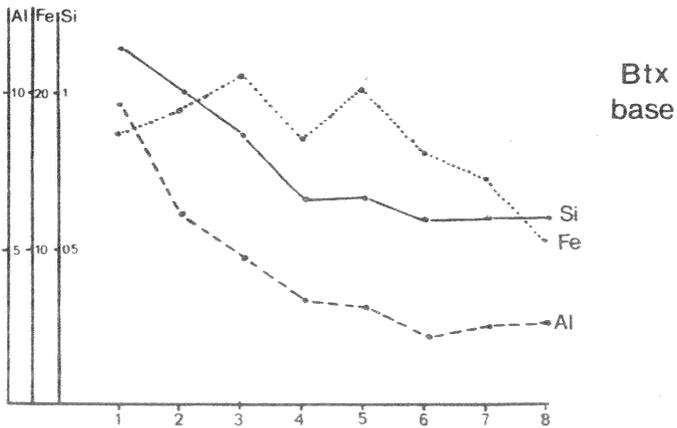
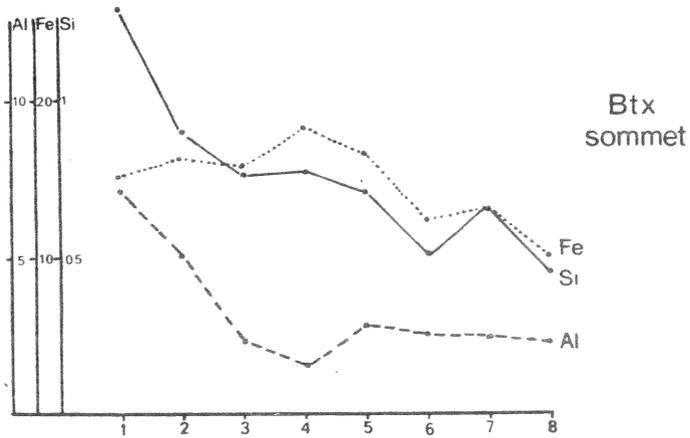


Figure 1 - COURBES DE VITESSE DE DISSOLUTION DES PRODUITS AMORPHES. →

FRAGIPANS DE L' OUEST DE LA FRANCE



Dans la partie supérieure du fragipan, silice et fer-
ont des courbes de vitesse d'extraction de même allure.

Dans le non-fragipan, ce sont silice et aluminium qui
forment un couple.

L'horizon inférieur à fragipan semble se comporter de façon intermédiaire.

On mettrait ainsi en évidence les différentes liaisons que les éléments pourraient avoir contractées entre eux.

Par contre, des mesures d'absorption infra-rouge sur pastilles de bromure de potassium-argile n'ont pas particulièrement mis en évidence dans le fragipan les bandes caractéristiques à 3448 cm^{-1} des liaisons H-OH, responsables pour certains (NETTLETON et al, 1.968) de la cohésion (figure n° 2).

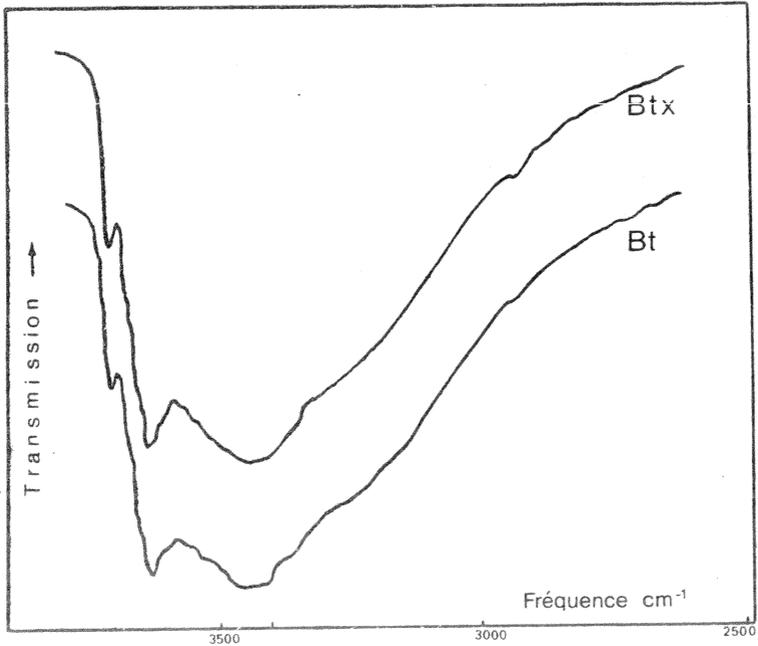
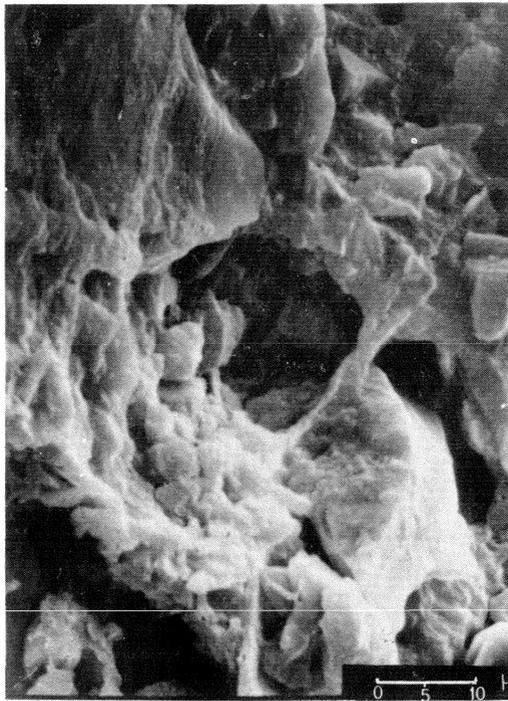


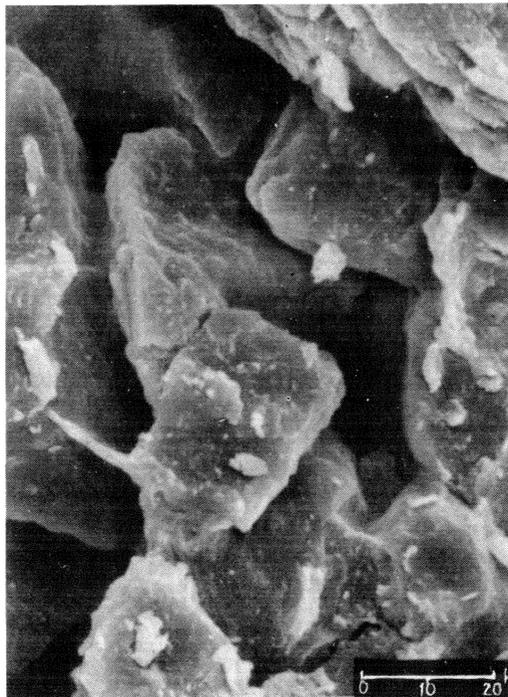
Figure 2 - COURBES D'ABSORPTION INFRA-ROUGE SUR DES ARGILES D'HORIZONS TEXTURAUX AVEC ET SANS FRAGIPAN.

On peut penser que la charpente assurant les tenons serait assurée par des matériaux aluminosilicatés stabilisés par des oxydes de fer plus ou moins cristallisés. C'est également l'opinion de GROSSMAN et CARLISLE (1.969) qui font intervenir argile et hydroxydes de fer. C'est aussi celle d'EMERSON et DETTMANN (1.960) qui voient des liens entre cations trivalents et argile.

Le microscope électronique à balayage montre l'existence de liens et de ponts qui semblent assurer la cohésion de l'architecture pédique : la trame fine qui enserre dans ses mailles des grains du squelette et des masses plasmiques paraît constituée par des argiles adhérant fortement à leur support (figures 3 et 4). Ces observations sont largement confirmées par celles de LYNN et GROSSMAN (1.970) qui décrivent des "connecting strands of fine material lend rigidity. Such an organization would seem consistent with brittle failure".



Figures 3 et 4 - Microstructure d'agregats de fragipan
Microscope electronique a balayage



DISCUSSION ET CONCLUSION

En définitive, si les fragipans s'individualisent nettement des points de vue morphologique et physique, par contre, leurs critères chimiques ne semblent pas expliquer clairement leurs caractères spécifiques.

Les travaux expérimentaux de BERTOUILLE (1.972), sur la consolidation des sols fins sous l'effet du gel devraient pourtant contribuer à préciser la genèse sous conditions périglaciaires.

Cet auteur a montré en effet que le régime thermique imposé au sol provoque des phénomènes qui sont à l'origine de la structuration : migrations osmotiques et phorétiques en particulier.

Pour des causes thermodynamiques complexes, dans les sols fins, humides, soumis au gel brutal, l'eau migre de la zone chaude à la zone froide superficielle. L'eau interne joue un rôle capital en délimitant les plans où s'effectue la ségrégation de glace.

Plusieurs phases, auxquelles correspondent des structures nouvelles, apparaissent successivement. D'abord, la partie superficielle du sol gèle rapidement (phase statique), puis l'eau entre en mouvement (phase osmotique); en fin l'optimum du processus correspond au moment où tous les éléments mobiles (eau, sels, ions, colloïdes) entrent en mouvement (phase osmophorétique).

Pendant la phase osmotique, apparaissent successivement les structures primative, polyédrique, en réseaux orthogonaux et microfouillétée.

Le phénomène de consolidation est provoqué par l'inertie du matériau vis-à-vis de l'appel d'eau; la limite de la zone consolidée est parallèle à la surface du sol.

Cette expérience permettrait donc de valider l'hypothèse mixte de formation des fragipans: pendant une période périglaciale, le gel affecterait des matériaux fins, parfois altérés, faisant apparaître une structuration et des traits particuliers (concentrations de substances, etc..).

FRAGIPANS DE L OUEST DE LA FRANCE

La pédogénèse ultérieure pourrait ensuite incorporer des caractères semblables aux siens.

Bertouille signale en effet que "la ségrégation des hydroxydes de fer et d'alumine sur les faces structurales, (enduits-coatings) pourraient être stabilisés" par.... "certaines actions postérieures au gel". Il faudrait entendre par là pédogénèse et la dessiccation.

Ces résultats expérimentaux dépassent largement le cadre strict de l'étude des fragipans.

En effet, si les mécanismes observés "in vitro" se développent effectivement ainsi dans la nature, on peut être amené à nuancer les hypothèses qu'on peut faire sur l'évolution et la différenciation des sols polycycliques de nos régions.

Quoiqu'il en soit, les sols lessivés glossiques du Bas-Bocage vendéen semblent bien résulter des effets pédogénétiques qui s'y sont cumulés du Riss-Würm à nos jours.

RESUME

Les sols lessivés glossiques du Bas-Bocage vendéen (France) possèdent des horizons illuviaux dont les caractères morphologiques appartiennent aux Fragipans.

L'étude microscopique en précise les traits : assemblage élémentaire porphyrosquélitique, assemblage plasmique vomasépique par zones, fissures étroites déterminant des microagrégats anguleux. Les données quantitatives mettent de plus en évidence le colmatage de la porosité par les argilanes et les argilasquélétanes.

Les propriétés chimiques, associées à des observations au Microscope électronique à balayage, semblent expliquer la cohésion du pan : il s'agirait d'une trame minérale faisant intervenir des produits amorphes, en créant une microstructuration.

Enfin, du point de vue génétique, les fragipans vendéens semblent s'être formés dans des conditions associant des actions climatiques et pédologiques.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSON, J.U. et WHITE, J.L. (1.958). A study of fragipan in some Southern India soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22, 450-454.
- BERTOUILLE, H. (1.972). Effet du gel sur les sols fins. Rev. Géomorph. dynam., n° 2, XXI, 71-84.
- CRAMPTON, C.B. (1.965). An indurated horizon in soils of South Wales. Soil Sci. 16, (2), 230-241.
- DÉ CONINCK, F. et HERBILLON, A. (1.969). Etude minéralogique et chimique des fractions argileuses dans les alfisols et les spodosols de la Campine (Belgique). Pedologie. XIX, 2, 159-272. Qand.
- DUCLoux, J. et RANGER, J. (1.975). Les sols lessivés glossiques des limons du Bocage vendéen méridional. Ann. Soc. Sc. Nat. de la Charente Marit. VI, 2, 115-132.
- EMERSON W.W. et DETTMANN M.G. (1.960). The effect of pH on the wet strength of soils crumbs. Journ. Soil Sic. 11, 149-158.
- FITZPATRICK, E.A. (1.956). An indurated soil horizon-formed by permafrost. Journ. Soil Sic, 7,2, 248-254.
- GROSSMANN, R.B. et CARLISLE, F.J. (1.969). - Fragipan soils of the Eastern United States. Adv. Agron. 21, 237-279.
- HEBERT, J. et JAMAGNE, M. (1.964). - Sols à fragipan en Haute-Brie. C.R. VIII Congr. Soc. intern. Sci. Sol. Budapest. V, 359-372.
- HORN, M.E. et RUTLEDGE, E.M. (1.965). - The Dickson and Zanesville soils of Washington County, Arkansas. II. Micromorphology of their fragipans. Soil. Sc. Soc. Amer. Proc. 29, 443-448.
- JHA, P.P. et CLINE, M.G. (1.963). - Morphology and genesis of a sol brun acide with fragipan in uniform silty material. Soil Sci. Soc. Amer. Proc, 27, 339-344.

FRAGIPANS DE L'OUEST DE LA FRANCE

- LAMOUREUX, M. et QUANTIN, P. (1.973). - Utilisation de courbes de vitesse de dissolution dans la méthode cinétique de Ségalen. Cah. ORSTOM. Pédol., XI, 1, 3, 14.
- LOZET, J.M. et HERBILLON, A. J. (1.971). - Fragipan soils of Condroz (Belgium) mineralogical, chemical and physical aspects in relation with their genesis. Geoderma. 5, 4, 325-344.
- LYNN, W. C. et GROSSMANN, R. B. (1.970). - Observations of certain soils fabrics with the Scanning Electron Microscope. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34, 645-648.
- NETTLETON, W. D. Mc. CRACKEN, J. et DANIELS, R. B. (1.968). - Two north Carolina Coastal Plain Catenas. I. Morphology and Fragipan development. II. Micromorphology, composition and Fragipan genesis. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 32, 577-587.
- PLAISANCE, G. (1.965). - Les sols à marbrures de la forêt de Chaux (Jura). Thèse Nancy. 1 vol. Imp. G. Thomas.
- PLAS (VAN DER), L. et TOBI, A. C. (1.965). - A chart for judging the reliability of point counting results. Amer. Journ. Sc., 263, p. 87-90.
- RANGER, J. (1.974). - Les sols sur limons du Bocage vendéen méridional. Thèse spécialité. Univ. Poitiers. 1 vol. , 119 p.
- SEGALEN, P. (1.968). - Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à sesquioxydes. Cah. ORSTOM. Pédol. , VI, 1, 105-126.
- YASSOGLU, N. J. et WHITESIDE, E. P. (1.960). - Morphology and Genesis of soils containing fragipan. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 24, 396-407.