

VARIATIONS SAISONNIÈRES DE LA STABILITÉ STRUCTURALE DU SOL EN RÉGION TEMPÉRÉE.

Comparaison avec la zone tropicale.

par

A. COMBEAU *

Collaboration technique : **Mme M.J. Pouget** et **Mlle J. Verdier**

MATERIEL ET METHODES

RESULTATS ET DISCUSSION

- 1 - Comparaison des parcelles 1 et 2
- 2 - Comparaison des horizons 0-5, 5-10 et 10-20 cm
 - a - Parcelle 1
 - b - Parcelle 2
- 3 - Variations saisonnières
 - a - Agrégats stables à l'eau après prétraitement à l'alcool (= Ag A)
 - b - Agrégats stables à l'eau sans prétraitement (= Ag E)
 - c - Agrégats stables à l'eau après prétraitement au benzène (= Ag B)
 - d - Dispersion (A + L %)
 - e - Indice d'instabilité structurale
- 4 - Comparaison des variations saisonnières sous climat tempéré et tropical
- 5 - Interprétation des variations saisonnières observées

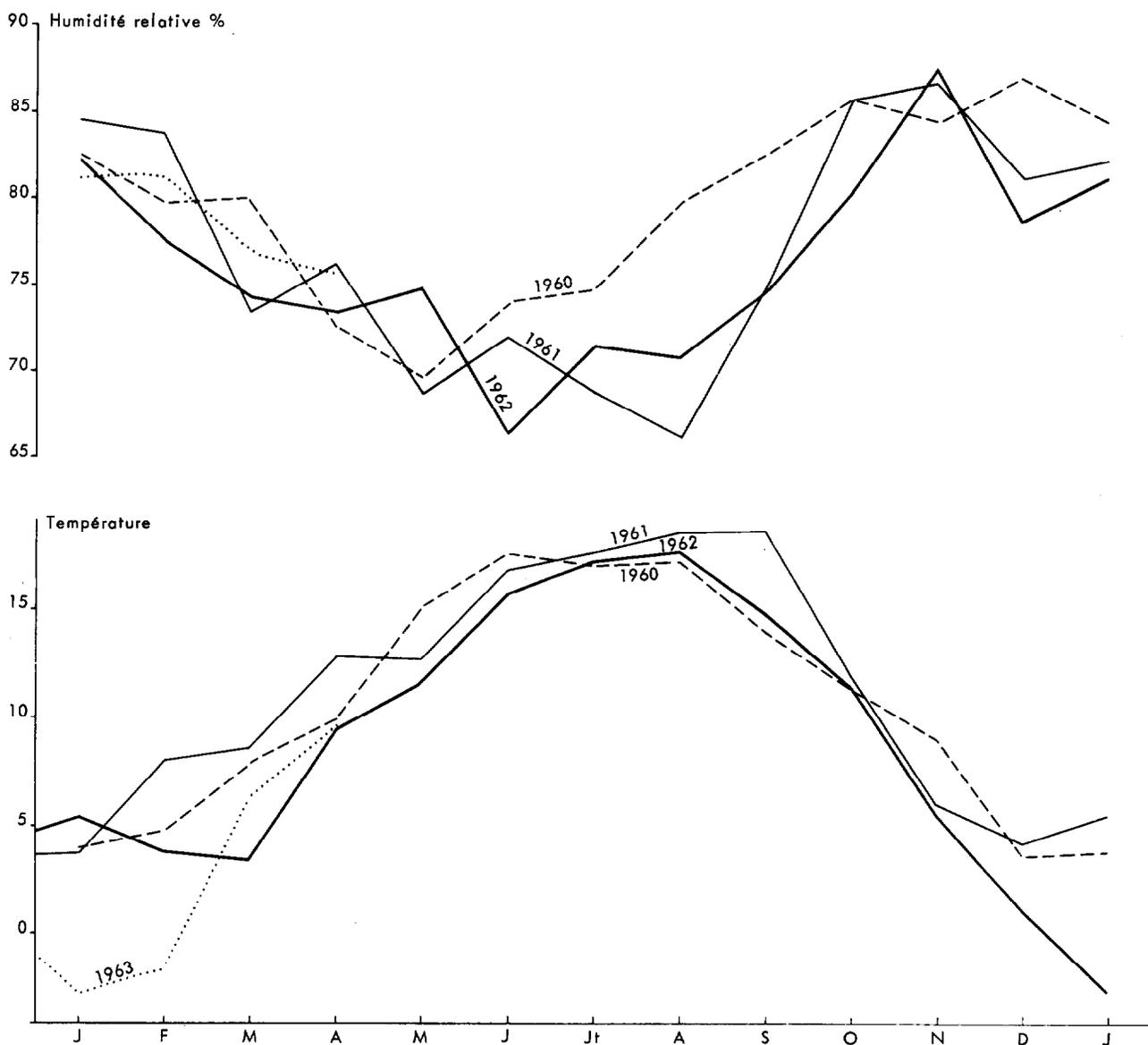
CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

* Maître de Recherches. Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M., Bondy (Seine).

Dans un précédent article (COMBEAU et QUANTIN, 1963) ont été mises en évidence les manifestations d'une évolution saisonnière de la stabilité structurale (mesurée par la méthode HENIN) dans les sols faiblement ferrallitiques d'une région tropicale (République Centrafricaine). Il avait été démontré que ces variations sont étroitement liées au climat de la zone étudiée, climat caractérisé schématiquement par l'alternance de deux périodes très tranchées : une saison sèche et une saison des pluies. L'amplitude des variations observées est assez considérable, puisqu'elle correspond approximativement à 60 % de la valeur moyenne annuelle de l'indice d'instabilité structurale I_s .

Il pouvait être intéressant, dans ces conditions, d'entreprendre une étude comparative du phénomène en région tropicale et en région tempérée, en choisissant de préférence une région tempérée à climat peu contrasté. La région parisienne se prête assez bien à une telle comparaison, car, si on y observe bien une variation régulière de la température et du degré hygrométrique de l'air au cours de l'année, par contre la pluviométrie semble répartie au hasard pendant les divers mois de l'année. On peut donc se demander dans quelle mesure une variation saisonnière pourra se manifester et si la sensibilité des méthodes d'étude est suffisante pour la mettre en évidence.



Graphique 1

Plusieurs auteurs se sont déjà intéressés à ce problème. En particulier HENIN (1938), puis HENIN et TURC (1949), ont montré qu'il existait bien une variation au cours de l'année des pourcentages d'agrégats de sol stables à l'eau, et des taux d'éléments fins en suspension, ce qui se traduit par une variation de vitesse de filtration de l'eau à travers des échantillons remaniés d'un même sol prélevé à des époques différentes. Les diverses méthodes d'analyse utilisées convergeaient pour montrer l'existence d'une période de mauvaise stabilité structurale en automne et en hiver, avec régénération de cette stabilité au printemps. Un résultat analogue a été obtenu par AMBROZ (1956) qui observe en région tempérée un taux d'agrégation maximum en été et au début de l'automne. De même, ALDERFER (1946) constate l'existence d'une variation saisonnière du pourcentage d'agrégats stables à l'eau, de diamètre supérieur à 0,25 mm, mesuré sur sol séché à l'air, avec, pour le sol non travaillé, un taux maximum en juillet, un minimum en novembre.

Dans le cadre d'une expérience plus vaste destinée à étudier les variations de certaines caractéristiques analytiques au cours de l'année, nous avons pu disposer d'échantillons de sols prélevés tous les mois, à trois niveaux différents de l'horizon superficiel du sol, et pendant trois années consécutives. Les résultats de cette expérience, conçue et réalisée par G. BACHELIER, ont fait l'objet d'une publication récente (BACHELIER, 1964). Le présent travail a pour objet d'exposer dans le détail les résultats de l'étude de la stabilité structurale, et de comparer ces résultats à ceux obtenus en région tropicale.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le graphique 1 résume quelques-unes des données météorologiques correspondant à la période étudiée. La température moyenne mensuelle, qui est généralement voisine de 4° en décembre et janvier, atteint 18° en juillet-août. Le degré hygrométrique moyen oscille entre 66% (généralement en juin) et 87% (en octobre ou novembre).

On peut toutefois faire plusieurs remarques : l'hiver 1960-1961 a été caractérisé par une période froide assez courte, et une longue période humide de cinq mois, alors que, en 1961-1962, la période froide était plus longue et sensiblement plus sèche. En outre, l'hiver 1962-1963 a été très rigoureux, avec des températures mensuelles moyennes comprises entre -2 et -3° pendant deux mois, et un degré hygrométrique inférieur à la normale. On peut également noter que l'été 1961 a été relativement sec et chaud.

En ce qui concerne les pluies, aucune tendance n'a pu être dégagée dans leur distribution pendant la période d'étude. Les pluviométries mensuelles les plus fréquentes sont de l'ordre de 25 à 50 mm. On observe cependant des précipitations exceptionnellement abondantes en octobre 1960 : 120 mm en un mois. Les précipitations annuelles atteignent respectivement 685, 502 et 463 mm en 1960, 61 et 62.

Le protocole expérimental adopté a été décrit par G. BACHELIER (1964). Nous nous bornerons à en rappeler les grandes lignes. Le sol de l'essai est un sol brun calcaire sur alluvions. Il est au repos depuis plusieurs années, la végétation étant celle d'un verger de pommiers assez touffu, à strate herbacée clairsemée. Le sol est peu argileux (argile 17%, limon 7%). La teneur en matière organique de l'horizon superficiel est de l'ordre de 2 à 3%. Le pH est voisin de 8.

Les échantillons étudiés ont été prélevés selon deux méthodes différentes. Dans un premier temps (Parcelle 1), des échantillons ont été prélevés dans des cylindres métalliques de 100 cm³ aux profondeurs 0-5, 5-10 et 10-20 cm. Ces échantillons, séchés à l'air, étaient ensuite soumis à l'analyse de stabilité structurale. Les dosages de carbone par la méthode de WALKLEY et BLACK, et les dosages d'humus après extraction au pyrophosphate de sodium à pH 10, ont également été effectués.

Après une année d'observations, pour éliminer dans la mesure du possible, les effets de l'hétérogénéité du sol naturel, un dispositif particulier a été mis en place : ce dispositif (Parcelle 2) consiste en une série de 24 cylindres en matière plastique, sans fond, enfouis verticalement sur

20 cm de profondeur, et garnis de terre provenant de la même parcelle mais tamisée à 2 mm et homogénéisée. Par la suite, un cylindre a été extrait chaque mois, son contenu fractionné en trois couches 0-5, 5-10 et 10-20 cm, et chaque échantillon ainsi obtenu, séché à l'air, a été analysé.

Les mesures sur la parcelle 1 se sont échelonnées entre janvier 1960 et février 1961, sur la parcelle 2, de février 1961 à avril 1963. Les analyses physiques exécutées portaient essentiellement sur la détermination de l'indice d'instabilité structurale. La méthode de détermination de cet indice a été décrite en détail par ailleurs (HENIN et MONNIER, 1958). Rappelons que cette méthode comporte trois tests de résistance des agrégats (0,2 à 2 mm) à l'action de l'eau : sans prétraitement, avec prétraitement à l'alcool, avec prétraitement au benzène, et un test de mesure de la dispersion.

L'indice d'instabilité obtenu, rapport de la dispersion sur la moyenne des trois fractions agrégées, est d'autant plus faible que la structure du sol résiste mieux à l'action de l'eau.

Parallèlement à la détermination du taux d'humidité du sol lors du prélèvement, des déterminations de courbes de pF ont également été faites, selon les techniques sous pression de RICHARDS.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats analytiques sont présentés in extenso dans les tableaux 1 et 2. Les graphiques 2 et 3 permettent d'en donner une vue d'ensemble. Il est particulièrement intéressant d'étudier séparément les variations des trois fractions agrégées (pourcentages d'agrégats stables de 0,2 à 2 mm de diamètre, dont on retranche les pourcentages de sables grossiers correspondants) et du taux de dispersion.

1 - COMPARAISON DES PARCELLES 1 ET 2

On peut se demander, au départ, si les résultats obtenus sur la parcelle 2 (1961-1962) qui portent sur un sol remanié et remis en place, sont comparables à ceux de la parcelle 1 (1960).

On observe en effet que le sol en place de la parcelle 1 est caractérisé par un taux de matière organique de 2,7 à 3,1 % entre 0 et 5 cm, de 2,1 à 2,6 % entre 5 et 20 cm. Les teneurs en matières humiques totales sont respectivement de 4,4 à 6,1 ‰ en surface, de 4,0 à 5,5 ‰ entre 5 et 20 cm. Le taux d'humification oscille entre 16 et 21 %, parfois 24 %.

Sur la parcelle 2, le taux de matière organique est plus faible (1,6 à 2 %), les teneurs en matières humiques également (3 à 5 ‰), ce qui conduit à un taux d'humification variant entre 20 et 26 %, donc sensiblement plus élevé que sur la parcelle 1.

Malgré ces différences non négligeables, les chiffres obtenus montrent que la comparaison des deux parcelles demeure valable : les taux d'agrégats stables, et la valeur de la dispersion, sont du même ordre de grandeur, et obéissent à une même loi de variation. Il en résulte que la comparaison des indices d'instabilité structurale est justifiée. On peut cependant remarquer que, comme cela était prévisible, les différences observées entre les trois profondeurs sont très atténuées sur la parcelle 2, le matériau de départ étant homogène sur 20 cm de profondeur. En outre, les taux d'agrégats stables à l'eau après prétraitement au benzène (= Ag B) sont nettement plus élevés dans l'horizon 0-5 de la parcelle 1, que dans l'horizon correspondant de la parcelle 2, ce qui s'explique aisément par une teneur en matière organique plus forte.

2 - COMPARAISON DES HORIZONS 0-5, 5-10 et 10-20 cm

Plusieurs conclusions peuvent être tirées de cette comparaison.

a - Parcelle 1 - (1960) - Les trois horizons donnent à l'analyse des résultats différents : lorsque l'on passe de l'horizon superficiel 0-5 à l'horizon "profond" 10-20, on constate une diminution progressive des trois fractions agrégées, et une augmentation du taux de dispersion, donc un accroissement de l'indice d'instabilité structurale. Cette remarque est valable quelle que soit l'époque du prélèvement. Les différences entre les horizons 2 et 3 sont peu accusées, mais l'horizon 1 se distingue nettement des deux autres. La répartition de la matière organique dans le profil permet aisément d'interpréter les différences observées.

b - Parcelle 2 - (1961-1962) - Les différences entre horizons sont très atténuées, le matériau originel étant homogène sur toute la profondeur de mesure au début de l'expérience. Toutefois, ces différences ne sont pas dues au hasard : on constate qu'initialement, et probablement par suite de la technique de mise en place de la terre dans les cylindres, suivie d'un arrosage abondant, les taux d'agrégats stables sont plus faibles et la dispersion plus forte dans les 5 cm superficiels du sol que dans le reste du cylindre. Il en résulte une stabilité structurale légèrement moins bonne de l'horizon 0-5, contrairement à ce qui pouvait être observé sur le sol en place de la parcelle 1.

Mais on observe également que cette situation a un caractère transitoire : en effet, au fur et à mesure du déroulement de l'expérience, l'indice d'instabilité structurale de l'horizon superficiel tend à prendre progressivement une valeur inférieure à celle des autres horizons. La transformation est acquise exactement un an après le début de l'expérience (février 1962) et elle se manifeste essentiellement pendant l'automne de 1961. A partir de février 1962, la stabilité structurale relative des trois horizons retrouve un ordre de classement logique. On peut donc considérer que l'individualisation, à partir d'un matériau homogène, des trois couches constituant les 20 cm étudiés, a exigé environ un an. Les deux tests qui traduisent au mieux cette évolution sont le taux de dispersion ($= A + L \%$) et le taux d'agrégats stables après prétraitement à l'alcool ($= Ag A$).

Ces remarques faites, et compte tenu, d'une part, de la similitude des résultats observés sur les parcelles 1 et 2, d'autre part de la faiblesse des différences enregistrées entre les trois couches analysées, on est en droit d'étudier les variations saisonnières à partir des valeurs moyennes calculées sur l'ensemble de la couche 0-20 cm pour les divers tests de l'analyse et pour l'indice d'instabilité structurale.

3 - VARIATIONS SAISONNIÈRES

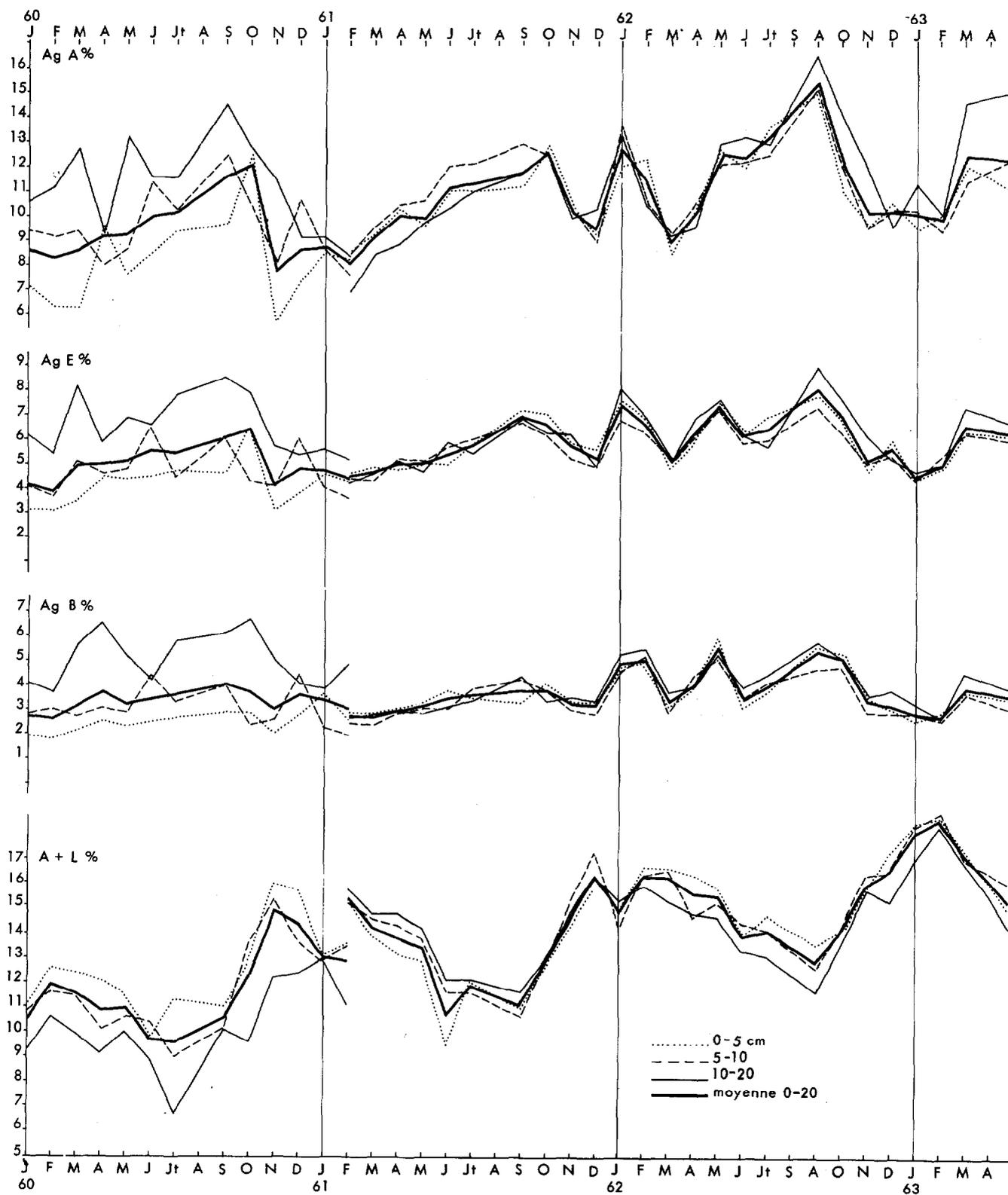
La représentation graphique des résultats fait apparaître immédiatement l'existence de variations cycliques au cours des trois années d'observations.

a - Agrégats stables à l'eau après prétraitement à l'alcool (= Ag A)

La variation saisonnière est très nette sur la parcelle 1. A partir d'une valeur minimum de 8,3% obtenue en février, la valeur de Ag A augmente progressivement jusqu'à 12,1% en octobre, puis tombe très brutalement à 7,8% en novembre.

Sur la parcelle 2, l'évolution est identique. Le maximum annuel est encore atteint en octobre 1961 et en septembre 1962. Il est chaque fois suivi d'une chute rapide en novembre et décembre. Le minimum absolu se situe en février ou mars.

Mais il importe de signaler une variation secondaire qui ne paraît pas due au hasard. Cette variation consiste en un accroissement très fugace de Ag A à la fin de l'automne ou au début de



Graphique 2

l'hiver. Malheureusement, le découpage de l'expérience, qui débute en janvier 1960, et le passage de la parcelle 1 à la parcelle 2 en février 1961 ne permettent pas d'affirmer le fait avec certitude : le phénomène semble possible en janvier 1960, et en décembre 1960 et janvier 1961 (tout au moins pour les couches 5-10 et 10-20), il est très net en janvier 1962, il est à peine marqué en décembre 1962 et janvier 1963, période de gel intense du sol. Nous verrons que cette variation se retrouve, plus ou moins accusée dans les autres tests, ce qui semble écarter l'hypothèse d'une erreur d'échantillonnage.

b - Agrégats stables à l'eau sans prétraitement (= Ag E)

La variation saisonnière est exactement calquée sur celle de Ag A, mais avec une amplitude moindre, les valeurs extrêmes étant de 3,8 et 6,4 % pour la parcelle 1, de 4,5 et 8 % pour la parcelle 2. Les minima sont obtenus d'une part en février (ou parfois mars), d'autre part en novembre ou décembre. Le maximum de fin d'été se situe toujours en septembre ou octobre. L'accroissement temporaire de janvier, signalé pour Ag A, est également visible.

c - Agrégats stables à l'eau après prétraitement au benzène (= Ag B)

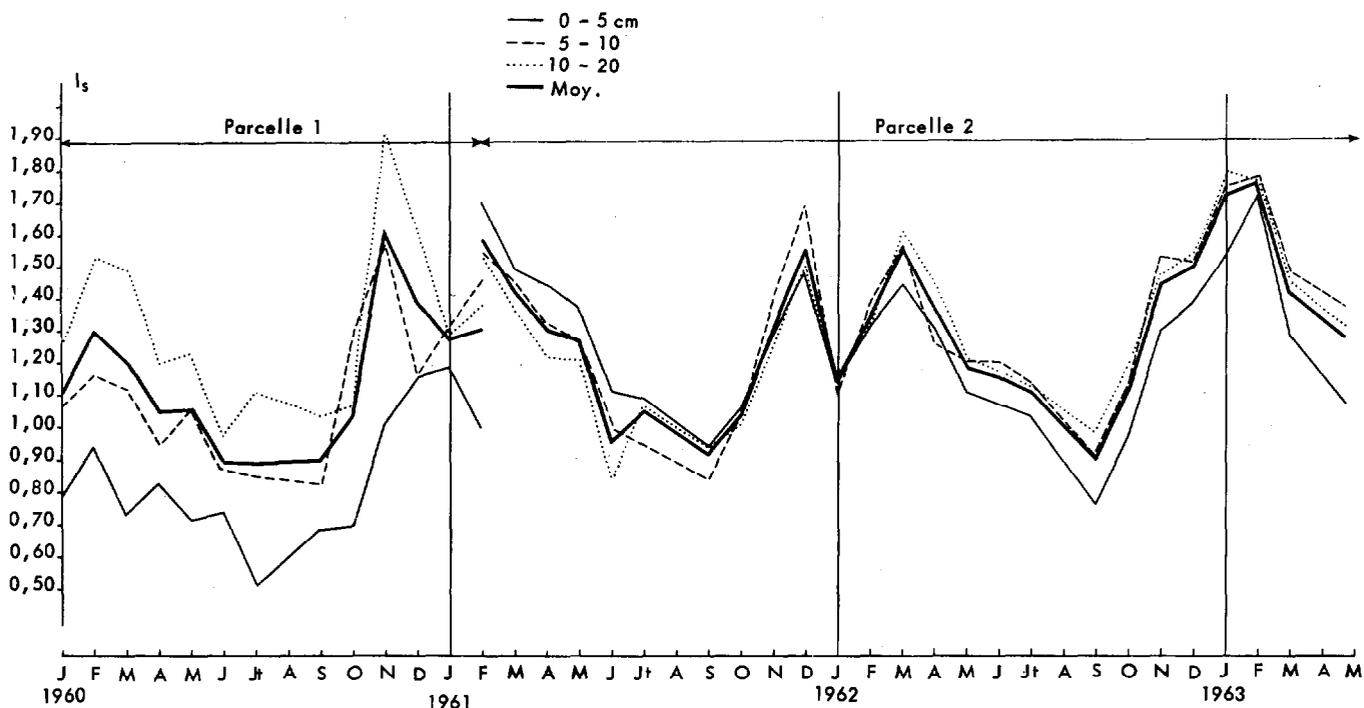
Cette fraction demeure très faible dans tous les cas, de sorte que les variations saisonnières sont moins nettes. Elles sont cependant encore sensibles, et s'échelonnent entre 2,5 et 4 % dans la parcelle 1, entre 2,5 et 5,5 % dans la parcelle 2. Le maximum d'été correspond toujours à septembre-octobre, mais en 1962, on observe l'existence de deux maxima temporaires, l'un en janvier-février, l'autre en mai.

d - Dispersion (A + L %)

Le test de dispersion est celui dont les variations saisonnières sont les plus nettes. Le pourcentage d'éléments fins en dispersion diminue à partir de février jusqu'en juillet-août (ou septembre, lorsque l'année est sèche), puis augmente très fortement en octobre et novembre, parfois décembre. Une diminution passagère peut intervenir en janvier (1962 en particulier), mais son amplitude est limitée, à la différence de ce que l'on observe pour certaines fractions agrégées. De plus, lors de l'hiver rigoureux de 1962-63 (janvier-février 1963), on constate que le taux de dispersion continue de s'élever, alors qu'en année normale, il passe par un palier ou diminue légèrement.

e - Indice d'instabilité structurale

En définitive, les variations dont il est fait état ci-dessus, se traduisent par une évolution saisonnière nette de l'indice d'instabilité structurale I_s (Graphiques 3 et 4). Cet indice est minimum du 15 juin au 15 septembre (0,90 à 1,00 pour l'horizon 0-20 cm), maximum en décembre et en février-mars (1,60 environ), avec possibilité d'une amélioration temporaire en janvier lorsque cette période n'est pas caractérisée par un froid intense. Si au contraire, une vague de froid se manifeste au cours de l'hiver, l'indice d'instabilité peut alors atteindre des valeurs anormalement élevées (ex. janvier et février 1963).



Graphique 3

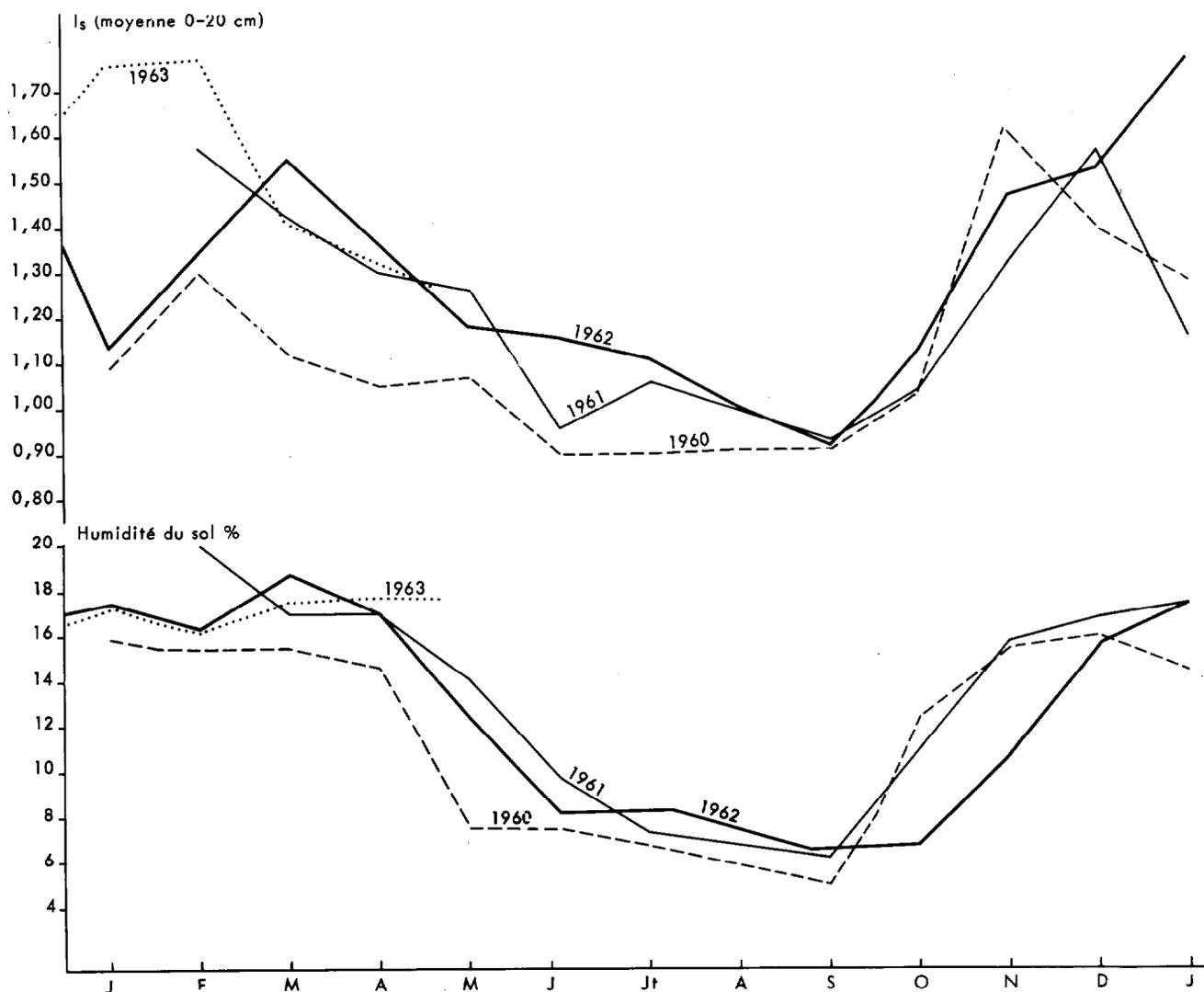
4 - COMPARAISON DES VARIATIONS SAISONNIÈRES SOUS CLIMAT TEMPÉRÉ ET TROPICAL

Nous constatons donc que, bien que la distribution des précipitations ait un caractère beaucoup moins tranché dans la région parisienne qu'en zone tropicale, les variations saisonnières de la stabilité structurale du sol y sont aussi nettes. Le maximum hivernal de I_s en décembre, février, mars, correspond au maximum de saison des pluies en région tropicale. Le minimum d'été sous climat tempéré est l'homologue du minimum de saison sèche. De plus, il apparaît que l'ordre de grandeur de l'amplitude des variations est comparable : la différence entre valeur maximum et valeur minimum de I_s représente approximativement 50 à 60 % de la valeur moyenne annuelle de cet indice.

Lors de l'étude des variations saisonnières de la stabilité structurale sous climat tropical, nous avons constaté l'existence d'un parallélisme étroit entre la valeur de I_s et la hauteur des pluies tombées pendant le mois correspondant. En région tempérée, et plus particulièrement dans le bassin parisien, les précipitations ne peuvent être prises comme point de repère, les pluies tombant indifféremment en été et en hiver. Mais des mesures d'humidité du sol au moment du prélèvement des échantillons ont été faites systématiquement au cours des trois années d'essai : elles montrent que, sous réserve que le prélèvement soit effectué 24 heures au moins après une pluie, le taux d'humidité du sol suit, lui aussi, une loi de variation très régulière. Cette loi se résume ainsi : dans la région parisienne, le sol se maintient à la capacité au champ (16 à 18 % dans l'exemple étudié), pendant une période bien définie, comprise entre le 15 novembre et le 15 avril. Dans le cas d'un été sec prolongé, la capacité au champ peut n'être atteinte que vers le 1er ou le 15 décembre (exemple : 1962). A partir du 15 avril, le taux d'humidité du sol diminue, rapidement d'abord, puis beaucoup plus lentement après le 15 mai ou le 15 juin selon l'année. Le minimum est atteint en août et septembre, et peut exceptionnellement se maintenir jusqu'au 15 septembre en année sèche (1962). Le retour à une humidité proche de la capacité au champ se fait alors en deux mois. Cette régularité de l'évolution du taux d'humidité du sol est elle-même imputable, non pas aux précipitations,

mais au degré hygrométrique de l'air et à la température, ces deux éléments déterminant l'évaporation (1).

Il existe donc une certaine analogie entre les courbes représentatives des variations de I_s et du taux d'humidité du sol au cours de l'année. Cette analogie avait été étudiée déjà par HENIN (1938). On observe cependant qu'elle se limite à la période comprise entre le 15 avril et le 15 novembre, étant donné qu'en dehors de cette période, le taux d'humidité du sol demeure sensiblement



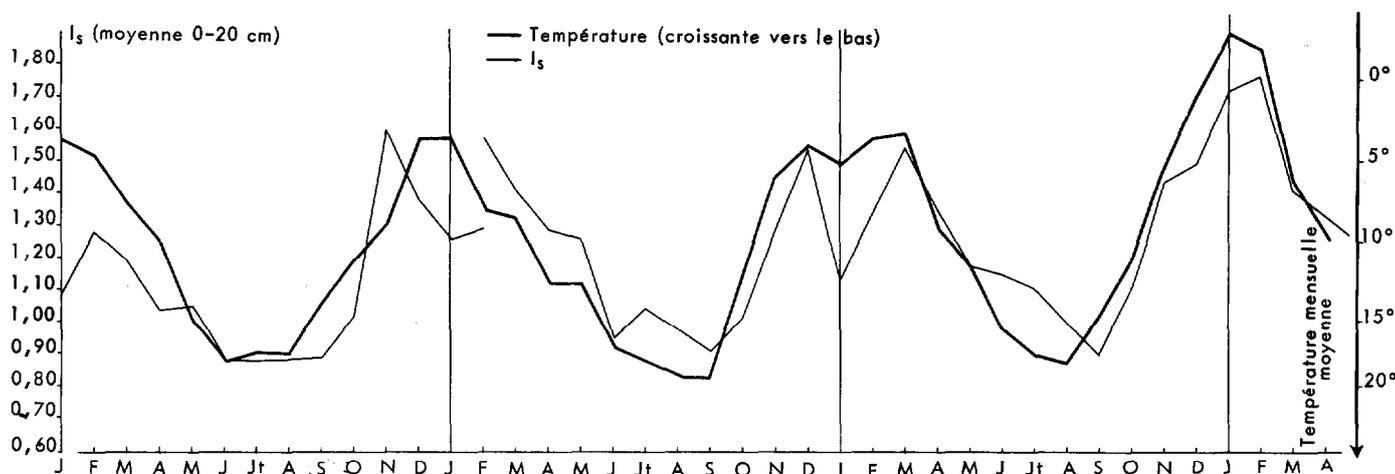
Graphique 4

(1) **Remarque** - L'établissement des courbes de pF sur les échantillons étudiés a permis de montrer que la teneur en eau à la capacité au champ correspond, assez exactement, à pF 2,45, alors que le taux d'humidité au point de flétrissement permanent (pF 4,2) est voisin de 9,5%. Les sols étudiés présentent donc une teneur en eau inférieure au point de flétrissement pendant la plus grande partie de l'été.

On peut signaler également que, pour les valeurs de pF égales ou inférieures à 2,5, la teneur en eau du sol à une valeur déterminée de pF n'est pas constante au cours de l'année : elle est en corrélation directe assez étroite avec l'indice d'instabilité du sol au moment du prélèvement, la pente de la droite de régression augmentant rapidement lorsque le pF diminue. Cette remarque permet de mettre très clairement en évidence une tendance à l'engorgement lorsque la structure se dégrade, ou encore la moins bonne disponibilité de l'eau dans les sols les moins stables à taux d'humidité égal.

constant et au voisinage de la capacité au champ, alors que la valeur de I_s est encore soumise à des variations appréciables. Par ailleurs, on constate parfois certaines divergences entre les deux courbes : par exemple, à l'automne 1962, la remontée de l'indice d'instabilité se manifeste un mois avant la remontée du taux d'humidité du sol. Par conséquent, si les alternances de dessiccation et de réhumidification du sol sont plus ou moins synchronisées avec les variations de la stabilité, ce qui apparaît bien dans l'évolution du taux d'éléments fins dispersés, elles ne suffisent toutefois pas pour les interpréter.

Par contre, les courbes représentatives de I_s et de la température mensuelle moyenne sont pratiquement symétriques. Aux maxima de température correspondent les valeurs minima de I_s et inversement. De plus, on note parfois un léger décalage entre les courbes, la variation de I_s intervenant dans ce cas avec un mois de retard sur celle de la température. En outre, la symétrie des deux courbes se manifeste même pendant les périodes hivernales : c'est en particulier le cas en janvier et février 1963, lorsque les valeurs exceptionnellement élevées de I_s sont associées à des températures mensuelles moyennes anormalement basses et au gel du sol préalablement humide. On peut



Graphique 5

également remarquer que la température mensuelle moyenne de janvier 1962 a présenté une amélioration sensible par rapport à décembre 1961, ce qui pourrait permettre d'interpréter la variation anormale de I_s à cette époque.

En définitive, on peut considérer qu'en région tempérée, les variations saisonnières de l'indice d'instabilité structurale sont sensiblement symétriques de celles de la température. Un phénomène analogue se produit en région tropicale, mais il est peu apparent par suite de la faible amplitude de la température moyenne mensuelle au cours de l'année : dans le cas de la région tropicale étudiée précédemment, la moyenne mensuelle atteint 27°C de février à avril, et ne s'abaisse qu'à 25°C en juillet-août (saison des pluies).

5 - INTERPRÉTATION DES VARIATIONS SAISONNIÈRES OBSERVÉES

La synthèse des observations antérieures sur les facteurs de la stabilité structurale des sols, et des résultats actuels met en évidence le caractère complexe de l'interprétation des variations saisonnières observées.

Il est apparu que les variations de I_s évoluent généralement dans le même sens que plusieurs données caractérisant le milieu : humidité du sol, degré hygrométrique de l'air, inverse de la température. C'est ce dernier élément qui semble coïncider le mieux avec l'évolution de la stabilité structurale.

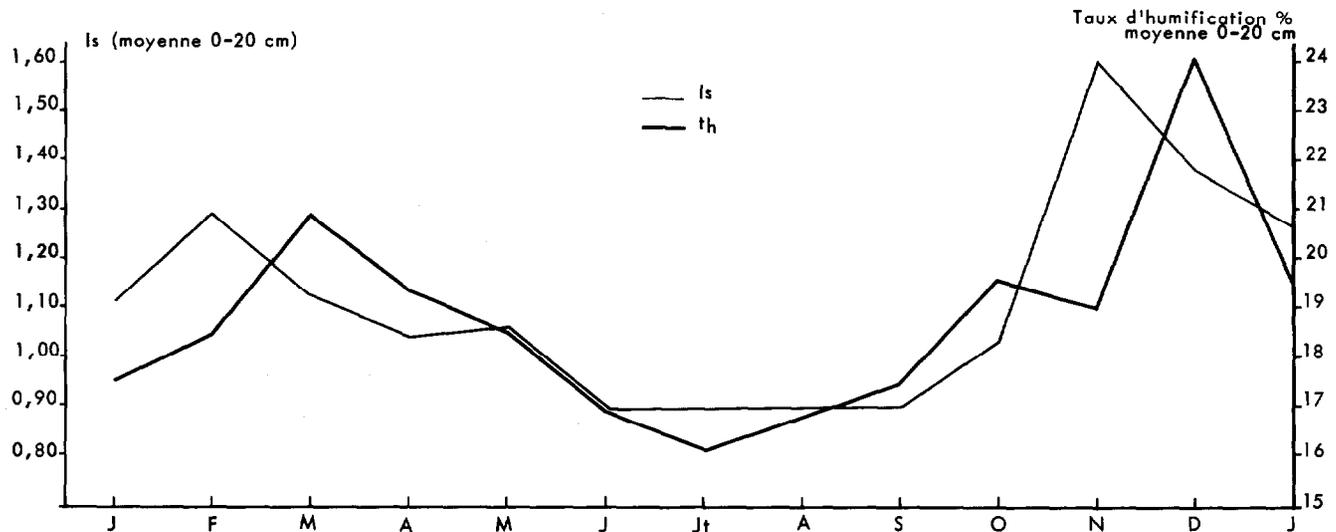
En effet, la courbe représentative de I_s et la courbe symétrique des variations de t° se superposent fréquemment (de mars à septembre 1961, de mars à août 1962, d'octobre 1962 à mars 1963) (voir Graphique 5). Mais on note l'existence d'un décalage systématique de un mois à la fin de l'été lorsque l'instabilité structurale augmente : la baisse de température précède alors de un mois la dégradation de la stabilité : août-septembre 1960, septembre-octobre 1961, août-septembre 1962. Ni le taux d'humidité du sol, ni le degré hygrométrique de l'air ne permettent d'interpréter ce retard.

Si l'on tente de comparer les variations de I_s à celles du degré hygrométrique de l'air, on note que l'accord est frappant pendant certaines périodes de l'année, et sous réserve de mettre en parallèle les valeurs mensuelles de I_s avec le degré hygrométrique moyen du mois précédent. C'est en particulier le cas de la période comprise entre mars et septembre 1961. Il semble que le décalage puisse atteindre deux mois, par exemple au début de 1960 et au cours de 1962. Mais il est intéressant de noter que la variation de I_s observée en janvier 1962 correspond à une baisse sensible du degré hygrométrique en décembre 1961. Enfin, on peut remarquer que la valeur anormalement élevée de I_s en novembre 1960 correspond à la pluviométrie exceptionnellement forte (120 mm) enregistrée dans le mois qui précède.

Ces observations suggèrent donc l'importance du rôle de l'activité biologique dans les processus observés, activité déterminée, parfois avec un certain délai, par la température et le degré hygrométrique. D'autres indices tendent à confirmer ce rôle de l'activité biologique : par exemple, les mesures de dégagement de CO_2 et d'absorption d' O_2 sur les sols de la région parisienne (BACHELIER, 1964) ont permis de montrer qu'une reprise de l'activité biologique pouvait dans certaines conditions se manifester entre décembre et mars. Cette reprise d'activité pourrait permettre d'interpréter la restauration passagère de stabilité de janvier. Par ailleurs, sur les sols tropicaux, des mesures du même genre amènent à la conclusion que, à teneur égale en matière organique, les sols vierges ont une activité biologique plus élevée que les sols cultivés, différence qui apparaît également très nettement dans la stabilité structurale (BACHELIER, 1963). Enfin, des essais de numération de microorganismes (*Beijerinckia*) ont révélé des différences importantes de populations associées à des différences de stabilité structurale, pour des sols de même type et présentant des teneurs identiques en matière organique (M. MOURARET - Communication inédite).

Mais il a été montré par ailleurs que, en règle générale, l'indice d'instabilité structurale est étroitement lié à la teneur en matière organique totale. Ce résultat a pu être vérifié, dans le cas de la parcelle 1, où la relation entre I_s et la teneur en carbone est très hautement significative (coefficient de corrélation $r = 0,549$ pour 36 échantillons).

De plus, certaines observations antérieures avaient conduit à penser que c'est dans les fractions non encore humifiées de cette matière organique que se localisent les substances jouant un rôle de ciment entre les particules minérales. Les observations actuelles tendent à confirmer ce point-de-vue : en effet, d'une part, les variations de I_s sont plus étroitement liées à celles de la matière organique non humifiée (MOT - Mht) qu'à celles de la matière organique totale (le coefficient de corrélation passe de 0,549 à 0,614), d'autre part, les augmentations du taux d'humus n'apparaissent pas liées aux périodes d'amélioration de la stabilité structurale. Bien au contraire, on constate, tout au moins sur la parcelle 1, et en 1962 sur la parcelle 2, que les périodes de mauvaise stabilité de la structure sont très proches de celles pendant lesquelles la quantité de matières humiques présentes est la plus importante. Il existe même un parallélisme étroit entre les courbes d'évolution de I_s et du taux d'humification, avec un mois de décalage, les variations de I_s précédant celles du taux d'humification (Graphique 6). Il semble très improbable qu'il puisse exister une relation de cause à effet entre les deux phénomènes. Par contre, on peut admettre que leurs variations sont la conséquence d'un même processus, ou de processus synchronisés, les facteurs qui conduisent à une mauvaise stabilité de structure se superposant à ceux qui induisent une bonne humification. Quoiqu'il en soit, si les processus biologiques jouent un rôle positif sur la stabilité, il semble exclu, dans les expériences rapportées ici, que ce soit par l'intermédiaire des matières humiques, tout au moins telles qu'elles sont extraites par le pyrophosphate de sodium.



Graphique 6

On est ainsi amené à supposer que les variations saisonnières de la stabilité de structure dépendent à la fois d'une part de l'existence de substances organiques liées à l'activité biologique, mais distinctes de l'humus proprement dit, d'autre part des effets possibles des conditions climatiques sur ces substances ou sur la fraction minérale du sol. Ce point de vue conduit à confirmer le rôle important des substances dites "préhumiques", qui ont une durée d'existence assez fugace dans le sol, et qui constituent sans doute les premiers stades d'altération de la matière organique totale. Dans l'état actuel des choses, nous n'avons aucune donnée permettant de préciser la nature de ces substances : de nombreux auteurs estiment qu'il s'agit essentiellement de polysaccharides, composés parmi lesquels figurent notamment les gommages, corps amorphes susceptibles de donner, en présence d'eau, des solutions colloïdales. Cette hypothèse est plausible. On conçoit alors que la dessiccation de telles substances conduise effectivement à la formation d'une pellicule hydrophobe protectrice des agrégats, dont HENIN (1938) avait souligné l'importance, et qu'elle explique l'accroissement de stabilité observée en "saison sèche" sous des climats variés. La réhydratation de ces substances entraînerait leur décomposition rapide, et la disparition de leur effet protecteur. De telles substances peuvent apparaître soit dans la décomposition des débris végétaux ou des racines, soit comme résultat de l'activité des microorganismes et de la faune du sol.

Il convient naturellement de ne pas négliger le rôle probable d'autres facteurs, purement physiques, directement liés au climat, en particulier, l'effet mécanique du retrait sur la cohésion du sol. Il a été démontré (HENIN, 1938), d'une part que la dessiccation d'une motte de terre s'accompagne d'une forte augmentation de pression, d'autre part que toute augmentation de pression entraîne un accroissement de la cohésion du sol, donc de sa stabilité structurale. Ce phénomène intervient probablement pour une part dans la régénération de stabilité structurale observée au printemps et en début d'été. Toutefois, le fait que le test le plus significatif des variations saisonnières est le taux d'éléments fins dispersés laisse supposer que l'accroissement de cohésion ne joue qu'un rôle secondaire, et en tout cas moins important que la dessiccation du sol, dans la régénération de stabilité du printemps.

En définitive, les variations de stabilité structurale sont la résultante de plusieurs processus dont l'action conjuguée permet d'expliquer une grande partie des phénomènes observés : ces processus sont essentiellement :

- les alternances de dessiccation et de réhumidification qui se manifestent par des variations de la cohésion de la fraction minérale du sol, et des changements d'état des substances organiques à rôle ciment ;
- les variations de l'activité biologique au sens large, qui se traduisent par la synthèse ou la dégradation des substances organiques ayant un rôle favorable sur la stabilité. Ces substances ne coïncident pas avec les matières humiques extraites par le pyrophosphate de Na.

CONCLUSION

La stabilité structurale des sols évolue au cours de l'année, aussi bien en région tempérée qu'en zone tropicale. Dans les deux cas étudiés, l'amplitude relative du phénomène est du même ordre de grandeur. La stabilité est maximum pendant l'été en région tempérée, en saison sèche sous climat tropical. La courbe représentant les variations de l'indice d'instabilité structurale est dans les deux cas comparable à celle de l'humidité du sol. Toutefois, en région tempérée, l'image la plus fidèle des variations de I_s au cours de l'année est donnée par l'évolution de la température mensuelle moyenne.

L'interprétation de ces variations doit faire appel simultanément à plusieurs processus : alternances de dessiccation et de réhumectation des minéraux argileux et des matières organiques, variations saisonnières de l'activité biologique, existence de substances non humifiées ayant un rôle favorable sur la stabilité structurale.

BIBLIOGRAPHIE

- ALDERFER (R.B.) 1946 - Seasonal variability of the aggregation of Hagerstown silt loam. *Soil Sc.* p. 62-151.
- AMBROZ (Z.) 1956 - En tchèque. Formation d'agrégats en relation avec l'activité biologique et les différentes formes d'humus dans un sol sous prairie. *Sborn.esl. Akad.zemed. Ved. Brno*, 29, p.513-524.
- BACHELIER (G.) 1964 - Observations sur la dynamique d'un sol de type brun calcaire. *Cahiers O.R.S.T.O.M. Pédologie*, 1964, II, 1, p.13-28.
- COMBEAU (A.) et QUANTIN (P.) 1963 - Observations sur les variations dans le temps de la stabilité structurale des sols en région tropicale. *Cahiers O.R.S.T.O.M. Pédologie*, 1963, 3.
- COMBEAU (A.) et QUANTIN (P.) 1964 - Observations sur les relations entre stabilité structurale et matière organique dans quelques sols d'Afrique Centrale - *Cahiers O.R.S.T.O.M. Pédologie*, II, 1, p.3-11.
- HENIN (S.) 1938 - *Etude physico-chimique de la stabilité structurale des terres*. Paris, Imp. Nat., 69 p.
- HENIN (S.) et TURC (L.) 1949 - Nouvelles observations sur la variation annuelle de la stabilité structurale du sol. *C.R. Acad. Agric.*, 35, 26 octobre 1949.
- HENIN (S.) et MONNIER (G.) 1958 - Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Ann. Agron.*, I, 71-90.
- HENIN (S.), FEODOROFF (A.), GRAS (R.) et MONNIER (G.) 1960 - *Le profil cultural. Principes de physique du sol*. Soc. d'Ed. Ing. Agric., Paris, 320 p.

Tableau 1 Résultats d'analyses - Parcelle 1

	Profondeur	Ag A %	Ag E %	Ag B %	A + L %	Is	C %	Taux d'humification	H ₂ O %	température moyenne
janvier 1960	1 0 - 5	10,6	6,2	4,1	9,2	0,79	1,80	16,8	19,6	4,0
	2 5 - 10	9,4	4,1	2,8	10,8	1,07	1,54	17,3	15,2	
	3 10 - 20	7,1	3,1	1,9	11,0	1,26	1,54	18,1	14,4	
	moyenne 0 - 20	8,6	4,1	2,7	10,5	1,10	1,61	17,6	15,9	
février	1	11,2	5,4	3,7	10,6	0,94	1,56	18,1	15,9	4,7
	2	9,2	3,7	3,0	11,6	1,17	1,32	18,7	15,5	
	3	6,3	3,1	1,8	12,6	1,53	1,27	18,6	15,1	
	moyenne	8,3	3,8	2,6	11,9	1,29	1,36	18,5	15,4	
mars	1	12,8	8,2	5,6	9,9	0,73	1,71	20,6	18,1	8,2
	2	9,5	5,2	2,7	11,5	1,12	1,44	22,2	14,7	
	3	6,3	3,5	2,1	12,4	1,49	1,36	20,5	14,6	
	moyenne	8,7	5,1	3,1	11,6	1,21	1,47	21,0	15,4	
avril	1	9,3	5,9	6,5	9,1	0,83	1,64	19,0	13,3	10,0
	2	8,0	4,6	3,1	10,1	0,95	1,35	20,8	14,9	
	3	9,7	4,5	2,5	12,1	1,20	1,37	18,9	15,1	
	moyenne	9,2	4,9	3,7	10,9	1,05	1,43	19,4	14,6	
mai	1	13,2	6,9	5,2	10,0	0,72	1,56	17,4	5,0	15,0
	2	8,7	4,8	2,9	10,6	1,06	1,40	16,7	8,3	
	3	7,7	4,4	2,3	11,6	1,23	1,43	20,0	8,8	
	moyenne	9,3	5,1	3,2	11,0	1,06	1,46	18,5	7,6	
juin	1	11,6	6,6	4,2	8,9	0,74	1,63	15,5	6,3	17,5
	2	11,4	6,6	4,4	10,4	0,87	1,67	15,7	8,2	
	3	8,6	4,5	2,5	9,7	0,98	1,49	18,2	7,8	
	moyenne	10,0	5,5	3,4	9,7	0,89	1,57	16,9	7,5	
juillet	1	11,6	7,8	5,8	6,7	0,51	1,74	16,3	7,0	16,9
	2	10,3	4,5	3,3	9,0	0,85	1,55	16,9	7,0	
	3	9,4	4,7	2,7	11,3	1,11	1,50	15,7	6,6	
	moyenne	10,2	5,4	3,6	9,6	0,89	1,57	16,2	6,8	
septembre	1	14,5	8,5	6,1	10,1	0,69	1,67	15,8	7,5	14,1
	2	12,5	6,1	4,0	10,2	0,83	1,36	19,1	7,0	
	3	9,7	4,6	2,9	11,0	1,04	1,37	17,7	2,9	
	moyenne	11,6	6,0	4,0	10,6	0,90	1,44	17,6	5,0	
octobre	1	12,8	7,9	6,7	9,6	0,70	1,69	18,9	12,5	11,3
	2	10,5	4,3	2,4	13,6	1,29	1,45	20,2	14,6	
	3	12,6	6,6	2,9	12,8	1,07	1,43	19,8	11,1	
	moyenne	12,1	6,4	3,7	12,2	1,03	1,50	19,7	12,3	
novembre	1	11,5	5,7	5,0	12,2	1,02	1,76	17,2	18,1	9,0
	2	8,1	4,1	2,6	15,2	1,58	1,49	18,9	15,2	
	3	5,8	3,2	2,1	15,9	1,91	1,48	20,1	14,4	
	moyenne	7,8	4,1	3,0	14,8	1,60	1,55	19,1	15,5	
décembre	1	9,2	5,4	4,1	12,4	1,16	1,62	21,8	17,7	3,6
	2	10,8	6,1	4,5	13,7	1,16	1,51	22,7	15,6	
	3	7,4	3,9	2,8	15,6	1,61	1,38	26,1	15,6	
	moyenne	8,7	4,8	3,6	14,3	1,39	1,47	24,2	16,0	
janvier 1961	1	9,2	5,6	3,9	13,0	1,19	1,68	17,7	17,1	3,7
	2	8,7	4,0	2,3	12,9	1,32	1,43	20,8	17,4	
	3	8,5	4,6	3,7	13,1	1,29	1,50	19,8	11,8	
	moyenne	8,7	4,7	3,4	13,0	1,27	1,53	19,5	14,4	
février	1	8,4	5,2	4,9	11,1	1,00	1,55		19,8	8,0
	2	7,7	3,6	2,0	13,5	1,46	1,24		16,7	
	3	8,2	4,3	2,6	13,6	1,38	1,21		15,5	
	moyenne	8,1	4,4	3,0	13,0	1,30	1,33		16,8	

Tableau 2 Résultats d'analyses - Parcelle 2

	Profondeur	Ag A %	Ag E %	Ag B %	A + L %	I _s	C %	Taux d'humification	H ₂ O %	température moyenne
février 1961	1 0 - 5	7,0	4,3	2,7	15,7	1,70	1,03	20,9	22,1	8,0
	2 5 - 10	8,5	4,4	2,5	15,1	1,55	1,02	20,4	20,3	
	3 10 - 20	8,6	4,6	2,9	15,2	1,53	1,00	19,7	18,7	
	moyenne 0 - 20	8,2	4,5	2,8	15,3	1,58	1,01	20,2	20,0	
mars	1	8,5	4,6	2,8	14,7	1,49	1,05	16,9	18,6	8,5
	2	9,6	4,3	2,4	14,5	1,45	1,04	17,4	17,2	
	3	9,3	4,8	2,8	13,9	1,37	1,04	16,7	16,1	
	moyenne	9,2	4,7	2,7	14,3	1,42	1,04	16,9	17,0	
avril	1	8,9	5,1	3,0	14,7	1,44	1,05	22,3	18,6	12,9
	2	10,5	5,2	2,9	14,3	1,32	1,06	21,0	17,6	
	3	10,4	4,8	3,0	13,1	1,22	1,07	21,1	15,8	
	moyenne	10,1	5,0	3,0	13,8	1,30	1,06	21,4	17,0	
mai	1	9,8	4,7	2,9	14,2	1,37	1,05	23,0	15,2	12,7
	2	10,7	5,1	3,1	13,8	1,26	1,01	26,9	14,4	
	3	9,7	5,1	3,3	12,9	1,21	0,99	22,3	13,5	
	moyenne	10,0	5,0	3,2	13,5	1,27	1,01	23,6	14,2	
juin	1	10,4	5,9	3,2	12,1	1,11	1,12	22,9	11,7	16,8
	2	12,1	5,7	3,1	11,6	1,00	1,06	23,2	11,1	
	3	11,1	5,0	3,8	9,5	0,84	1,00	25,8	8,3	
	moyenne	11,2	5,4	3,5	10,7	0,95	1,05	24,4	9,9	
juillet	1	11,1	5,4	3,4	12,1	1,09	1,01	27,3	7,3	17,7
	2	12,2	6,0	3,9	11,6	0,95	0,95	27,0	7,3	
	3	11,1	5,8	3,5	12,1	1,07	1,04	25,4	7,4	
	moyenne	11,4	5,8	3,6	12,0	1,05	1,01	26,3	7,4	
septembre	1	11,8	6,8	4,4	11,6	0,94	1,15	21,2	6,4	18,6
	2	13,0	6,7	4,3	10,6	0,84	1,07	21,9	5,6	
	3	11,3	7,2	3,3	11,1	0,94	1,05	22,7	6,4	
	moyenne	11,9	7,0	3,8	11,1	0,92	1,08	22,1		
octobre	1	12,7	6,3	3,4	12,8	1,06	1,06	22,3	11,9	12,1
	2	12,6	6,2	3,8	12,8	1,04	1,00	23,0	11,6	
	3	12,8	7,0	4,1	12,8	1,01	1,01	22,4	10,5	
	moyenne	12,7	6,6	3,9	12,8	1,03	1,02	22,5	11,1	
novembre	1	10,0	6,2	3,5	14,7	1,31	1,06	24,1	17,3	6,1
	2	10,3	5,2	3,0	15,2	1,41	1,02	23,7	17,0	
	3	10,4	5,8	3,3	14,2	1,25	1,02	22,0	14,5	
	moyenne	10,3	5,8	3,3	14,6	1,31	1,04	23,0	15,8	
décembre	1	10,4	4,9	3,4	16,3	1,48	1,07	21,4	17,7	4,3
	2	9,0	4,6	2,9	17,3	1,70	1,04	21,5	17,6	
	3	9,4	5,6	3,3	15,7	1,50	1,06	23,1	16,1	
	moyenne	9,6	5,2	3,2	16,3	1,55	1,06	22,3	16,9	
janvier 1962	1	13,3	8,1	5,3	15,2	1,14	1,05	20,4	18,8	5,4
	2	13,7	6,8	4,6	14,2	1,10	0,95	20,9	17,6	
	3	12,1	7,5	4,8	14,7	1,16	0,91	24,1	16,5	
	moyenne	12,8	7,5	4,9	14,7	1,14	0,96	22,3	17,4	
février	1	10,6	6,9	5,5	15,8	1,31	1,23	20,6	16,7	4,0
	2	10,6	6,3	5,2	16,3	1,38	1,12	22,2	16,5	
	3	12,4	6,9	5,0	16,6	1,33	1,11	24,2	16,0	
	moyenne	11,5	6,8	5,2	16,4	1,34	1,14	22,8	16,3	
mars	1	9,3	4,9	3,8	15,2	1,42	1,07	21,5	19,8	3,6
	2	9,4	5,1	3,0	16,5	1,56	1,00	23,2	19,5	
	3	8,6	5,1	3,2	16,5	1,60	1,05	22,1	17,8	
	moyenne	9,0	5,1	3,3	16,2	1,55	1,04	22,2	18,7	
avril	1	9,6	7,0	4,0	14,9	1,32	1,09	28,2	17,7	9,3
	2	10,5	6,1	4,5	14,7	1,27	1,00	27,3	17,8	
	3	10,2	6,0	3,9	16,3	1,44	1,01	24,1	16,4	
	moyenne	10,1	6,3	4,1	15,6	1,37	1,03	25,9	17,1	
mai	1	13,0	7,6	5,3	14,7	1,11	1,15	19,0	12,4	11,6
	2	12,2	7,3	5,3	15,2	1,20	1,01	21,1	12,2	
	3	12,6	7,6	6,0	15,7	1,20	1,05	19,8	12,2	
	moyenne	12,6	7,5	5,7	15,3	1,18	1,07	19,9	12,3	

	Profondeur	Ag A %	Ag E %	Ag B %	A+L %	Is	C %	Taux d'humification	H ₂ O %	température moyenne
juin 1962	1	13,2	6,2	4,0	13,4	1,07	1,10	23,2	7,5	15,9
	2	12,3	6,0	3,6	14,4	1,20	0,99	25,3	8,1	
	3	12,0	6,3	3,2	13,9	1,17	0,96	25,0	8,3	
juillet	1	13,0	5,8	4,5	13,1	1,03	1,05	20,8	8,8	17,2
	2	12,6	6,0	4,1	14,2	1,14	1,03	21,4	8,0	
	3	13,6	7,0	3,8	14,7	1,13	0,97	22,6	8,2	
	moyenne	13,2	6,5	4,1	14,2	1,11	1,01	21,8	8,3	
septembre	1	16,6	9,0	5,8	11,6	0,76	1,08	22,2	5,5	14,8
	2	15,2	7,4	4,7	12,6	0,91	1,02	21,6	6,5	
	3	15,1	7,8	5,6	13,6	0,98	1,02	20,7	7,0	
	moyenne	15,5	8,0	5,4	12,9	0,91	1,04	21,3	6,5	
octobre	1	14,1	7,6	5,2	13,6	0,97	1,10	19,6	6,1	11,4
	2	12,1	6,3	4,8	14,2	1,11	1,04	19,6	6,8	
	3	11,1	6,9	5,3	14,2	1,19	1,04	20,9	7,0	
	moyenne	12,1	6,9	5,2	14,1	1,12	1,06	20,3	6,7	
novembre	1	12,0	6,2	3,6	15,7	1,30	1,09	21,4	13,9	5,6
	2	9,6	5,0	3,0	16,3	1,53	1,06	22,2	13,2	
	3	9,6	4,7	3,6	15,7	1,47	0,98	24,9	7,6	
	moyenne	10,2	5,2	3,5	15,9	1,44	1,03	23,4	10,6	
décembre	1	9,6	5,3	3,9	15,2	1,39	1,08	25,7	16,1	1,0
	2	10,3	5,4	2,9	16,5	1,51	1,13	23,1	15,4	
	3	10,6	6,0	3,1	17,3	1,54	1,04	24,9	15,1	
	moyenne	10,3	5,7	3,3	16,6	1,50	1,07	24,7	15,4	
janvier 1963	1	11,3	4,7	3,3	17,0	1,53	1,14	24,5	18,8	-2,8
	2	10,2	4,4	2,9	18,4	1,75	1,07	23,9	16,6	
	3	9,5	4,4	2,7	18,4	1,80	1,01	24,4	17,1	
	moyenne	10,1	4,5	2,9	18,1	1,72	1,06	24,3	17,4	
février	1	10,1	4,9	2,7	18,4	1,72	1,04	28,3	17,5	-1,8
	2	9,4	5,3	2,7	18,9	1,78	0,99	26,5	16,2	
	3	10,1	4,9	2,8	18,6	1,77	0,97	26,3	16,0	
	moyenne	9,9	5,0	2,8	18,6	1,76	1,00	26,9	16,4	
mars	1	14,6	7,4	4,6	17,0	1,28	1,17	21,0	17,8	6,4
	2	11,4	6,3	3,7	17,0	1,48	1,10	19,4	17,8	
	3	12,1	6,3	3,8	17,3	1,45	1,10	20,8	17,3	
	moyenne	12,6	6,6	4,0	17,2	1,42	1,12	20,5	17,6	
avril	1	15,0	6,8	3,9	14,2	1,07	1,20		17,7	9,8
	2	12,3	6,0	3,1	16,0	1,38	1,14		18,2	
	3	11,0	6,2	3,5	15,0	1,31	1,13		17,6	
	moyenne	12,3	6,3	3,5	15,1	1,27	1,15		17,8	