

ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES D'HYDROMORPHIE ET DE LEUR DÉTERMINISME DANS QUELQUES TYPES DE SOLS DU TCHAD

**Variations du potentiel d'oxydoréduction et des teneurs en fer ferreux
dans des horizons hydromorphes caractéristiques soumis en laboratoire
à une submersion prolongée**

J.F. VIZIER*

RÉSUMÉ

Après avoir exposé le but de cette étude, l'auteur donne une définition succincte des horizons hydromorphes caractéristiques sur lesquels l'expérimentation est effectuée, indique de quelles façons ils ont été prélevés et soumis en laboratoire à une submersion prolongée et présente les méthodes utilisées pour cette étude des phénomènes de réduction : mesures du potentiel d'oxydoréduction, de pH, dosage du fer ferreux. Les résultats obtenus permettent d'interpréter les variations de E_h , de pH et des teneurs en fer ferreux en fonction du temps de submersion et d'étudier les relations existant entre le potentiel d'oxydoréduction et le fer réduit. Cette expérimentation met en évidence, d'une part l'existence de seuils (E_h - durée minimum de submersion) pour la formation de fer ferreux : la réduction du fer débute plus tôt dans les gleys que dans les pseudogleys et dans les horizons humifères que dans les horizons non humifères, d'autre part l'influence de la matière organique sur l'accroissement de la vitesse d'évolution des phénomènes de réduction.

ABSTRACT

After an explanation of the aim of this work, the writer goes on to provide a clear definition of a typical hydromorphic horizon. Experiments have been carried out on such horizons, and the writer indicates how they were chosen, how they then underwent a prolonged period of immersion in laboratory conditions, and the methods used for this study of reduction phenomena, such as measures of oxydo-reduction potential, pH,

* Chargé de Recherches. Centre ORSTOM de Fort-Lamy.

and dosages of ferrous iron. The results obtained produced a variety of values for the E_h , the pH, and the ferrous iron content, which were in relation to the amount of time the samples had been immersed, and comparisons may be drawn between the oxydo-reduction potential and the quantity of reduced iron. This experiment showed where levels of formation of ferrous iron exist (E_h - minimum time of immersion). Iron reduction starts earlier in gleys than it does in pseudogleys, and earlier in humic horizons than in non-humic ones ; the presence of organic matter also has some effect on the increase of the speed of evolution of reduction phenomena.

PLAN

INTRODUCTION

I. MATÉRIEL ET MÉTHODE D'ÉTUDE

1. Matériel d'étude
2. Méthode d'étude

II. RÉSULTATS

1. Etude de l'hétérogénéité de la terre des bacs et choix d'un paramètre de position pour les résultats des différentes mesures
2. Résultats

III. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

1. Variations du potentiel d'oxydoréduction en fonction du temps de submersion
2. Variations des teneurs en fer ferreux en fonction du temps de submersion
3. Variations du pH en fonction du temps de submersion
4. Relations existant entre le potentiel d'oxydoréduction et les teneurs en fer ferreux

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE

INTRODUCTION

Les sols hydromorphes ont une évolution dominée par les effets d'un excès d'eau. Un de ces effets est la limitation des phénomènes d'échange d'air entre le sol et l'atmosphère qui peut créer des conditions réductrices. Dans l'évolution des sols *in situ*, ces conditions réductrices sont plus ou moins intenses et

prolongées et alternent parfois, dans certains horizons, avec des conditions oxydantes. Ces alternances de conditions réductrices ou oxydantes se produisent en liaison avec les variations de la teneur en eau dans le sol en fonction du temps, les périodes de saturation pouvant être momentanément interrompues par le dessèchement du sol à la suite de la diminution des précipitations par exemple.

Le facteur de variation de l'humidité du sol a été éliminé dans l'expérimentation de laboratoire suivante. Sur une série d'horizons caractéristiques de sols hydromorphes minéraux, on crée des conditions de submersion prolongée dans le but de mettre en évidence l'influence éventuelle des caractères du sol sur la nature et l'importance des effets provoqués par l'excès d'eau, en étudiant le comportement d'horizons différents soumis à des conditions de saturation identiques réalisées ou non dans le sol in situ.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODE D'ÉTUDE

1. MATÉRIEL D'ÉTUDE

Les expériences ont été faites sur des échantillons de *terre non perturbée* dont le prélèvement a été effectué suivant une méthode analogue à celle qui est utilisée pour la détermination de la densité apparente (BURGER, 1922)¹. Cette méthode consiste à enfoncer verticalement dans le sol en place, en évitant tout tassement, un cylindre métallique dont les dimensions sont : 30 cm de diamètre et 15 cm de hauteur. Le cylindre de terre non perturbée ainsi prélevé est ensuite mis dans un bac en matière plastique de même diamètre. L'échantillon est soumis à un engorgement total par addition d'eau permutée par le bas, ce qui permet de chasser l'air, jusqu'à l'obtention de la submersion de la surface de la terre dans le bac.

Les échantillons étudiés correspondent à six horizons caractéristiques prélevés dans quatre profils de sols constituant une séquence étudiée et décrite par ailleurs (VIZIER, 1969).

- Echantillon A : horizon profond à pseudogley² prélevé entre 140 et 155 cm dans un sol ferrugineux tropical lessivé à hydromorphie de profondeur, situé dans la partie haute exondée de la séquence.
- Echantillon B : horizon humifère à pseudogley prélevé entre 0 et 15 cm dans un sol à hydromorphie temporaire d'ensemble à gley de profondeur, situé à la limite de la zone inondable.
- Echantillon C : horizon subsuperficiel à pseudogley prélevé entre 35 et 50 cm dans le même sol.
- Echantillon D : horizon profond à gley³ prélevé entre 110 et 125 cm dans le même sol.
- Echantillon E : horizon humifère à gley prélevé entre 0 et 15 cm dans un sol à hydromorphie d'ensemble à gley de surface et de profondeur situé dans la zone inondable.
- Echantillon F : horizon profond à caractères vertiques prélevé entre 160 et 175 cm dans un sol à hydromorphie d'ensemble à gley de surface et caractères vertiques en profondeur, situé également dans la zone inondable.

Les horizons prélevés sont caractéristiques de ces sols qui sont largement représentés dans la plaine d'inondation du Moyen Logone (VIZIER, FROMAGET, 1967). Les résultats des analyses faites sur ces échantillons sont donnés en annexe.

¹ Méthode décrite dans le « Précis de Pédologie » de Ph. DUCHAUFOR, 1960.

² Pseudo-gley : horizon taché où les couleurs jaune, brune et rouge dominant sous forme de taches ferrugineuses plus ou moins diffuses.

³ Gley : horizon caractérisé par des teintes grises dominantes de chroma inférieur ou égal à 2 (Code Munsell).

2. MÉTHODE D'ÉTUDE

L'addition périodique d'eau permutée permet de maintenir la submersion de la surface de la terre dans les bacs. L'étude porte simplement sur l'évolution des effets dus aux conditions réductrices en fonction du temps de submersion. Elle est réalisée :

- d'une part, par des mesures de potentiel d'oxydoréduction
- d'autre part, par le dosage du fer ferreux.

La mesure du *potentiel d'oxydoréduction* s'effectue avec le couple d'électrodes : platine-calomel saturé. L'électrode de platine est enfoncée verticalement dans la terre après qu'un cylindre de terre d'un diamètre égal à celui de l'électrode (8 mm) et d'une hauteur de 5 cm, ait été enlevé à l'aide d'une mèche à bois (il n'y a pas de tassement de la terre). L'électrode peut pénétrer sans effort dans la cavité cylindrique obtenue, lorsque la spirale de platine touche le fond elle est vissée dans le sol. L'électrode au calomel est placée verticalement (la distance entre les deux électrodes est la même pour toutes les mesures : 6 cm), son extrémité plongeant dans l'eau surnageant au-dessus de la surface de la terre du bac. Le contact électrique est ainsi établi et la lecture de E_h est faite après stabilisation de l'aiguille du millivoltmètre (variation inférieure à 2 mV/mn) qui intervient 10 à 20 minutes, suivant les cas, après la mise en place des électrodes. L'étalonnage de l'appareil est réalisé à l'aide de la solution à E_h constant de C.E. Zobell contenant 0,003 M de ferrocyanure de potassium, 0,003 M de ferricyanure de potassium dans une solution à 0,1 M de chlorure de potassium : $E_h = 428$ mV à 25°C.

On effectue *une mesure de pH* sur le même emplacement, l'extrémité de l'électrode de verre utilisée à la place de l'électrode de platine, plongeant dans la cavité cylindrique. La lecture du pH se fait après équilibre, soit 2 minutes environ après la mise en place des électrodes.

La terre prélevée à l'aide de la mèche à bois (avant la mesure de E_h) est mise immédiatement dans un erlenmeyer contenant du chlorure d'aluminium. Elle constitue une prise élémentaire pour *le dosage du fer ferreux*. (VIZIER, 1968). On fait ce dosage sur la terre de trois prises élémentaires mises dans un erlenmeyer, soit sur 2 à 4 g. Après dosage du fer ferreux (la terre sèche ayant été pesée) on dose le *fer total* (par le bichromate de potassium).

Dans chaque bac, pour un temps de submersion donné on a effectué les mesures de E_h et de pH sur 9 points choisis au hasard parmi 54 points repérés sur la surface de la terre dans les bacs. Les mesures ont été faites après : 1 - 3 - 7 - 15 - 30 et 60 jours de submersion.

2. RÉSULTATS

1. ÉTUDE DE L'HÉTÉROGÉNÉITÉ DE LA TERRE DES BACS ET CHOIX D'UN PARAMÈTRE DE POSITION POUR LES RÉSULTATS DES DIFFÉRENTES MESURES

On a pour chaque horizon et pour une durée de submersion donnée :

- 3 groupes de 3 mesures (soit 9 mesures) de potentiel d'oxydoréduction E_h et de pH,
- à chacun de ces groupes correspond un dosage de fer ferreux et un dosage de fer total. Il faut préciser que ces dosages sont effectués sur des prélèvements pris immédiatement au dessus de la zone quasi ponctuelle dans laquelle est faite la mesure de E_h . Cependant les dimensions des différenciations morphologiques d'une part, surtout dans les horizons qui présentent de fortes teneurs en fer réduit, et les quantités

de terre prélevées d'autre part, sont telles qu'il est possible d'associer sans risque d'erreur important la valeur du paramètre de position choisi pour les 3 mesures de E_h du groupe au résultat du dosage de fer ferreux correspondant.

Pouvant considérer que les quantités de fer total d'un échantillon ne varient pas pendant toute la durée de l'expérience, les trois résultats obtenus pour une durée de saturation donnée sont comparables à ceux des cinq autres temps de submersion. On peut donc étudier la distribution des 18 résultats de fer total dosé dans un bac ; elle traduit l'hétérogénéité de l'échantillon à une échelle qui correspond à la quantité de terre prélevée pour un dosage de fer total (donc également de fer ferreux).

La représentation par histogrammes (les classes sont prises arbitrairement égales à un dixième de la valeur de la médiane) permet de constater que la distribution est unimodale et asymétrique (fig. 1).

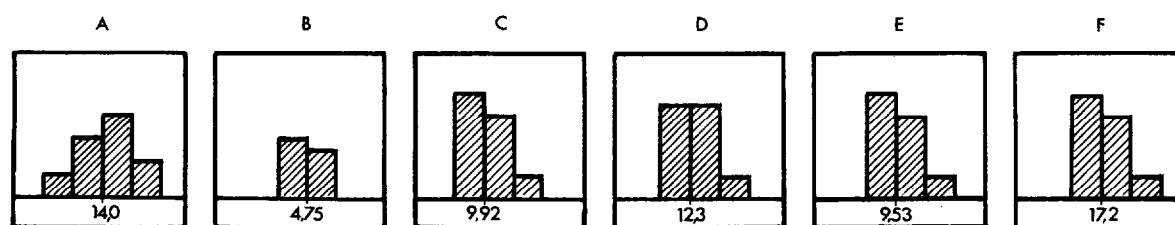


FIG. 1. — Représentation par histogrammes de la répartition des résultats des dosages de fer total

On choisit la *médiane* comme paramètre de position en raison de sa propriété de correspondre à la tendance centrale de l'échantillon.

2. RÉSULTATS

Les résultats sont donnés dans les tableaux suivants. Pour le potentiel d'oxydoréduction, on a dans les trois premières colonnes la médiane et les extrêmes des 9 mesures effectuées pour un temps de submersion donné (fig. 2). Les chiffres des quatrième et cinquième colonnes (E_h et pH) représentent la médiane de chacun des trois groupes de trois résultats.

3. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

1. VARIATIONS DU POTENTIEL D'OXYDORÉDUCTION EN FONCTION DU TEMPS DE SUBMERSION

Les courbes représentant les variations de E_h en fonction de la durée de saturation sont assez différentes suivant les échantillons. On peut cependant distinguer trois types de courbes.

a. *les pseudogleys* (A - B - C), on observe trois phases :

— première phase : jusqu'au 3^e jour pour les échantillons B et C (horizon superficiel et subsuperficiel), jusqu'au 7^e jour pour l'échantillon A (horizon profond peu humifère) : baisse des valeurs de E_h .

— deuxième phase : augmentation du potentiel d'oxydoréduction. Un tel phénomène a déjà été noté par JEFFERY (1960) et MOTOMURA (1962).

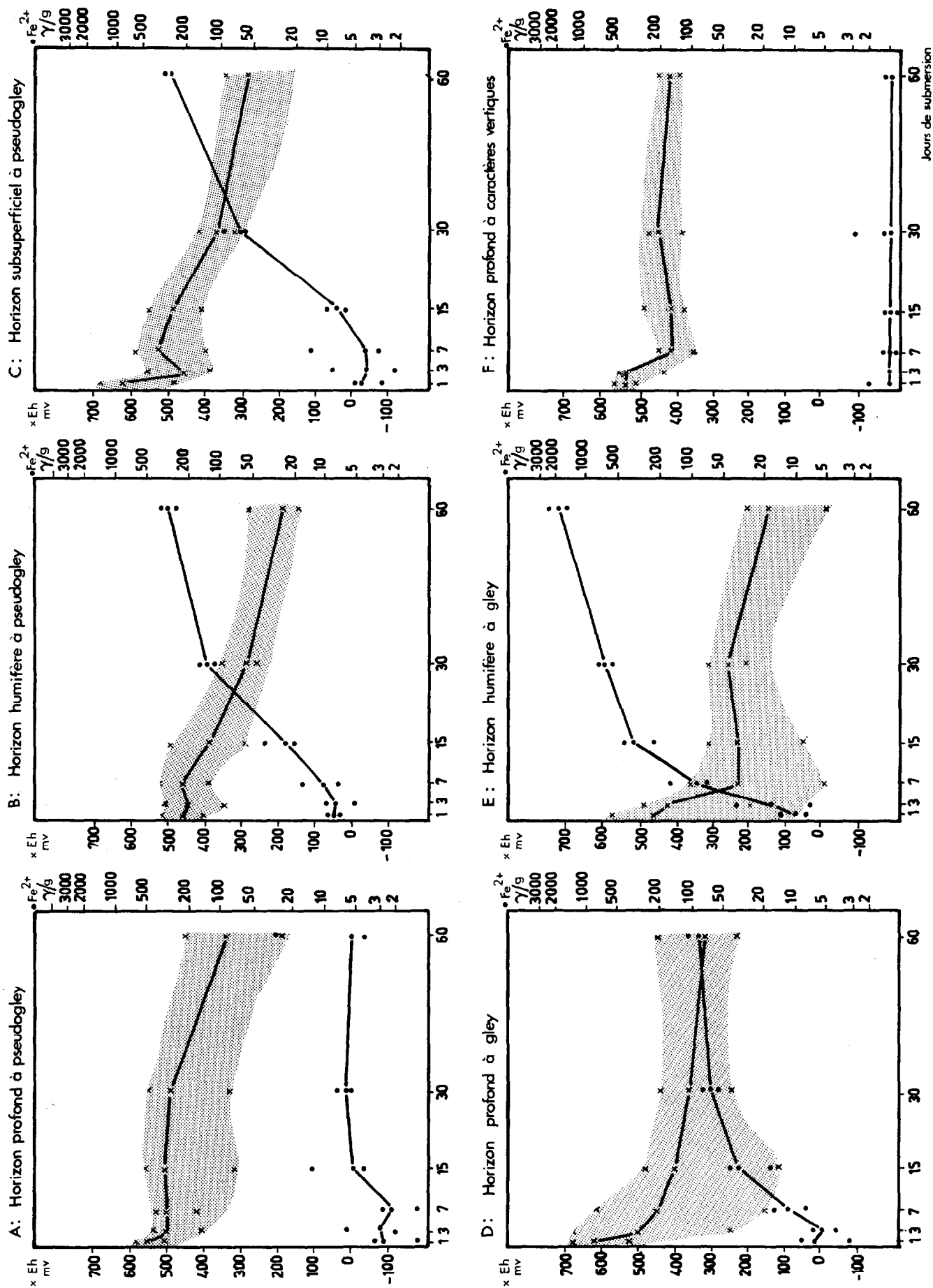


FIG. 2. — Variations du potentiel d'oxydoréduction et formation de fer ferreux en fonction du temps de submersion

TABLEAU 1

A : Horizon profond à pseudogley - Matière organique : 0,11 %

Nombre de jours de submersion	Potentiel d'oxydoréduction mV				pH	Fe ²⁺ γ/g de sol	Fer total Fe ‰	Fe ²⁺ /Fer t. (%)
	Médiane et extrêmes des 9 mesures			Médiane de chaque groupe				
	min.	méd.	max.					
1	495	550	580	525	5,85	3 traces 3	13,75 13,0 16,1	< 0,1
				550	5,85			< 0,1
				555	6,00			< 0,1
3	395	495	525	495	6,05	6 3 2	15,15 14,90 15,0	< 0,1
				485	6,10			< 0,1
				500	6,10			< 0,1
7	405	490	525	510	5,70	2 2 traces	15,85 14,0 14,0	< 0,1
				435	5,70			< 0,1
				405	5,70			< 0,1
15	295	505	555	445	5,80	13 4 5	14,3 12,2 14,6	< 0,1
				515	5,80			< 0,1
				505	5,85			< 0,1
30	320	485	545	320	5,80	6 7 6	13,2 — 13,05	< 0,1
				395	5,70			—
				510	5,90			< 0,1
60	175	325	435	355	5,60	5 4 27	15,45 11,25 13,75	< 0,1
				325	5,60			< 0,1
				285	5,60			0,2

TABLEAU 2

B : Horizon humifère à pseudogley - Matière organique : 1,03 %

Nombre de jours de submersion	Potentiel d'oxydoréduction (mV)				pH	Fe ²⁺ γ/g de sol	Fer total Fe (‰)	Fe ²⁺ /Fer t. (%)
	Médiane et extrêmes des 9 mesures			Médiane de chaque groupe				
	min.	méd.	max.					
1	390	455	510	420	5,80	9 7 8	— 5,18 4,50	—
				480	5,80			0,14
				475	5,85			0,18
3	335	435	505	475	6,00	5 9 8	5,05 — —	< 0,1
				430	6,05			—
				405	6,05			—
7	380	460	525	460	5,70	16 10 7	— — 4,91	—
				445	5,65			—
				510	5,50			0,14
15	275	380	485	385	5,90	36 22 20	— 4,75 —	—
				305	5,90			0,46
				405	5,90			—
30	255	275	350	330	5,85	129 109 152	— — 4,35	—
				275	5,75			—
				265	5,60			3,50
60	140	180	280	175	6,20	314 221 308	4,67 4,86 4,71	6,75
				230	6,20			4,55
				185	6,05			6,53

TABLEAU 3

C : Horizon subsuperficiel à pseudogley - Matière organique : 0,34 %

Nombre de jours de submersion	Potentiel d'oxydoréduction (mV)				pH	Fe ²⁺ γ/g de sol	Fer total Fe (‰)	Fe ²⁺ /Fer t. (%)
	Médiane et extrêmes des 9 mesures			Médiane de chaque groupe				
	min.	méd.	max.					
1	475	610	680	675	5,05	5	8,93	< 0,1
				595	5,0	5	9,12	< 0,1
				610	4,80	3	10,10	< 0,1
3	375	440	550	435	4,95	4	9,55	< 0,1
				485	5,0	2	9,85	< 0,1
				485	5,0	8	10,25	< 0,1
7	380	525	575	525	4,65	13	10,0	0,13
				555	4,80	4	9,85	< 0,1
				535	4,85	3	10,65	< 0,1
15	405	480	545	510	4,65	6	10,90	< 0,1
				480	4,80	7	9,00	< 0,1
				435	4,80	9	9,40	< 0,1
30	320	365	415	365	4,60	58	10,95	0,53
				340	4,65	88	10,25	0,86
				410	4,65	60	9,45	0,64
60	150	280	335	240	4,60	272	11,20	2,42
				295	4,70	268	10,10	2,65
				280	4,70	273	9,45	2,88

TABLEAU 4

D : Horizon profond à gley - Matière organique : 0,15 %

Nombre de jours de submersion	Potentiel d'oxydoréduction (mV)				pH	Fe ²⁺ γ/g de sol	Fer total Fe (‰)	Fe ²⁺ /Fer t. (%)
	Médiane et extrêmes des 9 mesures			Médiane de chaque groupe				
	min.	méd.	max.					
1	520	615	670	540	5,25	3	11,95	< 0,1
				650	4,90	6	11,5	< 0,1
				615	5,0	8	12,3	< 0,1
3	245	495	675	665	5,10	4	11,8	< 0,1
				460	5,10	5	13,1	< 0,1
				495	5,10	6	11,6	< 0,1
7	145	445	610	560	4,70	15	12,4	0,12
				445	5,0	7	12,3	< 0,1
				315	4,80	10	12,3	< 0,1
15	105	395	475	425	5,05	40	12,2	0,33
				295	4,70	34	11,8	0,29
				445	4,95	15	12,1	0,12
30	315	335	435	335	4,80	59	13,5	0,44
				420	4,70	58	11,8	0,49
				355	4,90	61	13,8	0,44
60	220	310	445	415	4,70	100	12,5	0,80
				275	5,10	84	13,7	0,61
				310	4,70	83	12,5	0,66

TABLEAU 5

E : Horizon humifère à gley - Matière organique : 1,54 %

Nombre de jours de submersion	Potentiel d'oxydoréduction (mV)				pH	Fe ²⁺ γ/g de sol	Fer total Fe (‰)	Fe ²⁺ /Fer t. (%)
	Médiane et extrêmes des 9 mesures			Médiane de chaque groupe				
	min.	méd.	max.					
1	95	455	565	525	5,50	11	10,7	0,10
				325	5,20	8	9,7	< 0,1
				435	5,10	10	8,85	0,11
3	195	420	475	435	5,40	7	9,15	< 0,1
				385	5,55	17	9,25	0,18
				420	5,30	39	8,60	0,45
7	-5	220	355	220	5,50	66	9,87	0,67
				230	5,80	80	10,28	0,78
				130	5,75	147	9,00	1,63
15	50	230	305	220	6,10	362	10,56	3,43
				230	5,80	205	9,05	2,26
				230	5,70	390	9,80	3,98
30	200	265	300	265	5,90	515	9,35	5,50
				260	6,10	675	9,62	7,00
				290	5,95	650	10,05	6,47
60	-5	140	200	175	6,50	1 545	9,30	16,60
				100	6,40	2 140	9,44	22,60
				140	6,40	1 770	10,40	17,00

TABLEAU 6

F : Horizon profond à caractères vertiques - Matière organique : 0,18 %

Nombre de jours de submersion	Potentiel d'oxydoréduction (mV)				pH	Fe ²⁺ γ/g de sol	Fer total Fe (‰)	Fe ²⁺ /Fer t. (%)
	Médiane et extrêmes des 9 mesures			Médiane de chaque groupe				
	min.	méd.	max.					
1	535	540	570	540	7,30	traces	17,50	< 0,1
				540	7,35	2	17,0	< 0,1
				540	7,30	0	18,50	< 0,1
3	425	540	550	540	7,30	0	18,50	< 0,1
				535	7,40	0	19,40	< 0,1
				550	7,40	0	16,30	< 0,1
7	350	405	445	410	7,30	traces	17,90	< 0,1
				405	7,35	traces	19,70	< 0,1
				410	7,30	traces	17,0	< 0,1
15	385	415	485	415	7,30	traces	17,30	< 0,1
				420	7,35	traces	17,10	< 0,1
				415	7,30	traces	16,10	< 0,1
30	375	450	475	455	7,20	3	17,70	< 0,1
				435	7,20	traces	17,40	< 0,1
				450	7,20	traces	15,90	< 0,1
60	390	410	435	415	7,20	traces	17,10	< 0,1
				410	7,20	0	16,80	< 0,1
				405	7,25	0	17,0	< 0,1

— troisième phase : le potentiel d'oxydoréduction baisse puis tend à se stabiliser vers le 60^e jour (sauf pour l'échantillon A).

b. *les gleys (D - E)*. On note dans les 7 premiers jours une baisse importante de E_h (200 mV environ) puis une tendance à la stabilisation du potentiel (mise à part une légère augmentation de E_h vers le 30^e jour pour l'échantillon E).

c. *l'horizon à caractères vertiques (F)*. La baisse de E_h est faible, les variations à partir du 7^e jour de submersion sont inférieures à 50 mV.

Les caractères génétiques liés à la différenciation des horizons (gley - pseudogley) ont pendant les premiers jours de submersion une influence sur les variations du potentiel d'oxydoréduction ; les valeurs de E_h baissent plus vite dans les gleys.

Par contre l'effet de la *matière organique* est net après le 30^e jour de submersion, les valeurs de E_h sont d'autant plus faibles que l'échantillon est plus riche en matière organique (voir tableau 7) indépendamment de la différenciation des horizons en gley ou pseudogley.

TABLEAU 7

Echantillons	A pseudogley horizon profond	D gley horizon profond	C pseudogley horizon subsuperficiel	B pseudogley horizon humifère	E gley horizon humifère
Matière organique (%)	0,11	0,15	0,34	1,03	1,54
E_h (mV) pour 60 jours de submersion	325	310	280	180	140

Cette double influence des caractères génétiques et de la matière organique intervenant à deux périodes différentes peut être illustrée par la comparaison du pseudogley subsuperficiel C (0,34 % de matière organique) et du gley profond D (0,15 % de matière organique) (fig. 3). Les valeurs de E_h sont plus faibles dans le gley jusqu'au 30^e jour, puis l'influence de la matière organique prévaut et l'échantillon C présente le 60^e jour des valeurs de potentiel d'oxydoréduction inférieures à celle de l'échantillon D.

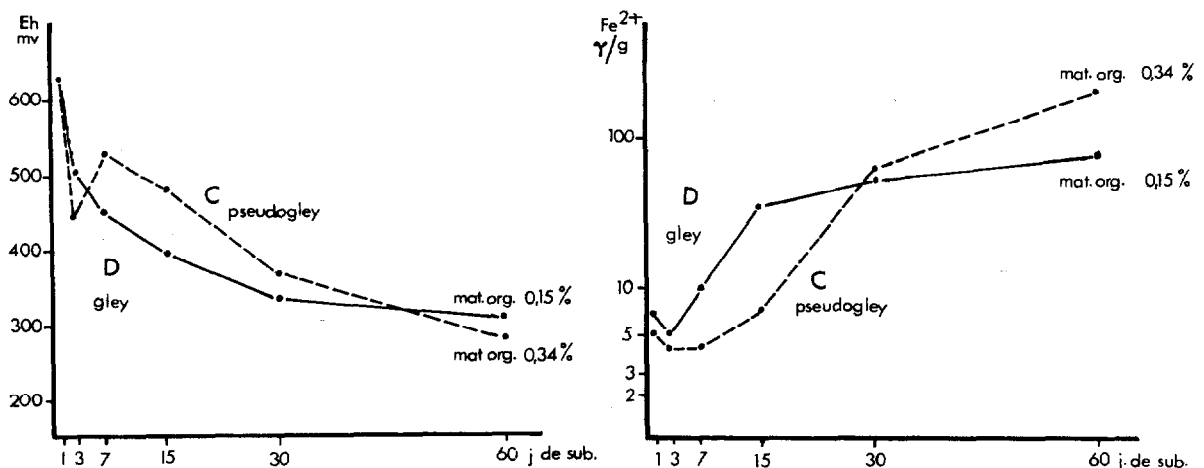


FIG. 3. — Influence des caractères génétiques et de la matière organique sur les variations de E_h et sur la formation de fer ferreux.

2. VARIATIONS DES TENEURS EN FER FERREUX EN FONCTION DU TEMPS DE SUBMERSION

Au début de l'expérience les quantités de fer ferreux dosées sont faibles (inférieures ou égales à 11 γ/g de sol sec après 1 jour de submersion) et les différences existant entre les gleys et les pseudogleys sont peu significatives.

Les variations des teneurs en fer ferreux en fonction de la durée de saturation sont plus simples que celles du potentiel d'oxydoréduction. Ces teneurs augmentent avec le temps de submersion. La formation du fer ferreux dépend de la richesse en matière organique et des caractères génétiques. Cette formation débute plus tôt dans les gleys que dans les pseudogleys et dans les horizons humifères que dans les horizons non humifères. Pour chaque échantillon, le temps de submersion nécessaire pour que l'on ait un rapport Fe^{2+}/Fe total au moins égal à 0,2 % (début de formation de Fe^{2+}) est donné dans le tableau 8 avec les médianes des potentiels d'oxydoréduction correspondants.

TABLEAU 8

Echantillons	Gley		Pseudogley		
	humifère E	profond D	humifère B	subsuperficiel C	profond A
Nombre de jours	3	15	15	30	60
E_h (mV)	420	395	380	365	325

On constate que le début de formation de fer ferreux se produit pour les E_h plus élevés dans les gleys que dans les pseudogleys.

Comme pour le potentiel d'oxydoréduction l'influence de la matière organique prévaut après le 30^e jour de submersion. Les teneurs en fer ferreux sont d'autant plus fortes que l'échantillon est plus organique.

TABLEAU 9

Rapport Fe^{2+}/Fe total %, pour 30 et 60 jours de submersion

Echantillons		A	D	C	B	E
Matière organique (%)		0,11	0,15	0,34	1,03	1,54
Jours de submersion	$J = 30$	0,1	0,44 à 0,49	0,53 à 0,86	3,50	5,50 à 7,0
	$J = 60$	0,1 à 0,2	0,61 à 0,80	2,42 à 2,88	4,55 à 6,75	16,6 à 22,6

La comparaison des échantillons C (pseudogley) et D (gley) illustre bien l'influence des caractères génétiques et de la matière organique (fig. 3). Les teneurs en fer ferreux sont plus fortes dans le gley que dans le pseudogley pendant les 30 premiers jours de submersion, on a l'inverse pour une durée de saturation supérieure à 30 jours, l'échantillon C étant plus riche en matière organique.

Dans l'horizon profond à caractères vertiques, par ailleurs pauvre en matière organique (0,18 %), on n'observe pas de formation de fer ferreux.

Les résultats donnés dans le tableau 8 montrent que la réduction du fer se produit dans les gleys et les pseudogleys (échantillons A, B, C, D, E) suivant les horizons :

- pour une durée de saturation minimum de 3 à 60 jours,
- pour des valeurs E_h inférieures à 325 à 420 millivolts ; mettant ainsi en évidence l'existence de seuils pour le début de formation de fer ferreux.

Dans l'horizon à caractères vertiques il semble qu'une durée de saturation égale à 60 jours soit insuffisante pour provoquer la réduction du fer et une baisse importante du potentiel. Les échantillons A, B, C, D, E ayant des pH compris entre 4,6 et 5,9 et l'échantillon F un pH supérieur à 7, il est probable, compte tenu des connaissances concernant le domaine d'existence des différentes formes du fer, que le caractère légèrement basique de cet horizon vertique constitue un facteur limitant les phénomènes de réduction.

3. VARIATIONS DU pH EN FONCTION DU TEMPS DE SUBMERSION

On n'observe des variations sensibles de pH que dans les horizons humifères. Le pH augmente avec la durée de saturation. Après 60 jours de submersion cette augmentation est de 0,4 unité (5,80 à 6,20) pour l'échantillon B (pseudogley humifère) et de 1,2 unité pour l'échantillon E (gley humifère). Pour les horizons non humifères, le pH aurait plutôt tendance à baisser : 0,1 à 0,3 unité après 2 mois de submersion.

4. RELATION EXISTANT ENTRE LE POTENTIEL D'OXYDORÉDUCTION ET LES TENEURS EN FER FERREUX

L'évolution du potentiel d'oxydoréduction et celle des teneurs en fer ferreux sont liées. En effet si on considère tous les échantillons, quels que soient leurs caractères génétiques ou leur richesse en matière organique, il est possible de définir une droite de régression pour le nuage de points obtenus en reportant sur deux axes de coordonnées : le logarithme de la teneur en fer ferreux en ordonnée (y) (uniquement les valeurs ayant donné un rapport Fe^{2+}/Fe total supérieur à 0,2 %) et le potentiel d'oxydoréduction correspondant en abscisse (x) (fig. 4).

On obtient ainsi 39 couples de résultats (x, y) ; les distributions des logarithmes de la teneur en fer ferreux et du potentiel d'oxydoréduction peuvent être considérées comme normales. L'équation de la droite de régression est : $y = -0,47 x + 3,64$ ¹. Le coefficient de corrélation calculé sur les 39 couples de résultats est $r = -0,76$ (hautement significatif). Cette équation est valable pour les potentiels compris dans l'intervalle : 100-460 mV².

¹ Dans cette équation, d'après le choix des échelles sur les axes de coordonnées, x est exprimé en décivolts et y en logarithme de la teneur en fer ferreux en γ par gramme de sol sec.

² 460 mV est la valeur de E_h la plus forte (extrême) pour laquelle on a obtenu un rapport Fe^{2+}/Fe total supérieur à 0,2 %.

Pour les valeurs de E_h supérieures, on n'a pas de quantités notables de fer ferreux (voir tableau 8 : mise en évidence d'un seuil) ; pour les valeurs inférieures à 100 mV, il est vraisemblable que la pente de la courbe de régression tendrait à se rapprocher de zéro. Dans l'intervalle considéré, quand le potentiel d'oxydoréduction décroît, les teneurs en fer ferreux augmentent de façon exponentielle.

Si on considère la position des points par rapport à la droite de régression on constate que ceux correspondant aux pseudogleys se répartissent de la façon suivante : 11 au-dessous de la droite, 7 au-dessus ; tandis que pour les points correspondant aux gleys, 8 d'entre eux sont au-dessous et 13 au-dessus de la droite. Ceci traduit le fait que la formation de fer ferreux débute dans les gleys à des potentiels plus élevés

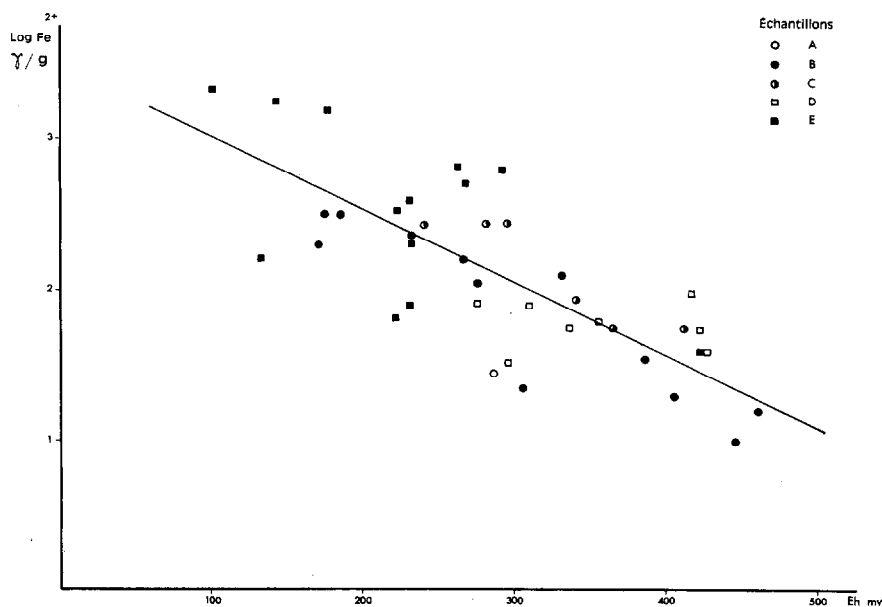


FIG. 4. — Relation existant entre le potentiel d'oxydoréduction et la teneur en fer ferreux.

que dans les pseudogleys et qu'à potentiel égal on a plus de fer ferreux dans le gley. Par contre les horizons humifères (plus de 1 % de matière organique) et les horizons non humifères (moins de 1 % de matière organique) se répartissent également de part et d'autre de la droite de régression, c'est-à-dire que pour un même potentiel on obtiendra des teneurs en fer ferreux qui ne seront pas significativement différentes dans un horizon superficiel et un horizon profond. La *matière organique* n'intervient pas dans la relation $E_h - Fe^{2+}$, mais ne fait qu'accroître la vitesse d'évolution des deux paramètres.

CONCLUSION

Les résultats obtenus par la mesure du potentiel d'oxydoréduction et le dosage du fer ferreux traduisent de façon comparable l'évolution des phénomènes de réduction dans le sol.

Dans les gleys et les pseudogleys, l'évolution des phénomènes de réduction est différente ; les caractères génétiques liés à la différenciation des horizons ont une influence sur le temps de saturation par l'eau nécessaire pour que commence la formation de fer ferreux, mais aussi sur la relation $E_h - Fe^{2+}$. Les teneurs en fer réduit, n'étant pas significativement différentes au début de l'expérience mais étant plus fortes dans un gley que dans un pseudogley pour un même potentiel, semblent indiquer que *le fer est plus facilement réductible dans les gleys*.

La matière organique réduit le temps de saturation nécessaire au début de formation de fer ferreux mais n'influe pas sur la relation $E_h - Fe^{2+}$ et n'intervient que sur *la vitesse d'évolution des phénomènes de réduction*.

Enfin le pH semble *limiter* les phénomènes de réduction quand il est supérieur à 7.

Cette expérimentation a enfin mis en évidence l'existence de *seuils* pour la formation de fer ferreux.

La réduction du fer se produit dans les horizons acides (pH compris entre 4,6 et 5,9 dans les cas étudiés) :

- pour des potentiels d'oxydoréduction inférieurs, suivant les cas, à 325 à 420 mV,
- pour une durée de submersion minimum qui est de :
 - 3 jours pour l'horizon humifère à gley (E),
 - 15 jours pour l'horizon humifère à pseudogley (B) et le gley profond (D),
 - 60 jours pour le pseudogley profond (A).

L'évolution des phénomènes de réduction est influencée par les caractères du sol, mais dépend directement de la durée de saturation. L'étude de tels phénomènes *in situ* a donc été entreprise conjointement à celle du régime hydrique des sols (VIZIER, 1969).

BIBLIOGRAPHIE

- DUCHAUFOUR (Ph.), 1960. — Précis de Pédologie. Masson et Cie, Paris, 438 p.
- JEFFERY (J.W.O.), 1960. — Iron and E_h of waterlogged soils with particular reference to paddy. *J. Soil Sci.*, vol. II, n° 1, pp. 140-149.
- MOTOMURA (S.), 1962. — Effect of organic matter on the formation of ferrous iron in soil. *Soil Sci. Plant Nutr.*, vol. 8, n° 1, pp. 20-29.
- VIZIER (J.F.), FROMAGET (M.), 1967. — Carte pédologique de reconnaissance à 1/200 000 de la République du Tchad. Feuilles de Fianga et Lai. ORSTOM, Fort-Lamy, 1 vol., 105 p. *multigr.*, 2 cart. H.T.+ dossier de caractérisation pédologique.
- VIZIER (J.F.), 1968. — Choix et mise au point d'une méthode de dosage du fer ferreux applicable aux sols hydromorphes minéraux. ORSTOM, Fort-Lamy, 13 p. *multigr.*
- VIZIER (J.F.), 1969. — Etude des phénomènes d'hydromorphie et de leur déterminisme dans quelques types de sol du Tchad. Etude *in situ* des relations existant entre le régime hydrique et les variations du potentiel d'oxydoréduction dans quelques horizons caractéristiques. (*En préparation*).

ANNEXE
TABLEAU DES RÉSULTATS ANALYTIQUES

Echantillons	A	B	C	D	E	F
Profondeur (cm)	140-150	0-10	40-50	110-120	0-8	160-170
Argile (%)	30,25	10,0	29,0	32,0	20,25	45,25
Limon fin (%)	5,25	8,50	5,75	7,0	9,0	9,75
Limon grossier (%)	4,50	6,85	5,0	5,75	8,50	7,50
Sables fins (%)	25,50	35,00	24,50	23,35	30,10	20,00
Sables grossiers (%)	32,50	37,00	34,0	28,25	27,0	18,00
SF/SG	0,79	0,94	0,72	0,89	1,11	1,11
Matière organique (%)	0,11	1,03	0,34	0,15	1,54	0,18
C (‰)	0,67	6,00	2,00	0,91	8,90	1,10
N (‰)	0,18	0,62	0,35	0,32	0,53	0,18
C/N	3,8	9,6	5,8	3,0	16,8	6,15
P ₂ O ₅ total (‰)		0,25	0,12		0,24	
Fe ₂ O ₃ libre (‰)	37,2	12,3	24,5	27,1	17,8	30,4
Fe ₂ O ₃ total (‰)	43,2	14,7	31,3	34,4	23,2	43,5
FL/FT	0,86	0,84	0,78	0,79	0,78	0,70
pH eau	6,3	6,4	5,0	5,5	5,6	7,9
pH KCl	4,9	5,1	4,0	4,5	4,5	6,2
Bases échangeables (me/100 g)						
Ca	8,06	3,38	3,06	7,42	5,10	12,60
Mg	1,26	1,30	1,26	1,54	2,18	3,52
K	0,26	0,14	0,16	0,28	0,16	0,30
Na	0,08	0,02	0,07	0,13	0,04	0,42
S	9,66	4,84	4,55	9,37	7,48	16,84
T	11,53	7,68	9,63	11,73	11,53	16,33
V (%)	82	63	47	80	65	Sat.
Densité apparente	1,73	1,58	1,54	1,90	1,67	1,90
Porosité (%)	33,5	39,2	40,7	27	35,8	27
pF 4,2	10,85	4,10	9,85	10,75	7,05	12,55
pF 3	20,85	8,10	11,20	17,70	13,20	20,15
I _s	3,67	1,83	3,06	3,34	1,03	4,11
K (cm/h)	0,71	0,77	1,93	0,95	1,25	1,09