

# LE FER DANS LES SOLS

par P. SEGALEN

Avant d'entreprendre un travail de recherche sur le fer du sol, P. Segalen a effectué une bibliographie sur ce sujet dont les principales têtes de chapitre sont les suivantes :

1. - Le fer. Rappel de quelques propriétés.
2. - Le fer dans les minéraux des roches.
3. - Les minéraux d'intérêt pédologique.
4. - Caractérisation des produits ferrugineux du sol.
5. - Le fer dans les différents sols.
6. - Synthèse des produits ferrugineux.
7. - La mobilisation du fer.
8. - Liaisons du fer avec l'argile et l'humus.
9. - L'immobilisation du fer.
10. - Rôle du fer dans la genèse de quelques sols.
11. - Quelques propriétés du sol en relation avec le fer.
12. - L'extraction du fer du sol.
13. - Le dosage du fer.

Ce travail bibliographique est actuellement encore incomplet. Toutefois, il est possible de donner une idée générale de l'importance du rôle que joue le fer et ses combinaisons dans le sol grâce au résumé ci-après.

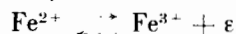
1. — Le fer est un métal très banal du sol; il présente deux valences (2 et 3); les nombres de coordination sont 6 pour l'ion ferreux, 6 et parfois 4 pour l'ion ferrique. Dans les molécules intéressant le sol, le fer pourra être situé au centre d'octaèdres (à l'état ferreux), d'octaèdres ou de tétraèdres (à l'état ferrique).

La précipitation de l'hydroxyde ferrique s'amorce pour le  $\text{Fe}^{3+}$  à partir de pH 2,3, pour l'hydroxyde ferreux à partir de  $\text{Fe}^{2+}$  dès pH 5,8. Les deux hydroxydes sont très peu solubles. Seul l'ion ferreux est possible dans un sol.

Le fer peut se trouver impliqué dans des complexes ferro ou ferrisilicique, ferro ou ferriphosphorique; également, il peut participer à des complexes humo-ferriques. Ces complexes ont une importance considérable dans le sol.

Les chélates de fer constitués à partir de produits organiques ou minéraux très divers, sont également nombreux.

Le potentiel d'oxydo-réduction du système



est une donnée fondamentale de la pédologie. Il a servi à établir le diagramme d'équilibre des ions ferreux et ferriques.

2. — Le fer est un des constituants essentiels de l'écorce terrestre. La teneur est comprise suivant les auteurs entre 4,6 et 5,1 %. Ce métal est présent dans de très nombreux minéraux classés accessoires, primaires et secondaires. Les minéraux accessoires n'ont pratiquement pas d'importance en pédologie; il s'agit de sulfures, oxydes, molybdate, phosphates, arséniate, etc. Les minéraux primaires constituent les points de départ des minéraux du sol proprement dits : spinelles, péridots, pyroxènes, amphiboles, micas, sont les plus connus. Les minéraux secondaires formés à partir des précédents, comprennent des silicates phylliteux (minéraux à 7, 10 ou 14 Å), des sulfates, phosphates, hydroxydes et oxydes.

L'altération des minéraux des roches résulte de l'action de différents processus tels que hydrolyse, mise en solution, oxydation et réduction, etc. Les minéraux sont eux-mêmes plus ou moins facilement altérables suivant qu'il y a ou non remplacement de Si par Al dans les tétraèdres, présence de fer ferreux dont le remplacement par du fer ferrique provoque un déséquilibre des charges, etc.

Les produits obtenus sont en relation avec les conditions de l'altération, climat, drainage.

Des essais d'altération de roches au laboratoire ont été couronnés de succès. On a pu également obtenir des diagenèses de minéraux argileux, ainsi que des hydroxydes à partir de silicates. Le fer ainsi libéré peut participer à la synthèse des minéraux secondaires. Il peut être alors incorporé au sol et obéir au dynamisme propre à celui-ci (migration per ascensum ou descensum, immobilisation); il peut également être éliminé et entraîné au loin par les eaux. Il grossira alors, à un moment ou un autre, les minerais de fer.

Les minéraux des minerais de fer sont tout à fait semblables à la plupart de ceux du sol. Un certain nombre de silicates paraissent seuls propres aux mines de fer. Les types de gisements sont variés : de ségrégation, métasomatiques, hydrothermaux, quartzitiques. Les gisements oolithiques et d'altération latéritique ont une très grosse importance économique. Leur genèse ne peut se comprendre sans faire appel à la pédologie. Des explications générales ont été présentées par différents auteurs.

3. — Les produits ferrugineux d'intérêt pédologique sont cristallisés ou amorphes. Ils appartiennent aux catégories suivantes : silicates, hydroxydes et oxydes.

Parmi les silicates, les substances suivantes renferment des teneurs en fer variables.

La nontronite est une montmorillonite dioctaédrique où les atomes de fer occupent des positions octaédriques.

Les illites contiennent des proportions variables de fer. La structure est celle d'un mica. Le fer ferrique occupe avec l'alumine des positions octaédriques. Les variétés connues sont la céladonite, la glauconie, l'eisen-illite de Stremme.

Dans les vermiculites, il existe presque toujours du fer. La structure est celle d'un mica trioctaédrique où le fer ferreux et le magnésium occupent des positions octaédriques.

Les chlorites dont la structure comprend un feuillet de mica trioctaédrique et un feuillet brucitique sont toujours ferreuses (griffithite, thuringite).

Les pseudo-chlorites sont voisines des chlorites. mais la couche brucitique est discontinue et les octaèdres y sont centrés sur du fer (III) et de l'alumine.

Le nombre d'hydroxydes cristallisés, autrefois fort élevé, a été ramené à deux par suite de la mise en œuvre de moyens modernes d'investigation : la goethite et la lépidocrocite.

Les structures de ces deux minéraux sont assez différentes, bien que, dans les deux cas, le fer soit au centre d'octaèdres. La goethite est constituée de doubles chaînes situées dans des plans parallèles et reliés par des ponts d'hydrogène. La lépidocrocite est formée d'une double couche d'octaèdres emboîtés, séparés par des ponts d'hydrogène.

Les oxydes sont au nombre de 4.

L'hématite  $Fe_2O_3$ , très anciennement connue, paramagnétique, constitue des plans formés d'octaèdres opposés par une face.

La magnétite  $Fe_3O_4$  est une spinelle et a la structure de cette famille de minéraux.

La maghémite  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ou oxyde magnétique dérive du minéral précédent par oxydation. La structure doit être assez voisine de celle de la magnétite, mais n'a pas été fixée définitivement.

La wustite  $\text{FeO}$  est un minéral discuté qui doit pouvoir exister dans certains sols.

Les produits amorphes sont des silicates et hydroxydes. Ils ne peuvent être étudiés valablement que par synthèse. Leur vieillissement étant assez rapide, leur présence dans les sols doit correspondre à la jeunesse de ceux-ci.

4. — Les moyens d'identifier les constituants ferrugineux du sol sont fort nombreux et les techniques relèvent bien plus de la physique que de la chimie. Il est recommandé de grouper plusieurs techniques.

L'analyse chimique donne des résultats globaux ou partiels, mais n'est que bien rarement en mesure de renseigner sur la nature des constituants et de donner leur identification précise.

L'analyse thermique peut être soit pondérale, soit différentielle. L'analyse thermo-pondérale est basée sur les pertes de poids subies par un échantillon au cours du chauffage. Ces pertes sont dues au départ d'eau adsorbée, ou dite de « constitution », ou de gaz carbonique. Elle est souvent en mesure de donner des renseignements quantitatifs sur les hydroxydes, mais rien sur les oxydes.

L'analyse thermique différentielle (ou ATD) enregistre des phénomènes dus aux dégagements et absorption de chaleur dans un échantillon. Ces phénomènes sont dus aux dépôts d'eau ou aux remaniements des réseaux cristallins. Ces techniques permettent une bonne identification des hydroxydes dans un mélange avec des argiles, mais ne permettent pas de distinguer convenablement, dans la plupart des cas, les hydroxydes de fer et d'alumine.

La mesure de la susceptibilité magnétique est encore la meilleure façon de mettre en évidence la maghémite ou oxyde magnétique.

La diffraction des rayons X est un moyen sûr d'identifier les produits cristallisés. Les oxydes anhydres sont mis en évidence de cette façon (magnétite, hématite). Par contre, les produits mal cristallisés ou amorphes sont peu justiciables ou pas du tout de cette technique.

L'absorption dans l'infrarouge est alors susceptible de rendre de signalés services, car elle permet d'identifier des groupes déterminés d'atomes indépendamment de leur arrangement géométrique. Cette technique doit donc convenir particulièrement à des produits amorphes et aider puissamment à débrouiller la constitution des molécules complexes. Le fer entre également dans des complexes fer-humus, fer-argile, et sans doute aussi fer-argile-humus. Cette technique doit pouvoir aider à déterminer comment le fer est relié aux autres constituants.

La mesure de la surface spécifique peut être obtenue par adsorption d'azote à basse température, par fixation d'O-Phénanthroline, ou par mesure de débit de chaleur à l'aide d'un microcalorimètre. Cette mesure est susceptible de donner des renseignements précieux sur les possibilités de réaction du produit étudié. On verra le rôle de cette surface pour comprendre la fixation des oxydes de fer sur les argiles.

5. — D'une manière générale, les sols de la zone tempérée renferment beaucoup moins de fer que ceux de la zone intertropicale. Mais parmi ces derniers, il est facile de mettre en évidence de très fortes variations.

La goethite est présente dans presque tous les sols.

L'hématite semble cantonnée dans certains sols tropicaux.

Lépidocrocite et maghémite existent dans certains sols où les phénomènes de réduction suivis d'oxydation ont de l'importance.

Les produits amorphes sont présents dans certains sols, mais leur identification présente des difficultés.

Les silicates ferrugineux sont répandus surtout dans la zone tempérée. Dans la zone intertropicale, ils sont moins fréquents.

6. — On a pu obtenir, au laboratoire, des silicates ferrifères phylliteux. Les conditions d'obtention des différents produits nécessitent un contrôle précis du pH du milieu. Au-dessus de pH 8,0, on obtient une argile montmorillonitique; entre pH 6,0 et 8,0 un mélange de silicate et oxydes de fer  $\alpha$  et  $\gamma$ ; au-dessous de pH 6,0, uniquement des hydroxydes et oxydes.

En ajoutant de la magnésie, on obtient de la saponite ou de la pseudo-chlorite.

Les principes des méthodes de préparation au laboratoire des hydroxydes et oxydes de fer sont les suivants :  
*Goethite*. — Précipitation à partir de nitrate de  $\text{Fe}^{3+}$  et ammoniacque. Accélération de la cristallisation par traitement à la vapeur d'eau.

*Lépidocrocite*. — Traiter un sel ferreux par un mélange d'iodate et thiosulfate de sodium.

*Hématite*. — Déshydratation de la goethite à  $500^\circ$ .

*Maghémite*. — Calcination modérée de l'oxalate ferreux.

*Hydroxyde amorphe*. — Précipitation d'un hydroxyde ferreux par action sur un sel ferreux d'hexaméthylène-tétramine. Oxydation du produit obtenu par du nitrite de sodium.

7. — La mise en mouvement du fer dans les sols implique presque toujours la réduction de  $\text{Fe}^{3+}$  en  $\text{Fe}^{2+}$  et nécessite la mise en œuvre de conditions particulières qui sont dans une large mesure commandées par le potentiel d'oxydo-réduction du sol. Ce potentiel Eh peut être mesuré sur le terrain, mais nécessite la prise de précautions particulières. On peut également exprimer l'état du sol par la notation  $r\text{H}_2$  lié à Eh et pH par

$$\text{la relation } r\text{H}_2 = \frac{\text{Eh}}{29} + 2 \text{ pH.}$$

On connaît expérimentalement les valeurs de  $r\text{H}_2$  et Eh, pour lesquelles la réduction de  $\text{Fe}^{3+}$  en  $\text{Fe}^{2+}$  a lieu. Des équations empiriques reliant Eh et pH ont été proposées.

La réduction du fer ferrique en fer ferreux est provoquée par des micro-organismes opérant en milieu anaérobie. Ce sont les produits élaborés au cours des fermentations qui sont responsables de la réduction de  $\text{Fe}^{3+}$  en  $\text{Fe}^{2+}$ .

Cette réduction se produit facilement lorsqu'on opère en présence de produits végétaux verts naturels ou de produits purs (hydrates de carbone et substances azotées). Des extraits aqueux de matières végétales (feuilles de divers arbres feuillus ou résineux, de graminées) peuvent réduire le fer, mais également le complexer.

La migration du fer sous forme d'ion ferreux peut s'effectuer dans des conditions très limitées de pH et Eh. Les possibilités de déplacement sont cependant beaucoup plus grandes et variées, grâce aux complexes (surtout organiques) et aux « sols » qui permettent au fer de se déplacer dans des conditions où, normalement, il est précipité. L'existence de chélate, sans devoir être exclue, devra être confirmée. On a pu expliquer, grâce à des combinaisons particulières, des migrations « per ascensum », « per descensum » et latérales du fer dans les profils, ainsi que les déplacements à grande distance.

La précipitation du fer est le résultat du retour de conditions oxydantes, de la destruction des édifices protecteurs du fer. Ici encore, l'influence des micro-organismes est prépondérante.

Enfin, le sort du soufre dans le sol est, dans une certaine mesure, parallèle à celui du fer. Les sulfates sont réduits en sulfures et ceux-ci réoxydés en sulfates par des micro-organismes dont les conditions d'action sont voisines de celles du fer.

On peut donc dire que si la mise en mouvement du fer est commandée par l'état physico-chimique du milieu pH et  $r\text{H}_2$ , la mise en solution, la mise en mouvement et la précipitation du fer sont liées à l'activité biologique de ce milieu.

8. — Les liaisons fer-humus sont très probablement du type complexe de coordination et même chélate. De cela, on a des preuves directes : remplacement des complexants par d'autres, destruction du complexe permettant d'obtenir le métal; des preuves indirectes, obtenues en essayant de reconstituer les conditions de la nature. Toutefois, si l'existence des chélates paraît aller de soi, les preuves de leur existence n'ont pu encore être accumulées.

Les liaisons fer-argile sont d'un type différent. Les hydroxydes peuvent couvrir les argiles et faire corps avec celles-ci jusqu'à une certaine limite, au-delà de laquelle il y a individualisation en grains séparés. On peut avoir des agrégats ordonnés et réguliers ou bien des produits désordonnés, poreux, distinguables au cours de la dissolution du fer et de la mesure de la surface spécifique. Différents modes de liaison peuvent être envisagés entre les surfaces planes des cristallites (structures ordonnées) ou entre leurs tranches (structures désordonnées). Si on peut admettre une véritable réaction chimique entre les hydroxydes et l'argile, il semble que les ponts hydrogène soient tout aussi valables.

Pour ce qui est des liaisons humus-argile, deux conceptions sont en présence. La première envisage l'existence de ponts métalliques entre l'humus et l'argile. La seconde ne veut y voir que des ponts hydrogène et des forces de Van Der Waals.

Sans doute, différents modes de liaison sont-ils possibles simultanément et l'argumentation présentée à l'appui des divers points de vue aura besoin d'être complétée par de nouveaux résultats.

Aussi doit-on avoir probablement :

- complexation et même chélation du fer par la matière organique;
- adsorption des hydroxydes sur les surfaces des argiles avec fixation par ponts d'hydrogène; réaction partielle au niveau des positions d'échange;
- adsorption des humates sur les surfaces des micelles et réaction avec complexation du fer au niveau des positions d'échange.

Ici encore, l'adsorption dans l'infrarouge doit être susceptible de donner des renseignements intéressants.

9. — Le fer peut également entrer dans des combinaisons plus ou moins durables avec la matière organique, l'argile ou les deux. Mais le fer peut également se concentrer dans les sols et y demeurer plus ou moins longtemps.

Cette accumulation peut se faire de manière absolue (introduction de fer provenant de l'extérieur) ou relative (par exportation des autres constituants). Un certain nombre d'horizons B de différents sols (podzoliques, ferrallitiques, ferrugineux tropicaux, etc.) voient leurs teneurs en fer augmenter considérablement. Le fer se fixe d'abord sur les argiles, puis se sépare en formant des micro-concrétions; la structure, et surtout la micro-structure, varie avec l'introduction de fer dans le milieu.

Lorsqu'à la concentration en fer se superpose l'induration, on voit apparaître dans l'horizon B (et parfois aussi en C) des masses durcies, de taille et forme variables : concrétions, amas concrétionnés, cuirasses.

La concrétion est généralement sphérique, de petite taille; elle a rarement de zone d'accroissement sphérique. Elle s'observe dans certains sols des pays tempérés (podzols, sols hydromorphes) et est liée à une nappe phréatique. Dans de très nombreux sols de la zone intertropicale, les relations avec une nappe ne sont pas évidentes. Les teneurs en  $Fe_2O_3$  y sont très élevées (jusqu'à 80 %) à côté de teneurs variables en  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Mn_3O_4$ .

La cuirasse, au lieu d'intéresser un ou plusieurs points d'un horizon, concerne tout cet horizon sur une étendue souvent considérable. Elle est caractérisée par une couleur, structure, dureté, densité, variables certes, mais qui permettent cependant de bien la reconnaître. La composition chimique présente un éventail beaucoup plus ouvert que dans la concrétion. La cuirasse peut être, en effet, franchement ferrugineuse ou franchement alumineuse avec tous les intermédiaires.

La genèse de la concrétion et de la cuirasse pose un certain nombre de problèmes communs dont certains n'ont pas encore reçu de solution satisfaisante.

1) *Individualisation du fer*. Ceci ne soulève pas de problème spécial.

2) *Mobilisation du fer*.

- La réduction préalable peut être retenue dans le cas des cuirasses. Elle paraît discutable dans le cas des concrétions en pays tropical. Les concrétions apparaissent en milieu semble-t-il bien aéré.
- La complexation et la chélation (par des produits de décomposition de la matière organique) paraissent seules pouvoir être envisagées. La durée de leur action doit être assez limitée.
- Les sols protecteurs. L'humus pourrait être invoqué mais il est très rare; les teneurs en silice des solutions du sol sont peu ou pas connues.

3) *Déplacement du fer*. Ce métal, une fois protégé, est susceptible de migrer soit par lessivage oblique, soit « per ascensum », soit « per descensum ». Ces différents modes de déplacement peuvent intervenir à des degrés divers dans la formation des cuirasses. Pour ce qui est des concrétions, les mouvements sont certainement beaucoup plus courts.

4) *Accumulation du fer*. Les mécanismes évoqués précédemment doivent intervenir : oxydation, destruction du système protecteur; au préalable, une certaine concentration des solutions du sol devra se produire.

5) *Induration*. Si les manifestations finales du processus sont bien visibles, le mécanisme de l'opération l'est beaucoup moins.

La dessiccation ne saurait seule être invoquée car les concrétions et cuirasses se produisent aussi dans des pays très humides. La cristallisation des produits provoquant une expulsion d'eau hors du réseau cristallin doit certainement pouvoir intervenir.

Les formes dites figées du fer peuvent toujours être remises en mouvement après érosion, action mécanique et dissolution.

Ces produits sont alors redéposés un peu plus loin ou bien entraînés à la mer.

**10.** — Le comportement du fer joue un rôle important dans la genèse et les caractéristiques d'un grand nombre de sols, en particulier les sols hydromorphes, podzoliques et ferrallitiques.

Le développement de gley et pseudo-gley est sous la dépendance des mouvements du fer.

Les conditions anaérobies, la présence de micro-organismes adéquats, de matière organique fraîche provoquent la synthèse de produits complexants déterminant la migration du fer. Le retour de conditions oxydantes entraîne la précipitation d'hydroxydes sous forme de taches ou concrétions. La permanence de la nappe phréatique peut entraîner la fixation du fer ferreux ou son élimination totale.

Dans les podzols, le lessivage et la précipitation du fer sont des caractéristiques majeures. Le lessivage est provoqué par une phase réductrice qui, par suite de l'engorgement passager du sol, provoque la formation de  $Fe^{2+}$ .

Ce fer ferreux est entraîné par des complexes résultant de la transformation de la matière organique. On admet généralement que la précipitation est provoquée par une destruction biologique du complexant.

Dans les sols ferrallitiques, l'accumulation par voie relative ou absolue du fer en surface ou près de la surface est une des caractéristiques essentielles. Une accumulation simultanée de produits alumineux ne paraît pas incompatible. et elle est commandée par les conditions géographiques générales.

L'apport de fer dans un profil par lessivage oblique ou « per ascensum » paraît pouvoir se produire assez fréquemment.

L'apport par lessivage vertical est certainement plus réduit. Malgré les fortes quantités de matière organique qui intéressent les sols ferrallitiques, et les pluviométries élevées, le drainage se maintient normal, et le milieu reste oxydant. Les substances complexantes nécessaires au transport du fer ne peuvent avoir qu'une vie très brève.

Il est possible que dans la zone des sols ferrugineux tropicaux, il n'en soit pas de même.

**11.** — Le fer, par ses oxydes et hydroxydes, est responsable de la couleur du sol; couleurs vives, jaunes ou rouges, lorsque le métal est à la valence 3, grises et ternes lorsqu'il est réduit. Il n'a pu toutefois être établi de relation quantitative entre la couleur et la teneur en fer. La couleur est une propriété en relation avec la surface des particules.

Un certain nombre de propriétés physiques sont en relation avec les teneurs en hydroxydes du sol. La structure a été étudiée par de nombreux auteurs et une relation entre la teneur en agrégats stables dans l'eau et la teneur en fer a été proposée.

Le fer, en l'absence de matière organique, est le responsable de la structure. Relativement peu d'explications ont été proposées. La seule présentée par les chercheurs ayant étudié ce problème est une coagulation mutuelle de plusieurs composés (dont l'hydroxyde ferrique). La cimentation de l'ensemble serait assurée par l'action d'organismes vivants (et surtout celle de leurs sécrétions).

On a pensé que les hydroxydes de fer seraient responsables de la rétention de l'eau par le sol, mais ceci a été infirmé.

Le fer doit être considéré pour les végétaux comme un oligo-élément. Lorsqu'il vient à manquer pour une raison ou une autre (excès de calcaire déterminant la précipitation de  $Fe^{3+}$  dans le sol, déséquilibre entre Fe et Mn), une maladie caractéristique se développe : *la chlorose*. Les moyens de lutte comportent essentiellement l'emploi de produits complexants ou séquestrants permettant l'assimilation commune du fer par la plante sans qu'il y ait fixation excessive dans le sol.

Le fer est responsable de l'insolubilisation de l'acide phosphorique dans les sols acides. On peut lutter contre cette insolubilisation par apport de produits complexants (humus, lignine, etc.).

Un excès de fer ferreux est parfois observé dans les rizières présentant un mauvais drainage. On note alors un développement défectueux de la plante contre lequel on peut lutter efficacement par une aération du sol. On a pu établir que des concentrations supérieures à  $10^{-2}$  étaient néfastes pour le riz.

**12.** — De nombreuses techniques ont été élaborées pour extraire les produits ferrugineux du sol. Les réactifs acides et forts ne font aucune distinction entre les produits en présence, aussi toute une gamme d'extractants ont été sélectionnés. Les réducteurs ont été largement employés.

Les uns sont biologiques et utilisent les propriétés de certains micro-organismes qui provoquent la réduction de  $Fe^{3+}$  en  $Fe^{2+}$ . Les autres sont minéraux : l'hydrogène sulfuré a été souvent utilisé. Toute une gamme de réactifs produisant de l'hydrogène naissant ont été mis au point : Magnésium-tampon oxalate, Aluminium-tampon tartrate. Le dernier en date est l'hydrosulfite de sodium associé ou non à un complexant.

Les complexants seuls ont été également longtemps utilisés : acides oxalique (surtout) et tartrique.

Enfin, différents mélanges acides ont été également préconisés.

Devant la multiplication des méthodes d'extractions, on a été tenté de les comparer entre elles afin d'en apprécier la valeur.

La comparaison de toutes les méthodes en usage a permis de constater que celle qui donnait les résultats les plus faibles était celle de Tamm (à peine 10 % du fer présent), tandis que celles de Drosdoff et Truog et celle de Jeffries donnaient des résultats comparables et moyens (40 à 80 %). Celle de Deb fournissait généralement les meilleurs rendements (70 à 100 %). De plus, cette méthode attaque peu certains silicates comme les chlorites.

Enfin, la technique cinétique doit permettre d'envisager une combinaison du fractionnement des formes du fer et du dosage de chaque fraction.

**13.** — Les techniques de dosage du fer sont très nombreuses et font appel à la gravimétrie, volumétrie et colorimétrie.

On peut, si on le désire, séparer le fer des autres métaux du sol par l'action du Kupferron ou de l'oxine, en opérant à des pH bien déterminés.

Le fer peut se doser :

*gravimétriquement* à l'état de  $Fe_2O_3$  ou  $PO_4Fe$ , ou oxinate;

*volumétriquement*, après réduction du fer ferrique en ferreux, par le zinc ou le chlorure stanneux, par un oxydant titré;

par réduction avec une solution titrée de chlorure de  $Ti^{3+}$  ou d'hydrosulfite par complexométrie;

*colorimétriquement* :

par le sulfocyanure, l'acide salicylique (ou sulfosalicylique);

par l'O-phénanthroline, l' $\alpha\alpha'$ dipyridyle, l'acide thioglycolique.

Le fer ferreux se dose également colorimétriquement.

# **BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE DE PÉDOLOGIE**

rédigé par

LA SECTION DE PÉDOLOGIE  
DE L'O.R.S.T.O.M.

---

Tome XII — Fascicule 1  
1<sup>er</sup> trimestre 1963

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

*Direction Générale :*  
24, rue Bayard, PARIS-8<sup>e</sup>

*Service Central de Documentation :*  
80, route d'Aulnay, BONDY (Seine)

*Rédaction du Bulletin :* C. S. T., 80, route d'Aulnay, BONDY (Seine)