

# Rôle du fer dans l'organisation des matériaux kaoliniques

## *Études expérimentales*

Armand CHAUVEL\*

O.R.S.T.O.M.  
Pédologie  
24, rue Bayard  
75008 Paris

Georges PEDRO

I.N.R.A.  
Station de Science du Sol  
C.N.R.A., Versailles

Daniel TESSIER

---

### SOMMAIRE

*Les méthodes de mesure d'orientation basées sur la diffraction des rayons X, l'observation en microscopie électronique à balayage et les tests de réactivité des argiles (gonflement, dispersion...) sont ici appliqués à l'étude de différents systèmes « kaolinite-fer » naturels et artificiels.*

*L'organisation des matériaux et leur comportement résulteraient dans ces systèmes, d'une part du rôle de « ciment » entre les particules primaires exercé par les composés du fer, d'autre part de l'action spécifique des ions ferriques qui peuvent se fixer en petite quantité pour compenser les charges superficielles des cristallites d'argile. Ces deux actions déterminent la constitution d'unités morphologiques plus ou moins complexes et en second lieu leur mode d'association au sein du matériau.*

### INTRODUCTION

Il est connu depuis longtemps que les sols rouges plus ou moins ferrifères sont mieux structurés que des sols de même constitution dépourvus de fer. C'est ainsi que des sols ferrallitiques profonds contenant dans certains cas jusqu'à 80 % d'argile font apparaître par exemple une structure très stable et sont caractérisés par une perméabilité remarquable (cf. LX 319 Koutaryé et LX 444 Nabatyé, M. LAMOUREUX, 1972). D'un autre côté, il est classique de voir des sols ferrallitiques à très forte teneur en argile ne pas manifester une texture argileuse (cf. A. LEVEQUE 1967, A. CHAUVEL et G. MONNIER (1967) ; tout se passe alors comme si une partie de l'argile était « masquée » de manière relativement stable au sein de particules plus grossières qu'on appelle des pseudo limons, des pseudo sables... et de façon plus générale des « pseudoparticules ». La présence de fer semble donc pouvoir modifier certaines caractéristiques des argiles et en particulier celles liées à leur réactivité et à leur comportement. On comprend dans ces conditions que les liaisons « fer-argile » aient pu intéresser depuis longtemps les pédologues. Il suffit de citer à cet effet les travaux de J.-F. LUTZ (1936), G. BARBIER (1938), J.-J. FRIPIAT et M.-C. GASTUCHE (1952), et plus récemment ceux de E.-A. FOLLET (1965), TRAN VIN ANH (1967), U. SCHWERTMANN (1969), A.-W. FORDHAM (1969) et

---

(\*) Actuellement Station de Science du Sol. C.N.R.A. Versailles.

A. BLACKMORE (1972). Mais, d'une manière générale, toutes ces recherches portaient beaucoup plus sur la fixation du fer que sur son rôle dans l'organisation des matériaux argileux. Aussi, avons-nous été amenés à aborder ce problème en considérant principalement ce dernier aspect. Il faut ajouter ici que cette opération a été d'autant plus réalisable que nous disposons d'une série de techniques appropriées à ce genre d'études :

- Méthode de mesure d'orientation basée sur la diffraction des rayons X (D. TESSIER, 1975 - cf. dans ce numéro D. TESSIER et G. PEDRO, 1976) ;
- Méthode d'observation en microscope électronique à balayage ;
- Méthodes de mesure de la réactivité des argiles (gonflement, dispersabilité).

## A. — PROTOCOLE EXPERIMENTAL

### 1. OPERATION ET MESURES :

Le but de ces expériences n'était pas d'étudier l'organisation à toutes les teneurs en eau, comme cela a pu être réalisé dans d'autres essais (D. TESSIER, 1975) ; on s'est donc borné à étudier l'arrangement à deux stades particuliers : celui caractérisé par la capacité de rétention, donc correspondant à un sol ressuyé, et celui relatif à l'état sec. A cet effet, on prépare une pâte (argile kaolinique additionnée ou non d'une quantité donnée de  $Fe_2O_3$ ), on la verse sur un Büchner et on provoque le ressuyage sous une trompe à vide (cf. fig. 1). On aboutit ainsi à une galette qui va servir de matériau d'étude. A cet état d'humidité, on mesure tout d'abord le **diamètre** et l'**épaisseur** de la galette ( $e_0-d_0$ ), puis sur un fragment de l'échantillon, on réalise un spectre de diffraction X afin de déterminer le degré d'orientation. On sèche ensuite l'échantillon à l'étuve à 40°C, de façon à évaluer les valeurs e et d correspondant à la galette desséchée.

Ceci étant, sur un fragment donné, on détermine les volumes apparents successivement à l'état sec et à l'état humide (si on est en humectation), ou vice-versa (si on est en dessiccation).

### 2. DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES DES ECHANTILLONS :

Les déterminations effectuées concernent,

- d'une part, une évaluation de l'**orientation** des particules argileuses dans l'organisation étudiée ;
- d'autre part, une mesure de la **réactivité** du matériau vis-à-vis de l'eau : détermination du **gonflement potentiel**.

#### a) Orientation des particules :

On peut en avoir une idée de deux manières (D. TESSIER, 1975) :

- Directement après examen du spectre de rayons X, en déterminant le paramètre

$$R = \frac{I_{\max}}{I_{\min}} \quad (\text{cf. D. TESSIER et G. PEDRO, 1976}) ;$$

- indirectement en évaluant le paramètre  $A = \frac{e/e_0}{d/d_0}$ , qui est en quelque sorte

une mesure de l'**anisotropie du retrait**.

#### b) Réactivité hydrique :

La détermination respective des volumes apparents à l'état sec et à l'état humide permet d'un autre côté d'avoir une idée de sa réaction à l'humectation (**gonflement potentiel**) ou à la dessiccation (retrait potentiel). Le gonflement apparent par exemple est donné par la relation :

$$G = \left( \frac{V_h - V_s}{V_s} \right) 100$$

où  $V_h$  est le volume spécifique apparent humide et  $V_s$  le volume spécifique sec.

C'est un tel protocole qui a été appliqué à l'étude de différents systèmes « kaolinite-fer » naturels ou artificiels.

## B. — PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS

### 1. ETUDE DE LA FERRUGINISATION D'UNE KAOLINITE Ca :

La kaolinite utilisée est la kaolinite de Provins. Après avoir été rendue à l'état Ca, elle est mise en suspension dans de l'eau (agitation 8 h) à la concentration de 2 g d'argile sèche/litre.

Cette suspension est amenée à pH 4 par addition de petites quantités d'HCl N/10, avant de recevoir une solution fraîche de perchlorure ferrique diluée (0,5 g  $Fe_2O_3/l$ ) ; les quantités apportées sont calculées de façon que la teneur en fer de l'échantillon varie entre 0 à 11 %. L'agitation est alors maintenue pendant 8 h à un pH voisin de 3,5. Après cela, le milieu étant neutralisé par addition d'ammoniaque, l'argile est séparée par centrifugation, lavée et enfin essorée sur un Büchner (l'épaisseur de la galette obtenue est de l'ordre de 3 cm). Lors de cette dernière opération, on constate que le ressuyage est d'autant plus rapide que la teneur en fer est plus élevée. Les échantillons peu ferruginisés (< 5%) tendent à se colmater, tandis que les autres (> 5%) se fissurent rapidement (1 h 30) (fig 1).

Les déterminations effectuées sur les divers échantillons conduisent aux résultats reproduits dans le tableau 1 et la figure II.

On remarque ainsi que le retrait est d'autant moins anisotrope et l'orientation d'autant moins bonne que l'échantillon est plus ferrugineux, et ceci a pu être vérifié grâce à des observations faites au microscope électronique à balayage. On sait en effet que la kaolinite Ca qui sert de référence est typiquement orientée (cf. D. TESSIER, 1975, photo 1). L'orientation est déjà beaucoup moins bonne avec une teneur en fer de 5,7% (photo 2). A partir de 8% de fer, l'échantillon obtenu est complètement isotrope, ce qui est dû à l'existence d'un assemblage tridimensionnel : il apparaît en effet, des sortes de « cages » ou de « nids d'abeilles » résultant de la mise en œuvre d'association B-F entre les cristallites (photo 3).

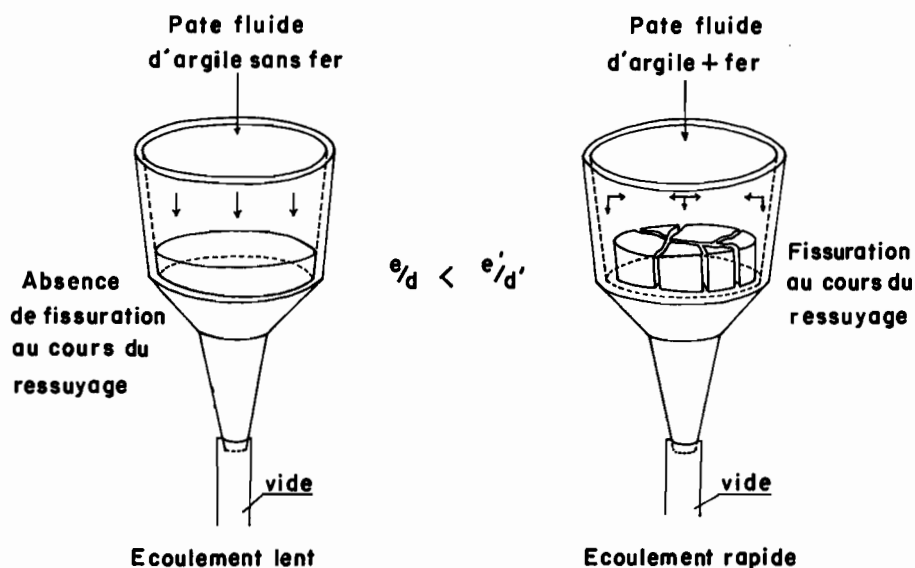


FIGURE I : Préparation et fabrication des galettes de kaolinite Ca en présence ou en l'absence de fer

*Preparation and making of a Ca kaolinite cake with or without iron*

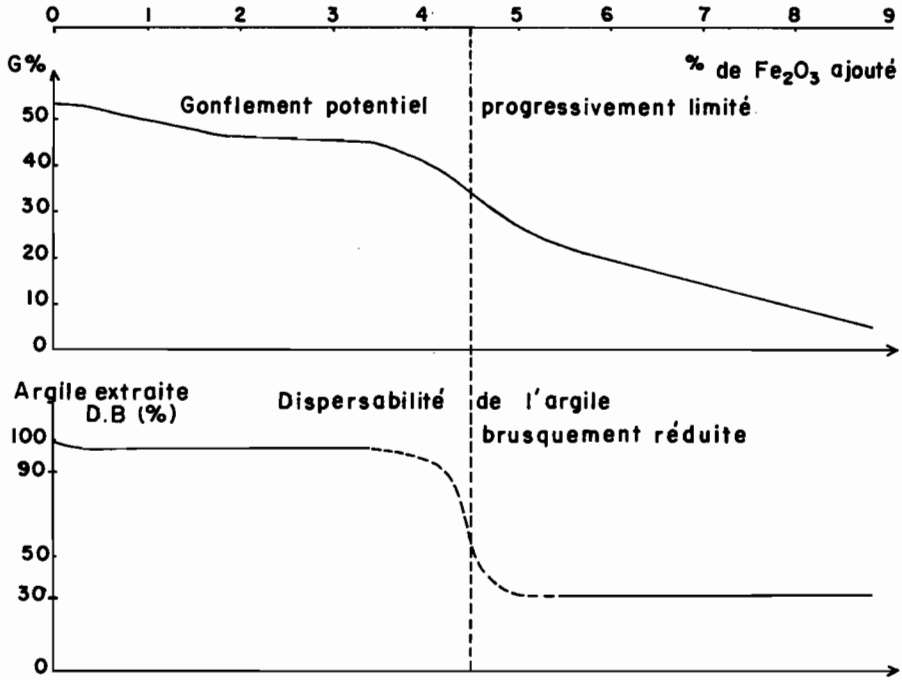
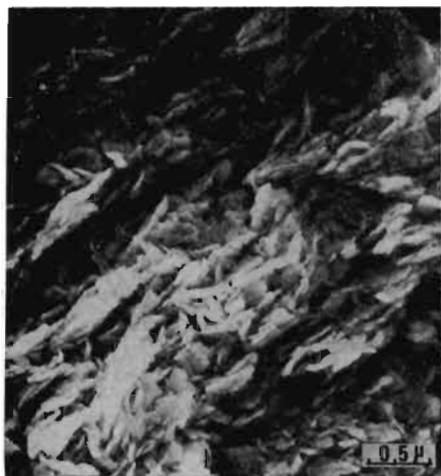


FIGURE II : Variation de l'aptitude au gonflement et de la dispersabilité des argiles en fonction de la quantité de fer ajouté  
 Variation of the aptitude to swelling and of the dispersability of clays as a function of the quantity of iron added

TABLEAU 1 : Degré d'orientation et aptitude au gonflement d'échantillons ferruginisés (kaolinite Ca)  
 Degree of orientation and aptitude to swelling of iron enriched sample (Ca-kaolinite)

| Quantité de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ajouté (%) |                                   | Témoin kaolinite Ca (0 %) | 1,8 % | 3,2 % | 5,7 % | 8,1 % |
|---|-----------------------------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Degré d'orientation                                   | Anisotropie du retrait A          | 0,709                     | 0,690 | 0,791 | 0,880 | 0,924 |
|   | Evaluation directe aux rayons X R | 15,5                      | 12    | 5,8   | 4,0   | 2,0   |
| Gonflement potentiel (%)                              |                                   | 53,8                      | 46,2  | 45,6  | 21,0  | 8,9   |

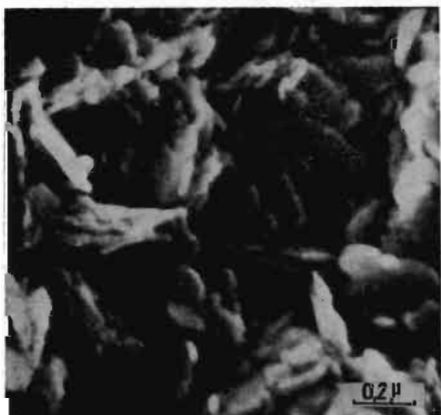
$$A = \frac{e/e_0}{d/d_0} = 1 \text{ pour un retrait isotrope}$$



1



2



3



4

PHOTO 1 : *Kaolinite Ca : orientation importante des cristallites (l'orientation à 45° est en réalité parallèle au plan de succion)*

*Ca-kaolinite: important cristallite orientation (the 45° orientation is in reality parallel to the suction plan)*

PHOTO 2 : *Kaolinite Ca additionnée de 5,7 % de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : orientation très faible*  
*Ca-kaolinite to which has been added 5,7 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: very low orientation*

PHOTO 3 : *Kaolinite Ca additionnée de 8,1 % de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : organisation isotrope et individualisation de cages tridimensionnelles*

*Ca-kaolinite to which has been added 8,1 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: isotropic organization and individualization of tridimensional cages*

PHOTO 4 : *Kaolinite H additionnée de 1 % de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : organisation isotrope*  
*H-kaolinite to which has been added 1 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: isotropic organization*

D'un autre côté, au fur et à mesure de l'adjonction du fer, le gonflement potentiel diminue, et ceci est particulièrement net dès que la teneur en fer dépasse 5 %. On retrouve d'ailleurs le même seuil, encore mieux marqué, lorsque l'on teste la dispersabilité de l'argile des échantillons préparés. Dans les conditions standard (KCl-Dispersion  $\text{NH}_4\text{OH}$  - pH - 9,5), l'aptitude à la dispersion reste bonne en dessous de 5 % de fer ; en revanche, elle tombe brutalement pour des teneurs en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  supérieures à 5 % (fig. II). Des observations complémentaires réalisées au cours de l'expérience ont montré que les échantillons les plus ferruginisés étaient toutefois dispersés en milieu acide. Tout se passe donc comme si dans cette expérience au-dessus de 5 %, l'argile électro-négative changeait de signe et devenait un colloïde électropositif. Or, c'est là un comportement classique résultant d'un effet de « colloïde protecteur » et qui correspondrait dans ce cas à la fixation de fer sous forme de micelles d'hydrate ferrique électropositif. Mais, comme on a pu le constater, il faut dans ces conditions une assez forte teneur en fer pour provoquer la formation d'assemblages tridimensionnels stables, volumineux et peu réactifs vis-à-vis des phénomènes de gonflement hydrique.

## 2. ETUDE DE LA FERRUGINISATION DE LA KAOLINITE H :

La kaolinite Ca utilisée dans l'essai précédent est traitée par une solution HCl N/10 pendant une nuit (pH = 1,7), puis lavée, avant que ne lui soit ajoutée une solution de perchlorure de fer correspondant à une teneur en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  de l'échantillon égale à 1 % ; le contact a alors été maintenu pendant 8 h. Cela étant réalisé, l'argile est séparée par centrifugation, lavée, puis essorée sur Büchner. Les différentes déterminations et observations effectuées alors sur les galettes ont conduit aux résultats reportés dans le tableau 2.

On remarque ainsi que la kaolinite H qui sert de référence est déjà très désorientée par rapport à la kaolinite Ca (cf. tableau 1) et qu'il suffit alors d'une très petite quantité de fer pour obtenir une organisation particulièrement isotrope. L'observation au microscope électronique à balayage (photo 4) confirme d'ailleurs le type d'arrangement tridimensionnel engendré.

Ainsi, par comparaison avec l'expérience précédente, cet essai montre qu'il est encore possible d'obtenir une organisation isotrope par simple adjonction d'une très petite quantité de fer. Il en résulte que deux éléments semblent jouer un rôle important dans l'arrangement des matériaux et leur comportement :

TABLEAU 2 : Degré d'orientation et aptitude au gonflement d'échantillons purs ou ferruginisés (kaolinite-H)

*Degree of orientation and aptitude to swelling of pure or non enriched sample (H-kaolinite)*

| Quantité $\text{Fe}_2\text{O}_3$<br>ajouté (%) |   | Témoin<br>Kaolinite H<br>0 (%) | 1 %   |
|--|---|--------------------------------|-------|
| Degré<br>d'orientation                         | A | 0,817                          | 0,989 |
|  | R | 2,8                            | 1,3   |
| Gonflement potentiel<br>(%)                    |   | 48,9                           | 36,5  |

- d'une part l'état des kaolinites de départ, c'est-à-dire si elles sont H ou Ca ; et ceci confirme les travaux de J.-J. FRIPIAT et M.-C. GASTUCHE (1952). ;
- d'autre part, l'état sous lequel se fixe le fer sur les particules argileuses.

### 3. ETUDE DE LA REACTIVITE DES KAOLINITES D'UN SOL ROUGE FERRALLITIQUE (CASAMANCE).

Le matériau utilisé dans ce troisième type d'essais provient d'un sol rouge de moyenne Casamance, dont l'évolution pédologique a été étudiée en détail depuis quelques années par A. CHAUVEL (A. CHAUVEL, 1976). La teneur en argile ( $< 2 \mu$ ) de l'horizon B retenue est de 44,7 %, la quantité de  $Fe_2O_3$  présent étant de l'ordre de 5 %.

Si l'on réalise une analyse granulométrique classique avec les traitements [ $H_2O_2$  - KCl - Dispersion  $NH_4OH$ ], on ne récupère que 22,3 % d'une argile  $< 2 \mu$  contenant 10,4 % de  $Fe_2O_3$ . Cela signifie que 22,5 % de l'argile du matériau de départ ne réagissent pas dans les conditions de dispersion habituelle et peuvent donc être considérés comme « masqués » (1). Pour récupérer cette fraction, on a alors fait subir aux échantillons un traitement aux ultrasons ; ceci a permis d'extraire 18,5 % d'une argile contenant 11,9 % de  $Fe_2O_3$  qui correspond donc à de l'argile masquée. Mais cette argile a un comportement inhabituel puisqu'elle ne flocule pas en milieu neutre. Par contre, si on fait subir à de tels échantillons un traitement Tamm obscurité (U. SCHWERTMANN, 1964) qui extrait 0,3 % de  $Fe_2O_3$  seulement, on transforme toute l'argile masquée en une argile contenant encore 11,6 % de  $Fe_2O_3$ , mais floculant parfaitement en conditions neutres comme dans les cas habituels ; nous avons désigné cette fraction sous le terme d'argile *déferriée*. Finalement, en procédant de la sorte, on est arrivé à séparer trois sortes de matériaux : argile libre, argile masquée et argile *déferriée* provenant d'un même échantillon et, qui après lavage ont pu être essorés sur Büchner. A partir des galettes ainsi obtenues, le comportement des divers matériaux a été testé en procédant aux déterminations habituelles ; les principaux résultats ont été résumés dans le tableau 3.

On constate, à l'examen des évaluations de l'anisotropie du retrait et du gonflement potentiel, que :

- l'argile masquée conduit à une organisation fortement isotrope, donc à un arrangement de type tridimensionnel, et peu active vis-à-vis de l'eau (gonflement potentiel de 1,5) ;
- il suffit d'extraire 0,3 % de  $Fe_2O_3$  pour donner à l'échantillon un gonflement potentiel de 11,2, soit une réactivité très proche de celle caractérisant l'argile libre (12,2 %). Dans le même temps il faut noter que la capacité d'échange a dans tous les cas augmenté de 25 à 100 % suivant les échantillons étudiés.

\*.

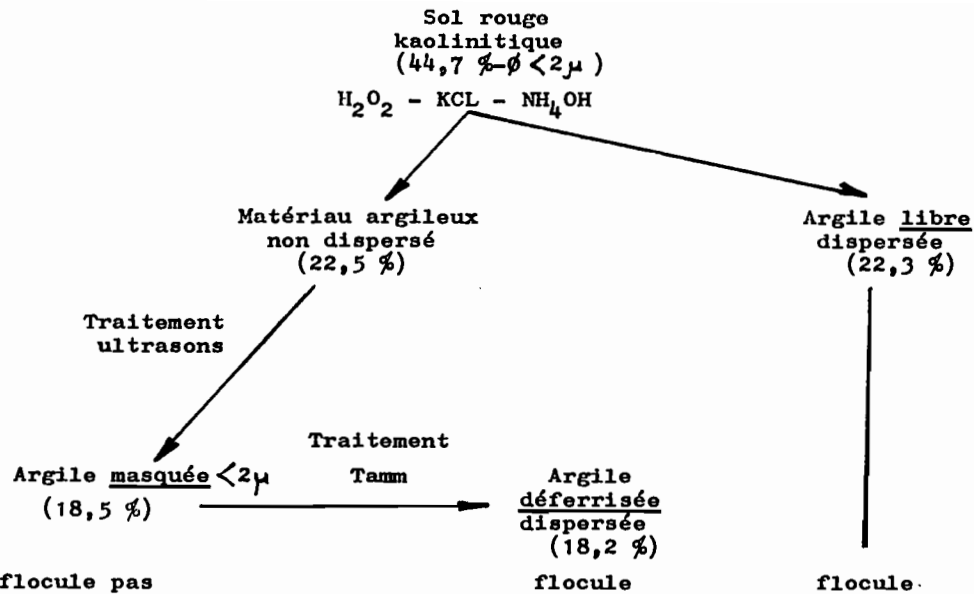
Un tel ensemble de données nous conduit à faire ressortir deux éléments du point de vue de l'étude d'un système « kaolinite-fer ».

— Dans certaines conditions, une petite quantité de fer sous la forme d'ions ferriques plus ou moins hydroxylés paraît susceptible de se fixer sur les positions d'échange de la kaolinite. Comme la liaison entre le réseau et les cations ferriques superficiels est relativement forte (cf. G. PEDRO, 1976), ces ions abaissent nettement le potentiel de surface des particules argileuses qui deviennent de ce fait très peu réactives du point de vue colloïdal.

— Dans l'état actuel des choses, il semble qu'il faille faire une réelle distinction entre la quantité de fer présent dans un échantillon et l'état sous lequel se trouve cet élément. Il est manifeste que dans le cas étudié ici, 0,3 % de fer joue un rôle **actif** sur le plan des phénomènes de comportement, alors que le reste (11,6 %) qui s'individualise probablement sous la forme d'hydrate ferrique d'enrobage peut être considéré comme **inactif** de ce point de vue (U. SCHWERTMANN, 1964). On retrouve donc la distinction majeure, qui était apparue dans les paragraphes précédents, lors de l'examen des résultats obtenus au cours des expériences de laboratoire.

(1) C'est cette argile qu'on trouve au sein des « pseudoparticules » si caractéristiques de ce type de sols.

**TABIEAU 3 :** Les différents types d'argiles extraits d'un sol rouge ferrallitique et leurs caractéristiques de comportement  
*Different types of clays extracted of a red ferrallitic soil and their behaviour characteristics*



|  |                |  |         |         |
|--|----------------|--|---------|---------|
| Comportement suspension (pH = 7)           | ne flocule pas |  | flocule | flocule |
| Teneur en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % | 11,9 %         |  | 11,6 %  | 10,4 %  |
| Surface spécifique (m <sup>2</sup> /g)     | 51             |  | 52      | 50      |
| Anisotropie du retrait A                   | 0,945          |  | 0,843   | 0,837   |
| Gonflement potentiel                       | 1,5            |  | 11,2    | 12,2    |



C. — INTERPRETATIONS ET CONCLUSIONS

A la lumière de ces premières recherches expérimentales, il est clair que l'adjonction de fer favorise incontestablement d'un côté l'isotropie et l'organisation tridimensionnelle d'un matériau kaolinique et de l'autre diminue l'activité colloïdale des argiles constituant l'échantillon.

Mais, en réalité, cette action n'est pas simple et recouvre deux aspects bien différents. J.-F. LUTZ avait déjà en 1936 été amené à octroyer au fer un double rôle : rôle de « ciment » découlant de l'individualisation de micelles d'hydrates ferriques s'accolant entre elles aux particules argileuses et rôle « flocculant » lié à la charge des ions ferriques.

Si l'on revient aux essais rapportés au cours de cet article, on constate effectivement que :

— Le rôle de « ciment » est lié à la précipitation d'hydrates ferriques et à la possibilité de leur flocculation mutuelle avec l'argile. Il a été montré ainsi qu'à partir d'une certaine teneur en  $Fe_2O_3$  (5 %), les particules devenaient électropositives et que l'organisation obtenue était caractérisée par des sortes de « cages » tridimensionnelles.

— Le rôle « flocculant » quant à lui, résulte de l'existence d'ions ferriques en solution, qui se fixeraient en petite quantité pour compenser le déficit de charge des micelles argileuses (cf. A.W. FORDHAM, 1973, et T. WAKATSUKI et al., 1975). On sait effectivement que les ions  $[Fe(H_2O)_6]^{3+}$  en solution aqueuse s'hydrolysent aisément et donnent ainsi des cations hydroxo de moins en moins solubles, mononucléaires  $FeOH^{2+}$  et  $Fe(OH)^+$ , d'abord, puis polynucléaires  $Fe_2(OH)_2^{4+}$ ... Ce genre d'ions dont la quantité varie en fonction du pH et de la concentration en fer du milieu, augmente au cours de l'hydrolyse jusqu'à la condensation d'un véritable hydroxyde ferrique (fig. III).

Proportion par rapport à la teneur totale en fer

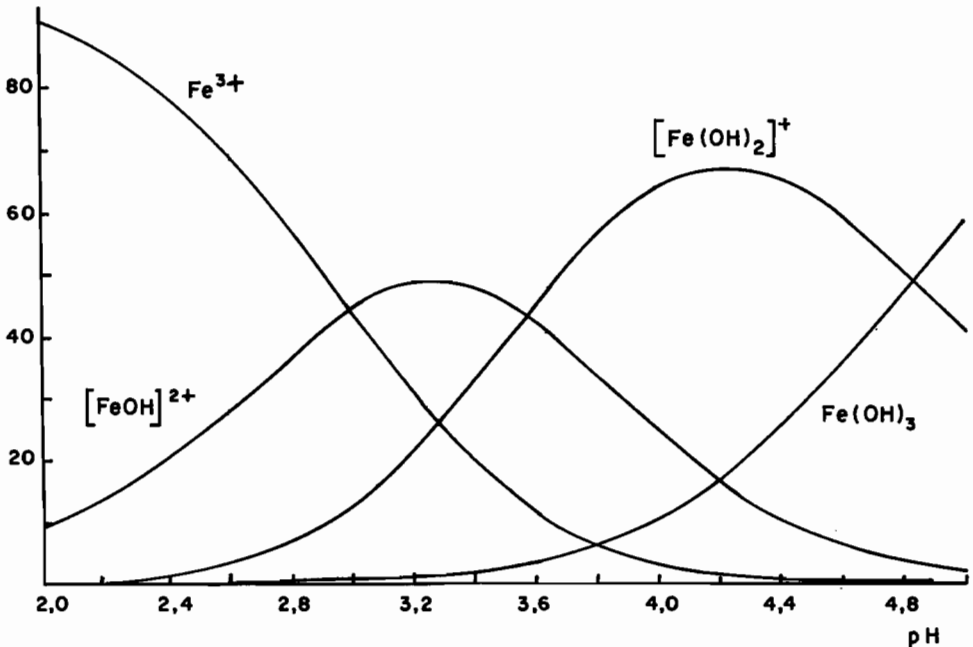


FIGURE III : Composition des solutions ferrifères acides (0,05 M), d'après A.W. FORDHAM (1969)

Composition of acidic iron solutions (0,05 M), after A.W. FORDHAM (1969)

Or, on peut rapprocher ces données concernant la forme du fer en solution en fonction du pH, des résultats obtenus par A.V. BLACKMORE (1972) sur l'aptitude à l'agrégation des argiles en fonction du degré d'hydrolyse des solutions de perchlorure ferrique additionnées. Il suffit à cet effet d'examiner la figure IV pour voir que le taux d'argile agrégée et qui ne se redisperse pas, est important dans la première phase expérimentale, c'est-à-dire lorsque le fer existe en solution sous forme d'ions mono-nucléaires ; en revanche, dès que l'hydrolyse est avancée et que l'on se trouve en présence d'ions polynucléaires de moins en moins chargés, l'aptitude à l'agrégation devient pratiquement nulle.

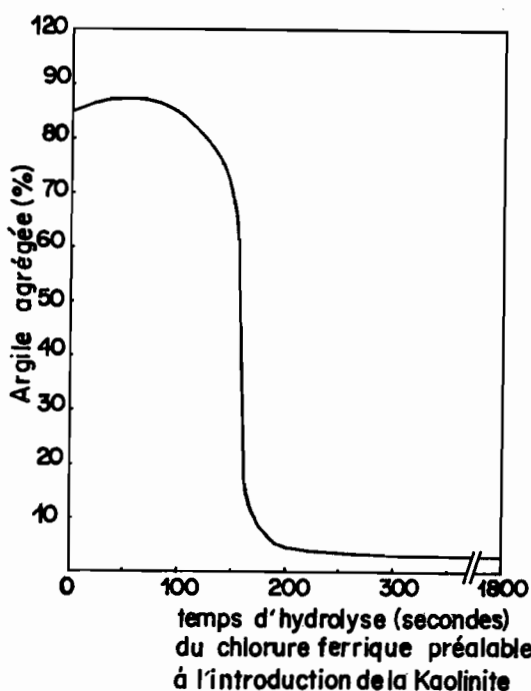


FIGURE IV : Variation du taux d'argile agrégée en fonction du temps d'hydrolyse subi par le chlorure ferrique avant son introduction, d'après A.V. BLACKMORE (1972)

*Variation of the grade of aggregate clay as a function of the time of hydrolysis for the ferric chloride before introduction, after A.V. BLACKMORE (1972)*

Ainsi, dans le cas où une petite quantité de fer suffit à modifier le comportement des argiles, le résultat est dû en définitive à une action **spécifique** des ions ferrifères ; ceux-ci se fixant sur les bords, sont à l'origine d'associations B-F et provoquent l'individualisation d'une organisation isotrope et poreuse. Naturellement, un tel mécanisme n'exclut pas que par la suite les hydrates ferriques puissent se déposer en s'étalant sur les faces basales ou précipiter à l'état **indépendant** ; mais il faut noter que ce ne sont pas ces dernières formes qui jouent alors le rôle principal.

## CONCLUSIONS

L'étude du système « kaolinite-fer » a permis, comme on peut le voir, de mettre en évidence deux grands types d'actions de cet élément, du point de vue de l'organisation et du comportement des matériaux engendrés. On se trouve donc là en présence d'une

distinction relativement majeure, notamment en ce qui concerne les mécanismes mis en jeu au cours des pédogenèses fersiallitiques et ferrallitiques.

Mais, on peut aussi prendre ce système comme modèle et l'étendre à la compréhension d'autres situations pédologiques. Si l'on accepte cette manière de voir, il devient alors logique de penser que la disposition des particules au sein d'un matériau argileux et, par voie de conséquence, le comportement de ce dernier relève grossomodo de deux grands cas :

— Dans le premier, l'organisation des particules argileuses résulte de l'**interaction entre les divers constituants du plasma** ; elle est donc pratiquement sous la dépendance de la présence et de la répartition d'autres constituants secondaires actifs, tels les hydrates ferriques, les carbonates, la matière organique humifiée... C'est ce qui se produit par exemple dans les sols calcaires, les sols organiques...

— Dans le second cas, l'organisation du matériau argileux dépend essentiellement de la **constitution des unités morphologiques** caractéristiques de l'argile et de leur **mode d'association**. Ce sont alors les **conditions physicochimiques** régnant à l'interface qui joue le rôle prépondérant : on peut rappeler à cet effet, et à titre d'exemple, les organisations différentes caractérisant les kaolinites Ca, H et Fe : avec la kaolinite calcique, les unités morphologiques sont des cristallites qui s'orientent très vite F-F (D. TESSIER et G. PEDRO, 1976) ; dans le cas des kaolinites acides et surtout ferrisées, les unités morphologiques sont probablement plus complexes et tendent à former des associations tridimensionnelles B-F.

En généralisant, on est conduit en définitive à formuler les propositions suivantes :

— **Tout ce qui ne touche pas à la constitution de l'unité morphologique ne modifie pas fondamentalement le comportement des matériaux argileux.**

Ainsi les argiles expansibles provenant de la transformation des illites en milieu calcique ont **même** comportement que les illites de départ (D. TESSIER, 1975). Or, on a vu que si les espaces interfoliaires sont **différents**, les unités morphologiques restent de même nature. Cela montre une fois de plus que **les problèmes de comportement sont beaucoup plus liés à des actions interparticulaires qu'à des réactions interfoliaires.**

— En revanche, **tout ce qui contribue à changer l'unité morphologique et les propriétés de surface des particules modifie le comportement des échantillons.** C'est ce qui explique le grand rôle joué par les cations compensateurs **externes** (Ca, Na, K, H, Fe...) et, d'une manière plus générale, par les caractéristiques physicochimiques du milieu.

Dans ces conditions, il devient clair que toute évolution **pédologique** naturelle ou provoquée, qui entraîne une modification aussi faible soit-elle des caractéristiques physicochimiques de la **surface** des particules, est susceptible d'être à l'origine d'une transformation de l'unité morphologique et de l'organisation du matériau (\*). Naturellement, cette modification est plus ou moins aisée suivant la stabilité des liaisons engendrées : elle est facile par exemple lors de la transformation d'une argile Na en argile Ca, comme cela se produit au cours de la désalinisation de polders par apport de gypse, parce que cela résulte d'un simple échange ; elle est plus difficile si l'on veut agir sur une kaolinite Fe, car toute transformation au sein du milieu naturel nécessite dans ce cas une déferrisation préalable des matériaux. Il n'en reste pas moins qu'à longue échéance, l'organisation pourra être profondément modifiée. On comprend dès lors tout l'intérêt que l'on peut tirer de la connaissance des interfaces des constituants secondaires dans toutes les études des problèmes relatifs à l'organisation et au comportement des matériaux et profils pédologiques.

(\*) Notons ici qu'il n'y a pas que les caractéristiques physicochimiques à prendre en compte dans ce genre de problèmes. Les liaisons entre les unités morphologiques peuvent aussi être rompues à la suite d'actions mécaniques, comme cela sera envisagé dans un des articles suivants de ce numéro (A. FAURE, Influence de la phase argileuse sur la susceptibilité au tassement des sols) et à propos d'ailleurs du même sol ferrallitique de Casamance.

THE ROLE OF IRON IN THE ORGANIZATION OF KAOLINIC MATERIALS  
EXPERIMENTAL STUDIES

## SUMMARY

*It has always been known that red soils are better structured than soils with the same constitution but lacking in iron; however, the exact role played by this element in the organization of the materials and the real nature of the form of iron which interacted during phenomena are still little understood. This matter are the justification for this article, which submits a number of experimental and preliminary results. In our trials which have been reported, we started up with a cake made with clay paste, which is put on a büchner (fig I), before being dried at 40°C. On the sample prepared in this manner, the following tests were made:*

— Orientation was determined, either directly by X-ray diffraction, or indirectly by measuring the diameter and thickness of the cakes and by evaluating the resulting anisotropy;

— An estimation of the reactivity of the dry materials with water, by observing the potential swelling.

*This experiments were conducted either on artificial samples (iron enriched Ca and H kaolinite), and on clay samples taken from natural red soils.*

— On artificial samples, it is clear (Table 1 and 2 - fig II) that kaolinite iron enriched material bring about a tridimensional organization which is not highly oriented and which has a lower potential swelling. However, the state of kaolinite and the form of iron at the outset also play an important role in the matter, since the final result is approximately the same with a Ca-kaolinite which has a high amount of an hydrate of iron (> 5 %) (Table 1), or with an H-kaolinite which has only fixed a very low quantity of ferric iron (Table 2).

— With a natural sample of ferrallitic soils typified by the presence of pseudo-particles, various treatments allow us to extract 3 types of clay materials: « free clay », which is easy to disperse, hided clay which cannot be dispersed and which is recovered by ultra-sounds, and finally hided dispersible clay which can be liberated by the Tamm iron extraction method. The obtained results were reported in Table 3; hided clay always has a tridimensional organization and a limited swelling, but the extraction of a small quantity of iron (0,3 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) is suffisant to orient the clay, to well increase its potential swelling and at the same time, notably increase its exchange capacity.

*Finally, this preliminary experiments show that iron plays an important role in clay materials organization phenomena. This role, however, is not simple. As well as the mutual flocculation which is the result of ferric hydrate action, it is certain that the presence of fixed ferric ions in the surface of clay particles is generally responsible for the particular behaviour of many iron rich materials.*

## Bibliographie

- BARBIER G. (1938). — Conditions et modalités de fixation de l'hydrate de fer colloïdal par l'argile du sol. *Ann. Agron.*, pp. 8-34.
- BLACKMORE A.-V. (1972). — Aggregation of clay by the products of iron(III) hydrolysis. *Aust. J. Soil. Res.* 11, pp. 75-82.
- CHAUVEL A., MONNIER G. (1967). — Sur la signification générale de l'analyse granulométrique en pédologie : examen des problèmes posés par la caractérisation de la texture de certains sols tropicaux. *C.R. Acad. Sci.*, t. 264, pp. 1969-1972.
- CHAUVEL A. (1976). — Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. *Thèse Fac. Sci. Strasbourg* (à paraître).
- FOLLET E.-A.-C. (1965). — The retention of amorphous, colloïdal « ferric hydroxide » by kaolinite. *J. Soil. Sci.*, 16, pp. 334-341.

- FORDHAM A.-W. (1969). — Sorption and precipitation of iron on kaolinite. *Aust. J. Soil Res.*, 8, pp. 107-122.
- FORDHAM A.-W. (1973). — The location of Iron 55, Strontium 85 and Iodide — 125 sorbed by kaolinite and dickite particles — *Clays and clay minerals*, 21, pp. 175-184.
- FRIPIAT J.-J., GASTUCHE M.-C. (1952). — Etude physicochimique des surfaces des argiles. Les combinaisons de la kaolinite avec les oxydes de fer trivalents. *Publ. INEAC Serv. Scient.*, 54 p.
- LAMOUREUX M. (1972). — Etude des sols formés sur roches carbonatées. Pédogenèse fersiallitique au Liban. *Thèse Fac. Sci. Strasbourg. Mém. ORSTOM n° 56*, 266 p.
- LEVEQUE A. (1967). — Les sols ferrallitiques de la Guyane française. *Mémoire ORSTOM n° 3*, 168 p.
- LUTZ J.-F. (1936). — The relation of free iron in the soil to aggregation. *Proc. Soil. Sci. Am.*, 1, pp. 43-45.
- PEDRO G. (1976). — Sols argileux et argiles — Eléments généraux en vue d'une introduction à leur étude. *Science du Sol* (ce numéro). N° 2, pp. 69-84.
- SCHWERTMANN U. (1964). — Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. *Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 105 (3), pp. 194-202.
- SCHWERTMANN U. (1969). — Aggregation of aged hydrogen clays — *Proced. Int. clay conf. Tokyo*, 1, pp. 683-690.
- TESSIER D. (1975). — Recherches expérimentales sur l'organisation des particules dans les argiles — Thèse — *Cons. Nat. des Arts et Métiers*, 231 p. multigr.
- TESSIER D., PEDRO G. (1976). — Les modalités de l'organisation des particules dans les matériaux argileux. Evolution des diverses argiles calciques au cours du phénomène de retrait. *Science du Sol* (ce numéro). N° 2, pp. 85-99.
- TRAN VINH AN (1967). — Les systèmes ternaires « oxyde de fer - silice-kaolinite » et la pédogenèse des sols tropicaux. Thèse - Louvain - Laboratoire de physicochimie minérale. *Inst. Sci. de la Terre, Heverlee*, 87 p. multigr.
- WAKATSUKI T., FURUKAWA H. et KAWAGUCHI K. (1975). — Specific adsorption of cation on kaolin and kaolinitic soil clays, *Soil Sc. Plant Nutrit* 21 (4), pp. 351-360.

Reçu pour publication : mars 1976.

---

# BULLETIN DE L' ASSOCIATION FRANCAISE POUR L' ETUDE DU SOL

---

# SCIENCE DU SOL

---

## TABLE DES MATIERES

|  |     |
|--|-----|
| G. PEDRO. — Sols argileux et argiles - Eléments généraux en vue d'une introduction à leur étude .....                            | 69  |
| D. TESSIER et G. PEDRO. — Les modalités de l'organisation des particules dans les matériaux argileux .....                       | 85  |
| A. CHAUVEL, G. PEDRO et D. TESSIER. — Rôle du fer dans l'organisation de matériaux kaoliniques. Etudes expérimentales .....      | 101 |
| P. CHASSIN. — Influence des substances humiques sur les propriétés des argiles - Apports des études sur modèles .....            | 115 |
| A. FAURE. — Influence de la phase argileuse sur la susceptibilité au tassement des sols .....                                    | 121 |
| G. MONNIER et P. STENGEL. — Rôle des propriétés d'origine texturale dans les processus d'organisation structurale des sols ..... | 131 |