

# REMARQUES SUR LES FACTEURS DE VARIATION DES LIMITES D'ATTERBERG

par

A. COMBEAU\*

Collaboration technique : Mlles J. Verdler et D. Ollat

Les limites d'Atterberg sont des mesures conventionnelles exprimant des différences de comportement mécanique des sols, différences essentiellement liées aux variations de la teneur en eau. Elles sont donc susceptibles de fournir des indications sur la facilité plus ou moins grande de travail du sol. Elles correspondent en principe aux seuils de passage de l'état solide à l'état plastique (limite de plasticité L.P.) et de l'état plastique à l'état liquide (limite de liquidité L.L.). L'intervalle entre ces deux limites définit l'étendue du domaine de la plasticité (indice de plasticité I.P.).

Les limites d'Atterberg sont utilisées depuis longtemps, mais beaucoup plus systématiquement dans les laboratoires de travaux publics que pour les études de caractère agronomique. Elles ont cependant fait l'objet d'études destinées à permettre l'interprétation pratique des résultats obtenus.

RUSSELL et WEHR (4), puis BAYER (1) ont étudié les facteurs de variations des limites d'Atterberg. Récemment, S. PERIGAUD (3), faisant intervenir, outre les limites ci-dessus, le point d'adhésivité, a mis en évidence l'intérêt de l'étude comparée de ces limites et de la capacité au champ, dans l'appréciation des possibilités de travail du sol.

L'objet de ce travail est de rechercher dans quelle mesure certaines des conclusions de BAYER sont applicables aux sols tropicaux, et de tenter de chiffrer l'importance relative des facteurs de variation des limites d'Atterberg.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les déterminations ont été effectuées sur des échantillons provenant de deux types de sols tropicaux, très différents l'un de l'autre.

---

\* Maître de Recherches - Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M. - Bondy.

- 1 - une série d'échantillons de surface de sols faiblement ferrallitiques provenant de République Centrafricaine. Les seize échantillons retenus présentent une gamme assez étendue de constitutions granulométriques et de teneurs en matière organique ;
- 2 - une série d'échantillons de surface de sols hydromorphes sur alluvions de la Vallée du Sénégal. Ces sols (quatorze échantillons) sont à rattacher aux vertisols. Ils sont très riches en éléments fins, mais presque totalement dépourvus de matière organique.

Sur ces échantillons, ont été déterminés systématiquement la granulométrie (méthode pipette de Robinson, dispersant hexamétaphosphate de Na), la teneur en carbone (méthode de Walkley et Black), les courbes de pF (méthode de Richards - pF 4,2 - 3,0 - 2,5 et 2,0) et les limites d'Atterberg.

La détermination des limites d'Atterberg présente une difficulté de principe : les normes en vigueur prévoient que cette analyse doit être effectuée sur un matériau préalablement passé au tamis de 0,42 mm (ou 0,50 mm) pour éliminer les sables grossiers qui peuvent gêner la mesure. Cette règle a été respectée tout en observant que les résultats d'analyses effectuées sur sol tamisé à 2 mm ne pouvaient, dans ces conditions, être directement comparés aux limites d'Atterberg. Cette remarque nous a amenés à reprendre les analyses granulométriques et les courbes de pF sur les échantillons tamisés à 0,5 mm. Le résultat de cette comparaison sera exposé plus loin.

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats d'analyses figurent dans les tableaux 1 (Sols faiblement ferrallitiques) et 2 (Sols hydromorphes). Leur étude conduit aux conclusions suivantes :

### a - Rôle de la granulométrie

Les résultats obtenus sur les deux types de sols concordent et mettent en relief l'étroitesse de la relation entre les limites mécaniques et le taux d'éléments fins de la terre fine (0 - 2 mm). Ce résultat avait déjà été signalé par plusieurs auteurs. Toutefois, il apparaît que la corrélation obtenue est plus étroite lorsque sont prises en considération les particules de diamètre compris entre 0 et 20  $\mu$  (argile et limon fin) et non pas seulement les particules argileuses 0 - 2  $\mu$ . De plus, la corrélation devient moins bonne si l'on fait intervenir les particules 20 - 50  $\mu$  (limon grossier). Il apparaît donc que les limites d'Atterberg sont étroitement liées à la teneur du sol en argile et limon fin.

Sols faiblement ferrallitiques	L.L. = 0,48 (A + L) + 15,1	r = 0,813	(1)
	L.P. = 0,16 (A + L) + 12,6	r = 0,576	(2)
Sols hydromorphes	L.L. = 0,56 (A + L) + 4,2	r = 0,926	(3)
	L.P. = 0,23 (A + L) + 5,3	r = 0,895	(4)

On constate immédiatement que, pour un même accroissement du taux d'éléments 0 - 20  $\mu$ , l'élévation de la limite de liquidité L.L. est nettement plus forte que celle de la limite de plasticité L.P. En conséquence, l'indice de plasticité tend à augmenter avec la teneur en argile + limon. C'est effectivement ce que montre le calcul :

Sols faiblement ferrallitiques	I.P. = 0,32 (A + L) + 3,0	r = 0,877	(5)
Sols hydromorphes	I.P. = 0,36 (A + L) + 1,0	r = 0,884	(6)

On peut également remarquer que l'augmentation de L.L. et L.P., liée à une augmentation de 1 % du taux d'éléments fins, diffère quelque peu d'un type de sol à l'autre : 0,48 et 0,56 pour la limite de liquidité ; 0,16 et 0,23 pour la limite de plasticité. Il sera démontré plus loin que ces différences ne sont qu'apparentes. Par contre, les pentes des droites de régression sont très proches pour l'indice de plasticité I.P. : 0,32 et 0,36.

Ces résultats ayant été obtenus par comparaison des valeurs des limites d'Atterberg mesurées sur terre tamisée à 0,5 mm avec la granulométrie d'échantillons tamisés à 2 mm, les calculs ont été repris en utilisant les taux d'éléments fins déterminés sur terre tamisée à 0,5 mm. Comme on pouvait s'y attendre, sur les sols hydromorphes pratiquement dépourvus de sables grossiers, les résultats n'ont pas varié. Mais, même sur les sols ferrallitiques, les différences enregistrées ont été relativement faibles, et la précision des résultats n'a pas été très sensiblement améliorée, ce qui apparaît dans la valeur des coefficients de corrélation  $r$  qui, pour les équations (1) et (2), passent respectivement à 0,877 et 0,668.

Dans ces conditions, et tout au moins pour les sols utilisés dans cette étude, les chiffres de l'analyse granulométrique sur terre tamisée à 2 mm peuvent être considérés comme suffisamment précis pour l'étude des propriétés mécaniques des sols. Ce sont ces chiffres qui figurent dans le tableau 1.

En définitive, il apparaît donc que les teneurs en eau aux limites de liquidité et de plasticité augmentent lorsque la teneur en éléments fins s'élève, mais plus vite pour la première que pour la seconde de ces limites, de sorte que le domaine de la plasticité s'accroît dans ces conditions.

## **b - Rôle de la matière organique**

BAVER (1) avait observé que les limites de liquidité et de plasticité des horizons superficiels sont toujours plus élevées que celles des horizons sous-jacents et en avait déduit que la matière organique tend à augmenter les limites mécaniques des sols.

Pour vérifier cette hypothèse, les résultats obtenus sur les sols faiblement ferrallitiques, dont nous avons vu qu'ils représentent une gamme de teneurs en carbone assez étalée (0,7 à 4%), ont été étudiés systématiquement.

On observe en effet une tendance à ce que, pour une même teneur en éléments fins, les valeurs de L.L. et L.P. soient plus élevées dans les sols riches en matière organique. La méthode du calcul des corrélations multiples a alors été appliquée, en étudiant le rôle respectif des facteurs : teneur en éléments fins 0 - 20  $\mu$  d'une part, teneur en carbone d'autre part, dans les variations des limites d'Atterberg. Les résultats se résument comme suit :

a - le facteur matière organique joue un rôle significatif et positif, aussi bien sur la limite de liquidité que sur la limite de plasticité. En effet, le coefficient de corrélation partielle trouvé est hautement significatif pour la limite de liquidité ( $r_{13,2} = 0,634$  pour 16 échantillons), très hautement significatif pour la limite de plasticité ( $r_{13,2} = 0,798$ ). De plus, la prise en considération du taux de matière organique améliore le coefficient de corrélation totale qui passe de 0,813 à 0,893 pour la limite de liquidité, de 0,576 à 0,870 pour la limite de plasticité. Par conséquent, les variations de teneurs en éléments fins et en carbone permettent d'expliquer 79,7% des variations de L.L. et 75,7% des variations de L.P.

b - Le facteur matière organique est moins étroitement lié aux limites mécaniques que le facteur granulométrie.

c - La matière organique tend à accroître la limite de liquidité un peu plus fortement que la limite de plasticité, mais la différence est très faible.

d - Aussi bien pour L.L. que pour L.P., l'importance pratique de la matière organique n'est pas considérable ; en effet, une augmentation de 1% du taux de carbone se traduit en moyenne par une élévation de teneur en eau de 2,9% pour la limite de liquidité, de 2,5% pour la limite de plasticité.

e - Etant donné le rôle sensiblement équivalent de la matière organique sur L.L. et L.P., la valeur de L.P. est elle-même indépendante de la teneur en carbone. Le calcul permet en effet de vérifier que le taux de carbone ne joue pas de rôle significatif dans les variations de L.P.

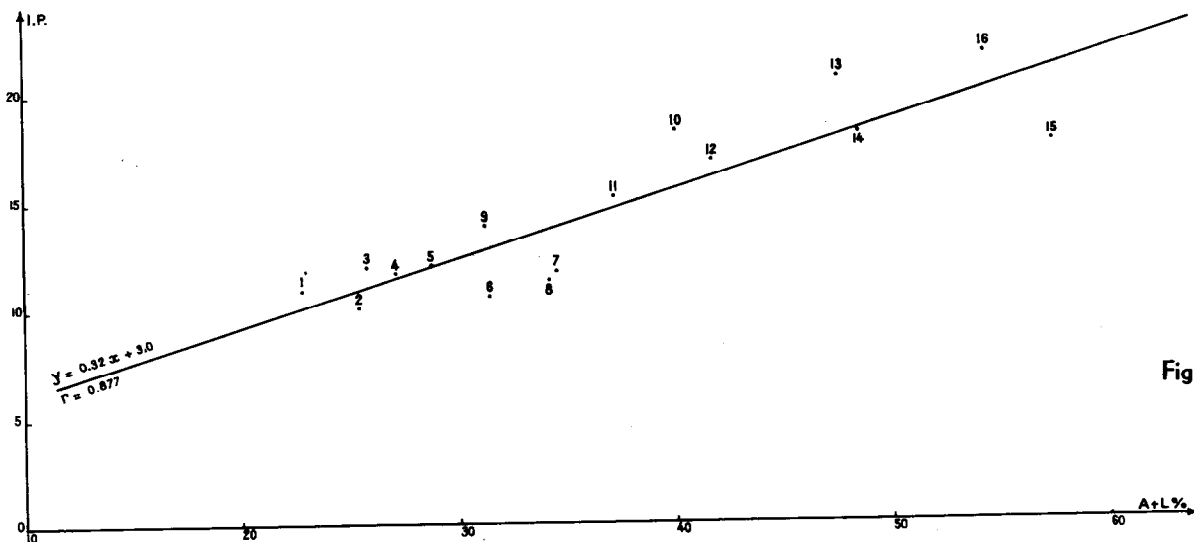
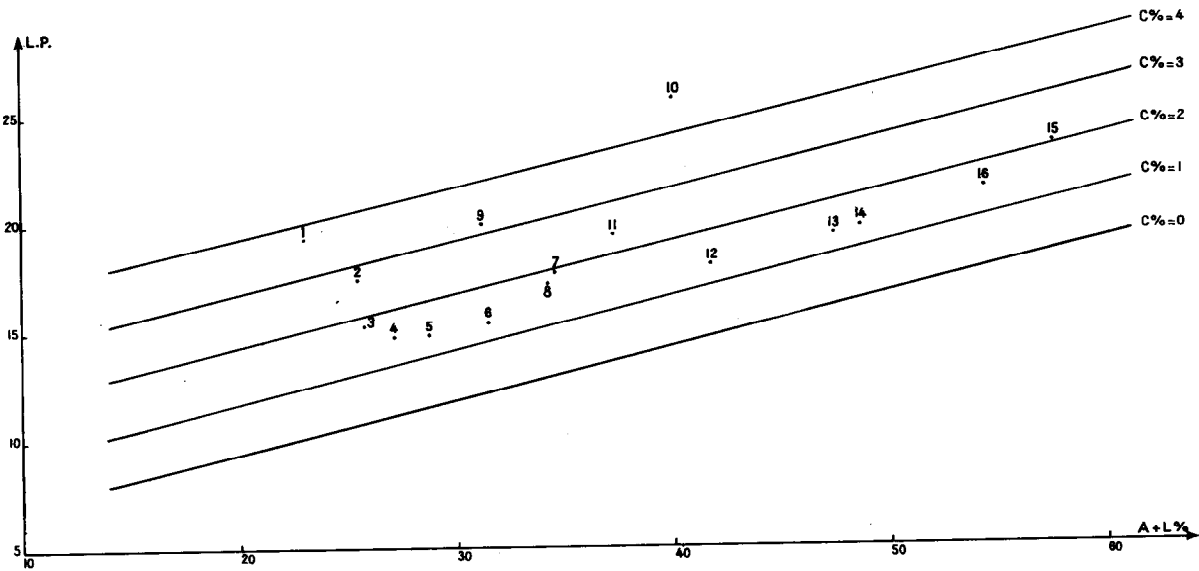
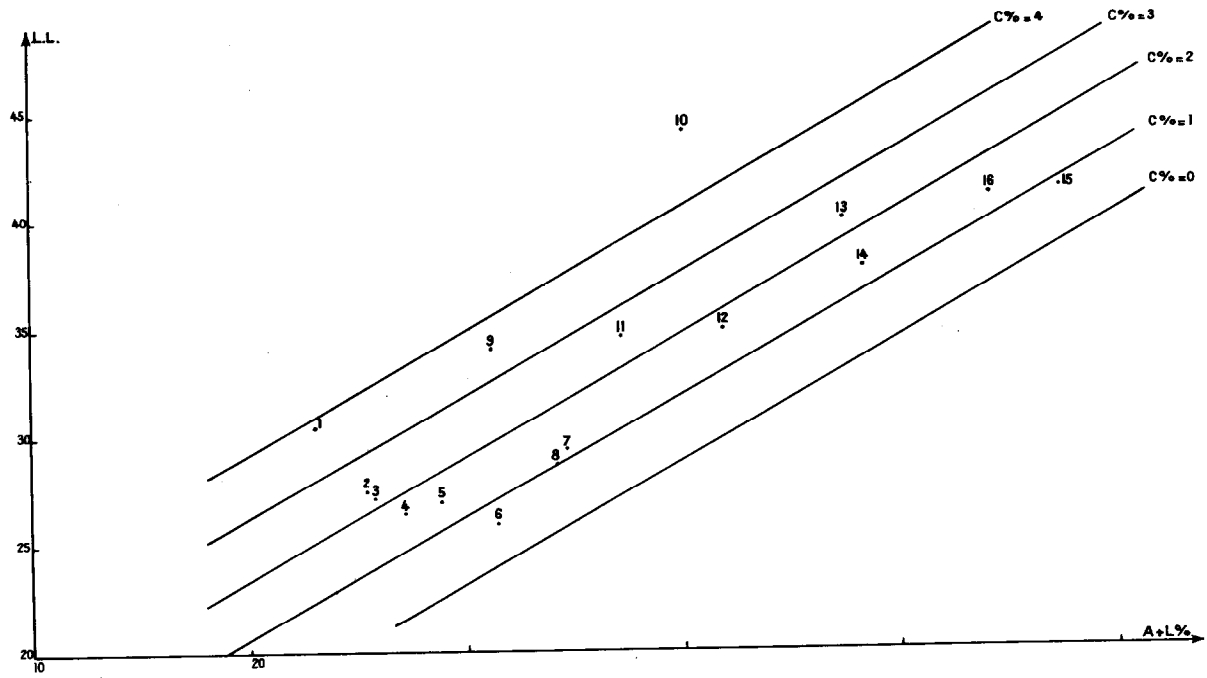


Figure 1

En définitive, l'augmentation de la quantité de matière organique d'un sol faiblement ferrallitique entraîne une augmentation des seuils de passage à l'état plastique et à l'état liquide, sans que l'étendue du domaine de la plasticité en soit affectée. Ces résultats se résument dans les trois formules suivantes (Fig. 1) :

$$\begin{aligned} \text{L.L.} &= 0,57 (A + L \%) + 2,91 (C \%) + 6,3 & R &= 0,893 & (7) \\ r_{12,3} &= 0,892 & r_{13,2} &= 0,634 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{L.P.} &= 0,24 (A + L \%) + 2,49 (C \%) + 4,7 & R &= 0,870 & (8) \\ r_{12,3} &= 0,845 & r_{13,2} &= 0,798 \end{aligned}$$

$$\text{I.P.} = 0,32 (A + L \%) + 3,0 \quad r = 0,877 \quad (9)$$

Ces résultats n'ont pas été vérifiés sur les sols hydromorphes qui sont uniformément pauvres en carbone (0,5 à 0,8 %). Il paraît cependant intéressant de souligner le fait suivant : il avait été signalé plus haut que les équations exprimant L.L. et L.P. en fonction de A + L différaient quelque peu d'un type de sol à l'autre. En comparant les équations (7) et (8) aux équations (3) et (4) on constate maintenant que, lorsqu'il est tenu compte de la teneur en carbone des sols faiblement ferrallitiques, les coefficients de régression exprimant le rôle des éléments fins 0 - 20  $\mu$  se rapprochent très sensiblement de ceux obtenus sur les sols hydromorphes : 0,57 et 0,56 pour L.L., 0,24 et 0,23 pour L.P. Il y a donc une grande analogie de comportement des éléments minéraux fins des deux types de sols étudiés vis-à-vis des limites mécaniques, ceci malgré de grandes différences d'origine et de genèse de ces sols. Dans les deux cas, un accroissement du taux d'argile + limon de 1 % entraîne une augmentation pour L.L. de 0,5 à 0,6 % ; pour L.P. de 0,2 à 0,3 %.

Pour tenter de vérifier les résultats obtenus sur les sols faiblement ferrallitiques dans l'étude du rôle de la matière organique, une vérification expérimentale a été recherchée en mesurant les valeurs de L.L. et de L.P. sur un même échantillon de sol traité par des quantités croissantes d'eau oxygénée pour l'appauvrir progressivement en carbone. Cette expérience a été faite sur un sol de la région parisienne, traité par 0, 50, 300, 800 et 1 500  $\text{cm}^3$  d' $\text{H}_2\text{O}_2$  pour 0,5 kg de terre.

	Quantité $\text{H}_2\text{O}_2$ Pour 500 g terre	C %	L.L.	L.P.	I.P.
<b>Sol de France</b>					
1	0	1,03	29,8	15,2	14,6
2	50	0,96	30,2	16,6	13,6
3	300	0,73	29,4	15,0	14,4
4	800	0,41	27,2	13,0	14,4
5	1 500	0,30	26,3	13,0	13,3
<b>Sol faiblement ferrallitique</b>					
1	0	1,94	33,8	21,2	12,6
2	50	1,92	34,0	21,2	12,8
3	300	1,33	30,8	18,0	12,8
4	800	0,44	24,0		
5	1 500	0,23	22,9		

### Effets de la destruction de la matière organique

On constate bien une diminution sensible et régulière de L.L. et de L.P. au fur et à mesure que le taux de carbone s'abaisse, alors que les variations de I.P. ne sont pas significatives. La même expérience, réalisée sur un sol faiblement ferrallitique, a conduit à un résultat analogue. On observe toutefois que, dans les deux cas, le traitement par une très petite quantité d'eau oxygénée (50 cc) tend à accroître légèrement les limites mécaniques. On note enfin qu'une même diminution du taux de carbone réduit plus fortement L.L. sur sol faiblement ferrallitique que sur le sol de France utilisé.

En conclusion, ces diverses observations tendent à confirmer les résultats de BAVER selon lesquels les limites d'Atterberg sont fonction du taux de matière organique, alors que l'indice de plasticité est indépendant de ce facteur. Ces résultats se traduisent dans la pratique par le fait qu'un sol appauvri en matière organique passe de l'état solide à l'état plastique, puis à l'état liquide, pour un taux d'humidité plus bas, qu'un sol bien pourvu en carbone. Cette observation illustre la difficulté croissante de travail du sol au fur et à mesure de la dégradation des sols cultivés.

**Remarque :** Dans les laboratoires routiers, parmi les tests utilisés pour définir les caractéristiques des chaussées, on utilise parfois le "facteur de portance", facteur qui est en corrélation assez étroite avec les mesures de résistance du matériau au poinçonnement dans les conditions d'humidité les plus favorables au tassement. Le facteur de portance est défini par :  $F = \frac{4250}{IP \times L.L.}$  Sa valeur peut varier entre 2 et 20.

Le calcul de F pour les sols étudiés ici conduit à observer que, dans le cas des sols ferrallitiques, la gamme de variation est comprise entre 4,8 et 15,6, alors que, sur les sols hydromorphes, la valeur de F oscille entre 3,5 et 10,7. En outre, l'analyse graphique montre qu'il existe une corrélation étroite entre F et le taux d'éléments fins : le facteur de portance diminue lorsque la proportion d'argile et de limon augmente. De plus, F est également sous la dépendance de la teneur en matière organique, les sols les plus humifères ayant, à granulométrie comparable, une portance sensiblement plus faible. On peut encore observer que les deux types de sols se comportent encore, de ce point de vue, comme s'ils faisaient partie d'une même population homogène. (Fig. 2)

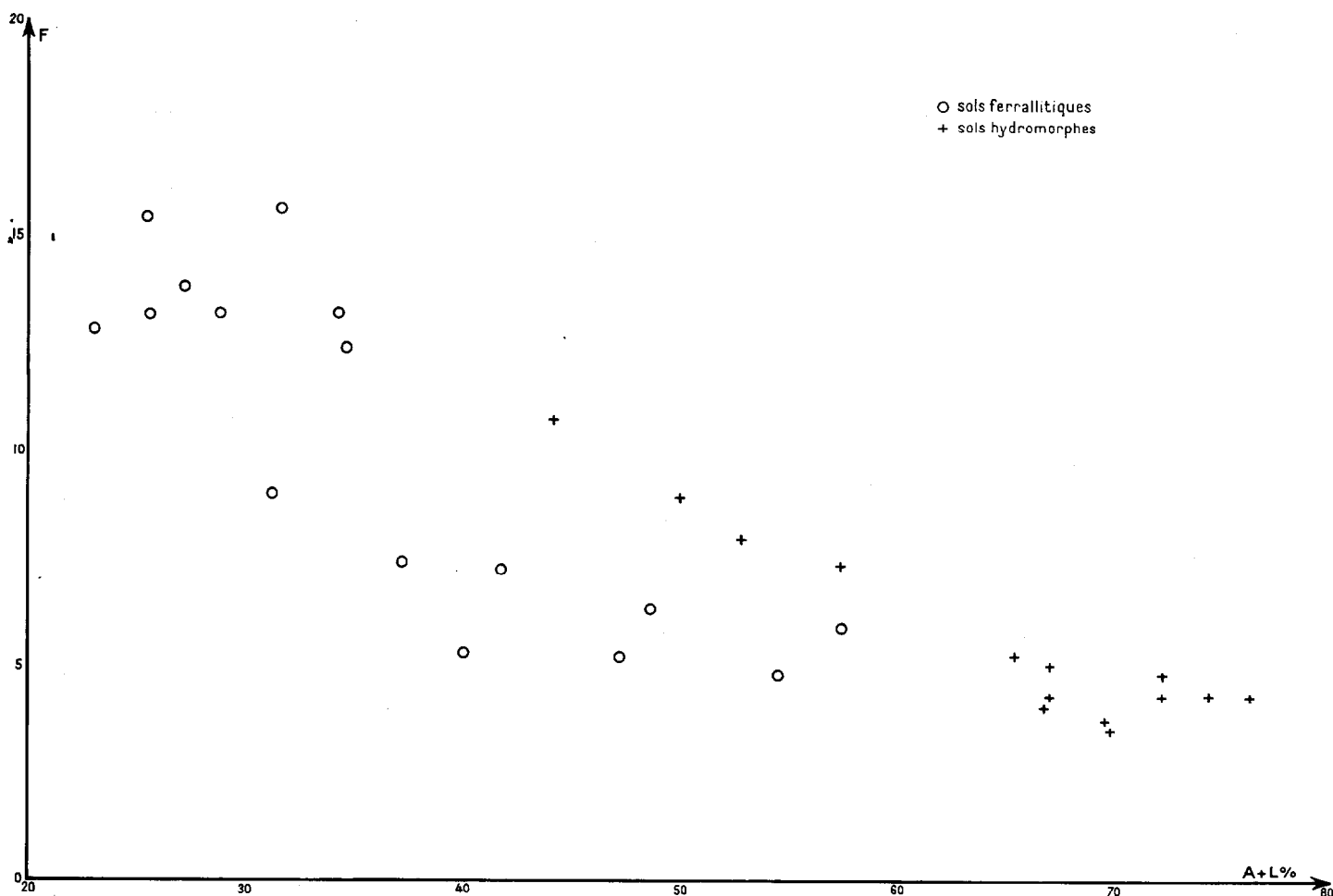


Figure 2

### c - Autres facteurs des limites d'Atterberg

Des facteurs autres que les taux d'éléments fins et de matière organique peuvent modifier les valeurs des limites mécaniques des sols. Ils n'ont pas fait l'objet d'une étude systématique. Toutefois, certaines observations isolées permettent d'avoir un aperçu de leur importance.

Les résultats obtenus sur des vertisols noirs de l'Inde, sols dont le minéral argileux est essentiellement de la montmorillonite, et qui de ce fait sont caractérisés par une rétention d'eau très élevée, montrent que, pour une même teneur en éléments fins, les valeurs de L.L. sont très nettement plus élevées que celles obtenues sur les sols ferrallitiques et les sols hydromorphes. Les valeurs de L.P. sont également plus fortes, mais dans une proportion moins importante. Par conséquent, les indices de plasticité présentent également des valeurs élevées.

**Limites d'Atterberg sur vertisols des Indes**

Echantillons	(A + L) %	L.L.	L.P.	I.P.
P 52 c	14,1	45,2	25,2	20,0
P 8 a	11,7	29,4	16,4	13,0
P 41 c	38,7	46,0	20,9	25,1
P 39 d	52,1	54,0	24,6	29,4

essentiellement de la montmorillonite, et qui de ce fait sont caractérisés par une rétention d'eau très élevée, montrent que, pour une même teneur en éléments fins, les valeurs de L.L. sont très nettement plus élevées que celles obtenues sur les sols ferrallitiques et les sols hydromorphes. Les valeurs de L.P. sont également plus fortes, mais dans une proportion moins importante. Par conséquent, les indices de plasticité présentent également des valeurs élevées.

Les oxydes de fer semblent également avoir une influence appréciable sur les valeurs des limites d'Atterberg. Un échantillon de sol hydromorphe a été traité par des quantités croissantes d'un "sol" d'hydroxyde de fer préparé à partir de chlorure ferrique, et soumis ensuite aux analyses. On observe une augmentation lente et régulière de la limite de liquidité au fur et à mesure de l'élévation du taux d'oxyde de fer. Les variations de la limite de plasticité sont, par contre, négligeables. En définitive, l'indice de plasticité augmente parallèlement aux variations de L.L., ce qui signifie que la présence d'oxyde de fer tendrait à accroître le domaine de la plasticité.

**Effets d'une addition d'oxyde de fer**

cm <sup>3</sup> de solution (à 25 g Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /litre) pour 1 kg terre	L.L.	L.P.	I.P.
0	36,8	17,7	19,1
50	36,0	17,0	19,0
100	39,0	19,5	19,5
200	39,0	19,0	20,0
250	40,5	18,5	22,0
300	41,8	17,5	24,3
350	41,5	18,5	23,0

### d - Relations entre limites d'Atterberg et potentiel capillaire

S. PERIGAUD (3) a déjà signalé que les potentiels capillaires correspondant aux limites d'Atterberg dépendent du type de sol, aussi bien pour les horizons de surface que pour les horizons profonds. Il était intéressant de tenter de vérifier ce fait en exprimant les résultats de mesure, non pas en pourcentage de teneur en eau, mais en pF. Les résultats obtenus sont les suivants :

a - Le pF de la limite de plasticité varie dans une gamme plus large que celui de la limite de liquidité.

Sols faiblement ferrallitiques	pF L.L.	1,9 à 2,4
	pF L.P.	2,5 à 3,4
Sols hydromorphes	pF L.L.	1,9 à 2,3
	pF L.P.	3,2 à 3,9

b - Les variations de pF des deux limites sont fonction de la granulométrie des échantillons. Sur les deux types de sols étudiés, on constate que le pF de la limite de plasticité augmente avec le taux d'éléments fins, alors que le pF de la limite de liquidité tend au contraire à diminuer. Les résultats obtenus s'expriment par les relations suivantes . (Fig. 3) :

Sols faiblement ferrallitiques	pF L.L. =	$-0,0080 (A + L) + 2,50$	$r = -0,696$	(10)
	pF L.P. =	$0,0145 (A + L) + 2,38$	$r = 0,651$	(11)
Sols hydromorphes	pF L.L. =	$-0,0097 (A + L) + 2,73$	$r = -0,851$	(12)
	pF L.P. =	$0,0159 (A + L) + 2,46$	$r = 0,660$	(13)

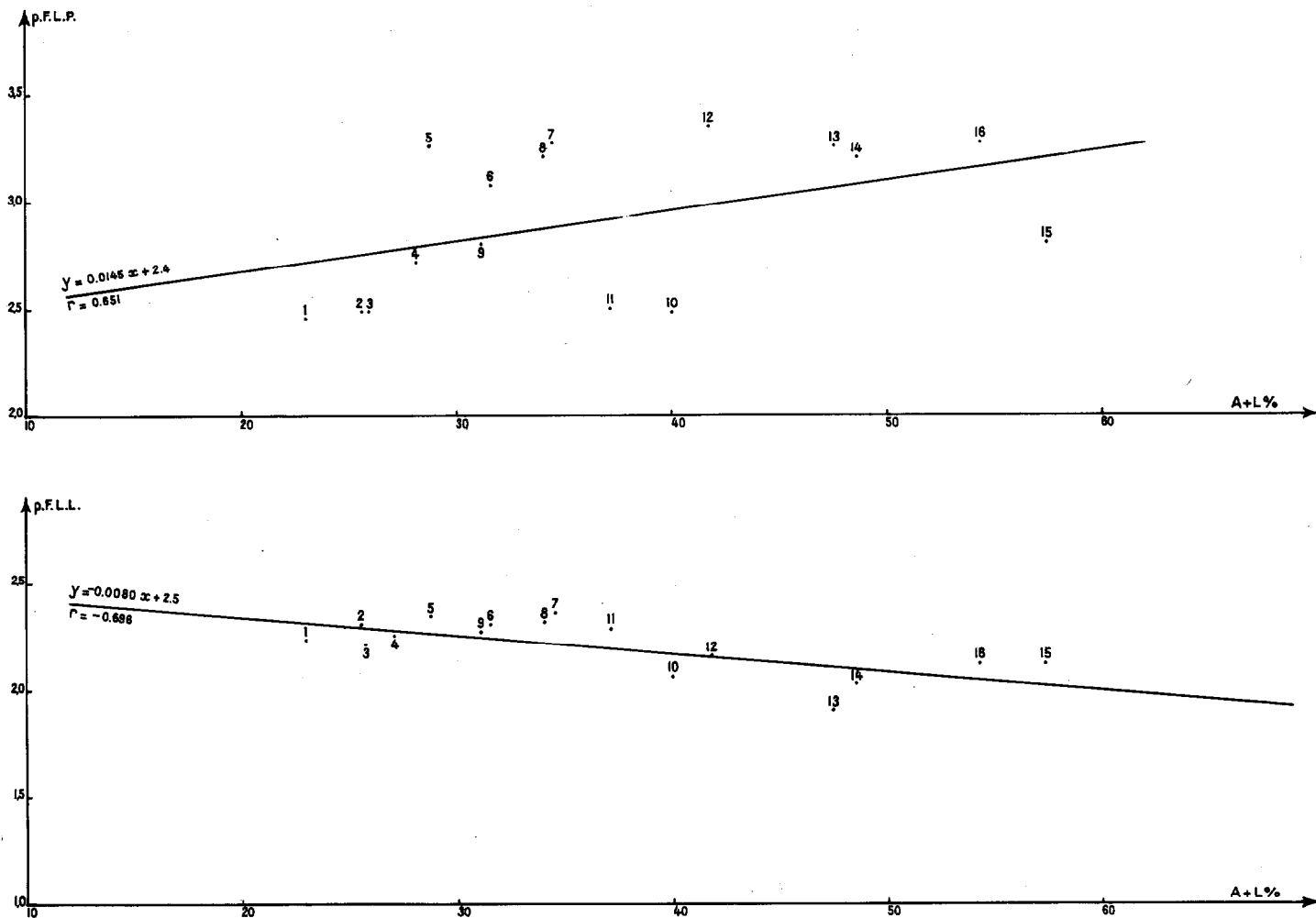


Figure 3

On observe donc une bonne similitude dans les résultats obtenus sur les deux types de sols. En outre, le sens des variations enregistrées semble être en accord avec certains des chiffres cités par S. PERIGAUD.

On peut donc considérer que les sols passent de l'état solide à l'état plastique pour un potentiel capillaire d'autant plus élevé qu'ils sont plus argileux. Ce résultat doit être rapproché du fait que le pF de la capacité au champ semble suivre une évolution du même ordre. Sur des sols du même type et provenant de la même région, il avait été signalé antérieurement (2) que la loi de variation du pF de la capacité au champ s'exprimait par la relation :

$$pF \text{ C.C.} = 0,038 (A + L) + 1,5$$

Dans ces conditions, la limite de plasticité correspondrait à un pF plus élevé que celui de la capacité au champ pour les sols sableux, mais la situation tendrait à s'inverser, ou tout au moins les différences iraient en s'atténuant, pour des sols de plus en plus argileux. Cette hypothèse serait à rapprocher de la remarque de S. PERIGAUD sur les variations des positions relatives de la capacité au champ et de la limite de plasticité.

Selon une évolution inverse de la précédente, le passage à l'état liquide aurait lieu pour des pF d'autant plus bas que la richesse en éléments fins augmente.



En outre, on constate, sur les sols faiblement ferrallitiques, que l'éventail des valeurs de pF correspondant à l'état plastique, défini comme la différence entre pF de la limite de plasticité et pF de la limite de liquidité (pF L.P. - pF L.L.), diminue de façon significative lorsque le taux de matière organique du sol augmente. Cette décroissance est rapide. Elle signifie que, pour un sol en voie de dessèchement, l'état plastique sera d'autant plus transitoire que le sol sera plus riche en matière organique.

Ces observations mettent en évidence un certain antagonisme entre taux d'éléments fins du sol et teneur en matière organique. Il est intéressant de rapprocher ces résultats des conclusions de BAVER : cet auteur considère que l'adhésivité maximum est proportionnelle à l'indice de plasticité ; elle augmentera donc avec le taux d'argile + limon. La matière organique du sol ne la modifiera pas sensiblement, mais aura pour effet d'augmenter le seuil de teneur en eau à partir duquel elle se manifeste. Par contre, la matière organique tendra à raccourcir la période de manifestation de l'état plastique.

## CONCLUSIONS

Les résultats obtenus dans l'étude de deux séries d'échantillons appartenant à des types de sols tropicaux très différents ont conduit aux conclusions suivantes :

- a - Les limites d'Atterberg dépendent étroitement de la granulométrie de l'échantillon, les valeurs des limites de liquidité et de plasticité et celles de l'indice de plasticité augmentant régulièrement avec le taux d'éléments fins 0 - 20  $\mu$  et de façon comparable pour les deux types de sols étudiés.
- b - Le taux de matière organique joue également un rôle sur les deux limites dont il élève la valeur, mais ses variations ne paraissent pas affecter l'indice de plasticité.
- c - Le type de minéral argileux peut permettre d'interpréter certaines variations des limites d'Atterberg. La présence d'oxyde de fer semble également jouer un rôle appréciable, en particulier en augmentant la limite de liquidité et l'indice de plasticité.
- d - Le potentiel capillaire correspondant aux limites d'Atterberg varie selon les échantillons. L'un des facteurs importants de variation, en particulier pour la limite de liquidité, est la teneur en éléments fins 0 - 20  $\mu$  : lorsque ce taux augmente, le pF de la limite de liquidité s'abaisse, alors que le pF de la limite de plasticité s'élève. Par contre, l'éventail des valeurs de pF correspondant au domaine plastique est d'autant moins ouvert que les sols sont plus riches en matière organique.

En définitive, l'effet de la matière organique consisterait donc, d'une part à accroître les teneurs en eau correspondant à l'apparition de l'état plastique, puis de l'état liquide, d'autre part à réduire l'éventail des valeurs de pF correspondant à l'état plastique.

## BIBLIOGRAPHIE

- 1 - BAVER (L.D.) - The Atterberg consistency constants : factors affecting their values and a new concept of their significance. *J. Amer. Soc. Agron., Geneva, N.Y., 1930, 22, p.935-948.*
- 2 - COMBEAU (A.) et QUANTIN (P.) - Observations sur la capacité au champ de quelques sols ferrallitiques. Rapprochement avec les courbes pF-Humidité. *Science du Sol, Versailles, mai 1963, 1, p.1-7.*
- 3 - PERIGAUD (Mme S.) - Travail du sol et limites d'Atterberg.- *C.R. Acad. Agric., Paris, janv. 1964, 50, 1, p.57-66.*
- 4 - RUSSELL (J.C.) et WEHR (F.M.) - The Atterberg consistency constants. *J. Amer. Soc. Agron., Geneva, N.Y., 1928, 20, p.354-372.*

**Tableau 1**  
**Sols faiblement ferrallitiques**

Ech.	N°	A %	A + L %	C %	L.L.	L.P.	I.P.	pF L.L.	pF L.P.	pF L.P. - pF L.L.
BRI 111	1	18,5	23,0	3,3	30,4	19,5	10,9	2,25	2,45	0,20
OUA P 11	2	19,5	25,5	2,0	27,3	17,2	10,1	2,30	2,49	0,19
BRI B 51	3	23,2	25,8	2,0	27,1	15,2	11,9	2,21	2,49	0,28
BRI B 61	4	25,3	27,1	2,0	26,4	14,7	11,7	2,25	2,72	0,47
NGR 31	5	21,8	28,8	1,5	26,9	14,9	12,0	2,34	3,25	0,91
DAR 11	6	26,0	31,5	1,9	25,9	15,4	10,5	2,31	3,08	0,77
NGR 11	7	27,2	34,5	1,8	29,4	17,7	11,7	2,35	3,27	0,92
MAK 11	8	26,0	34,2	2,2	28,5	17,2	11,3	2,31	3,20	0,89
ZOU 11	9	24,9	31,2	2,1	34,0	20,1	13,9	2,27	2,80	0,53
BRI B 81	10	33,8	40,0	3,9	44,0	25,8	18,2	2,05	2,49	0,44
BRI B 21	11	30,5	37,2	3,2	35,5	19,4	16,1	2,18	2,50	0,32
BAM A <sub>1</sub> BO	12	37,0	41,8	2,1	34,9	18,0	16,9	2,16	3,35	1,19
BAM t <sub>1</sub> AO	13	40,5	47,5	0,8	39,9	19,4	20,5	1,90	3,25	1,35
BAM t <sub>1</sub> BO	14	41,0	48,5	0,8	37,5	19,5	18,0	2,14	3,20	1,06
BAM E 51	15	51,5	57,5	1,9	41,1	23,5	17,6	2,10	2,80	0,70
BAM A <sub>1</sub> AO	16	50,0	54,3	1,1	41,0	19,4	21,6	2,10	3,26	1,15

**Tableau 2**

**Sols hydromorphes sur alluvions**

Ech.	N°	A %	A + L %	L.L.	L.P.	I.P.	pF L.L.	pF L.P.	pF L.P. - pF L.L.
P 21	1	55,1	69,6	45,1	19,7	25,4	1,94	3,85	1,91
P 25	2	50,5	65,5	40,1	19,6	20,5	2,08	3,62	1,54
P 41	3	51,3	72,2	41,0	19,5	21,5	2,13	3,83	1,70
P 43	4	52,9	76,2	44,7	22,5	22,2	2,04	3,40	1,36
P 44	5	48,4	67,0	43,9	21,5	22,4	2,03	3,68	1,65
P 54	6	53,1	72,2	44,6	22,3	22,3	2,05	3,39	1,34
P 60	7	49,9	74,3	43,9	21,5	22,4	2,07	3,83	1,76
P 61	8	45,4	67,0	41,9	21,7	20,2	2,04	3,47	1,43
P 7	9	55,4	66,8	44,5	20,7	23,8	1,95	3,34	1,39
P 9	10	52,2	69,8	47,6	22,4	25,2	2,02	3,47	1,45
P 104	11	34,4	44,2	29,4	15,9	13,5	2,27	3,19	0,92
P 105	12	47,2	57,3	34,0	16,9	17,1	2,24	3,24	1,00
P 114	13	36,8	50,0	31,8	16,8	15,0	2,29	3,18	0,89
P 115	14	38,2	52,7	32,4	15,9	16,5	2,25	3,39	1,14