

STABILITE STRUCTURALE DE SOLS DE L'ALTIPLANO BOLIVIEN

EFFET DE LA DUREE DE LA JACHERE

Dr. Dominique HERVE, ORSTOM, Casilla 9214, La Paz, Bolivie
Ing. David RAMOS, PROINPA

INTRODUCTION

L'Altiplano bolivien est un plateau situé à plus de 3700 m d'altitude, le long d'un gradient pluviométrique qui va de 800 mm (altiplano nord) à 200 mm (altiplano sud). A La Paz, la précipitation moyenne annuelle de la période 1920-1991, mesurée à l'observatoire de San Calixto, est de 572 mm (Bourges *et al.*, 1992) et la précipitation maximum journalière est, pour la même période de 30.4 mm. Ribstein relève à La Paz des intensités de pluie de 20 mm/h avec une fréquence de 10 ans et de 30 mm/h avec une fréquence de 20 ans. Des pluies peu agressives donc, mais qui peuvent, sur des pentes longues même si elles ne sont pas très prononcées, peuvent provoquer des ruissellements superficiels.

Les sols de texture sablo-limoneuse à argilo-limoneuse, de faible épaisseur et faible teneur en matière organique présentent des horizons compactés, de faible perméabilité, et souvent chargés en sels (Orsag, 1989), peu couverts par la végétation de composées arbustives (*Baccharis incarum*, *Parastrephia sp.*) et de graminées dures en touffes (principalement *Stipa ichu*). On peut donc supposer qu'ils sont susceptibles à l'érosion.

Ce travail a pour but, dans un premier temps, d'évaluer la résistance du sol à l'action dégradante des pluies par la détermination de la stabilité structurale (méthode Henin et al. 1958, non modifiée). Ce test fait apparaître les deux mécanismes principaux de la désagrégation, la pression exercée sur les agrégats par l'air piégé au moment où l'eau tend à pénétrer par capillarité dans les pores et la baisse de cohésion à l'état humide (Monnier et Fies, 1983). La mesure complémentaire de la perméabilité sur échantillon remanié doit révéler un comportement soumis à l'action d'électrolytes. Cette méthode a été testée en milieu tropical humide mais son emploi est nouveau en Bolivie. Sa validité a donc été vérifiée sur un grand nombre d'échantillons, de textures très différentes, provenant de l'altiplano bolivien. Puis cette méthode a été appliquée, pour des textures principalement limono-sableuses, à des parcelles d'âges de jachère compris entre 1 et 20 ans, dans une communauté de l'altiplano central qui maintient un système de rotation communale incluant une jachère de plus de 10 ans.

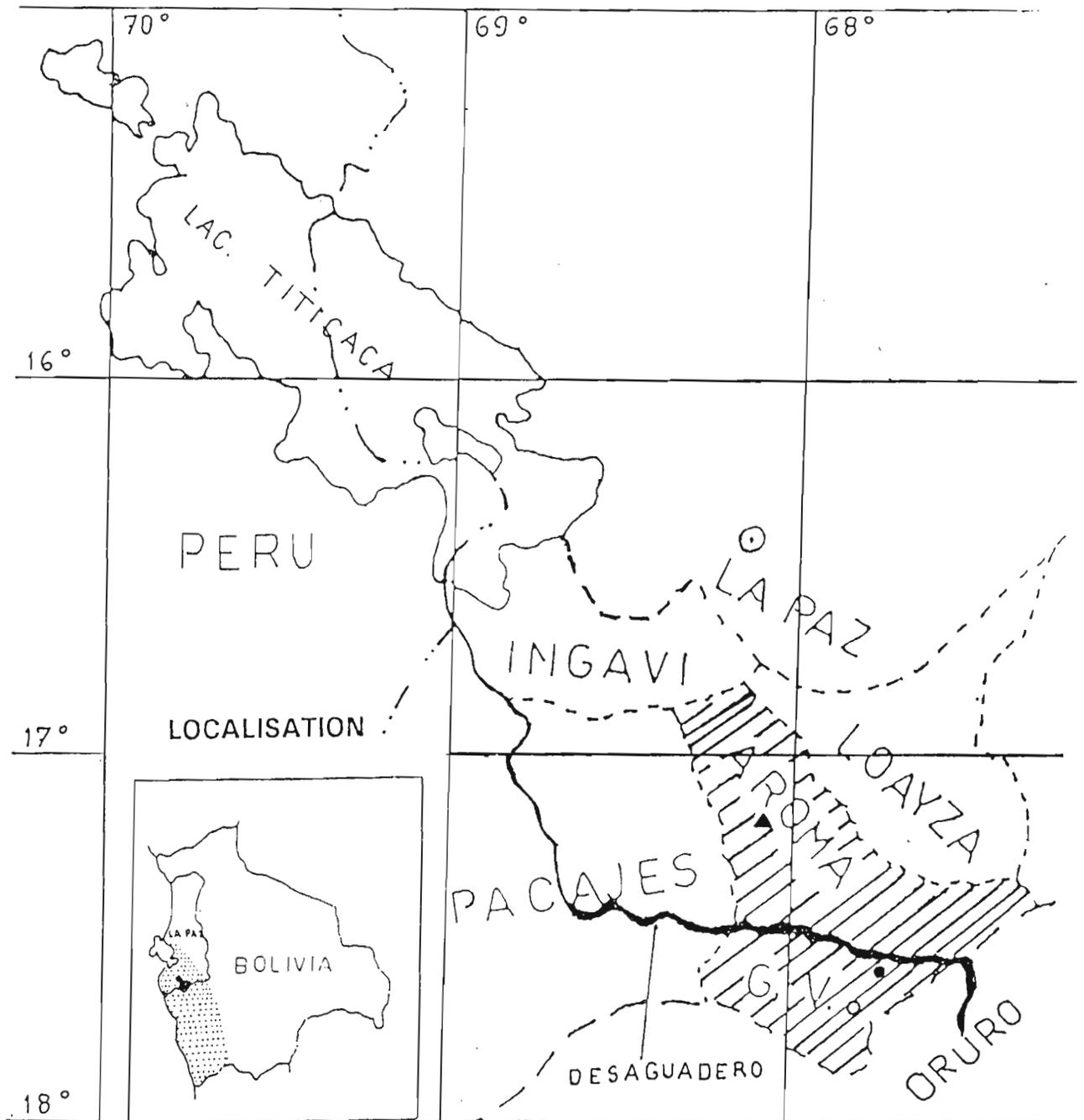
MATERIAUX ET METHODES

Trois zones contrastées et représentatives de l'altiplano aride (370-400 mm, 10 à 12°C de température moyenne annuelle) ont été échantillonnées (Carte 1) :

- **Pumani** : texture limono-sableuse, pente 10-20%, sans problème de drainage ni de salinité (27 échantillons).
- **Laruta** : texture argileuse, salino-sodique, pente nulle, formation alluviale inondable avec problèmes de drainage (24 échantillons).
- **San Miguel** : texture argileuse, hautement salino-sodique, pente nulle, formation alluviale inondable avec problèmes de drainage (8 échantillons).

L'échantillonnage a été réalisé en mars 1995 à Pumani à la profondeur de 0-8 cm. Par contre, à Laruta et San Miguel où une croûte superficielle bien différenciée a été observée, les prélèvements ont été réalisés en avril 1995 à 0-3 et 3-6 cm. A cette époque de fin des

Carte 1. LOCALISATION DES ZONES ETUDIEES



REFERENCES

- | | | | |
|---|-----------------------|--|--------------|
| - · - · - | Limite internationale |  | Zone étudiée |
| - - - | Limite départementale |  | Pumani |
| - · · · - | Limite provinciale |  | Laruta |
|  | Capitale |  | San Miguel |
|  | Altiplano bolivien | | |

précipitations et compte tenu de l'évapotranspiration, la superficie du sol reste sèche, avec une humidité inférieure au point de flétrissement permanent. On admet donc qu'il n'y a pas d'effet de l'état hydrique initial des agrégats ni de l'histoire récente du sol en place et on adopte la méthode Hénin, sans modifications. L'analyse des agrégats et la méthode de percolation de la méthode Henin ont été réalisés au laboratoire de sols de la Station Expérimentale de Patacamaya (IBTA), grâce aux prêts d'un agitateur Feodoroff par la station INRA de Laon et d'une pissette Robinson par le CIAT (Santa Cruz, Bolivie).

RESULTATS ET DISCUSSION

ADECUATION DE LA METHODE HENIN NON MODIFIEE AUX CONDITIONS DE L'ALTIPLANO BOLIVIEN

La figure 1 compare la droite de régression obtenue avec nos données avec celle de Henin *et al.* (1972). Les coefficients de corrélations sont similaires mais la pente de l'équation altiplano est plus faible. Cette équation accepte une valeur maximale d'instabilité structurale I_s au dessus de 1800% ($\text{Log } 10I_s = 4.25$), correspondant à une perméabilité nulle, soit 10 à 15 fois plus importante que dans l'équation de Henin, qui accepte comme valeur maximale $\text{Log } 10I_s = 3$. Les sols les plus instables de notre échantillon restent donc perméables. La différence des ordonnées à l'origine nous indique que les sols les plus stables de l'altiplano ont une perméabilité double (63.09 cm/h) de celle des sols français (31.62 cm/h). Lorsque la solution du sol est concentrée en électrolytes flocculants, l'indice I_s est inadapté et on lui substitue la mesure de la vitesse de percolation à travers une colonne de sol ayant subi la désagrégation (Monnier et Fies, 1983). Les résultats de conductivité K différencient justement les propriétés structurales des sols salés du sud de l'altiplano central.

Ces différences nous amènent à comparer les sols de l'altiplano avec ceux étudiés par Henin. Il s'agit sur l'altiplano de sols jeunes, riches en sables (>60%) à Pumani, proches des rendzines étudiées par Henin ou bien des sols avec une fissuration active à l'état sec, argilo-limoneux (58% argile) et salino-sodique à Laruta; argileux (64%) et très salino-sodique à San Miguel, ces derniers sortant des références de Henin. L'indice global E (Henin *et al.*, 1972) différencie nettement les trois types de sol, vis-à-vis de leur susceptibilité à l'érosion :

- $E = 1.64$ à 2.06 , à Pumani
- $E < 1.52$, à Laruta
- $E < 0.3$, à San Miguel.

ETUDE D'ECHANTILLONS DE SOLS D'AGES DE JACHERE DIFFERENTS

Les recherches menées par Hervé (1994) à Pumani n'ont pas mis en évidence une amélioration claire du stock chimique du sol après les dix années de jachère pratiquées dans cette communauté, mais plutôt une tendance à la stabilisation, après cette période, de certaines composantes chimiques de la fertilité. La densité apparente (5-10 cm) ne varie pas en fonction du nombre d'années de jachère (Figure 2). D'autres indicateurs de la fertilité physique du sol doivent donc être recherchés. En milieu tropical humide, Talineau *et al.* (1979) ont montré l'intérêt de la stabilité structurale de l'horizon de surface pour différencier les évolutions d'un agrosystème prairial et Moreau (1978) a détaillé les résultats du test d'agrégats pour analyser l'effet du défrichement sur un sol ferrallitique. Combeau et Quantin (1963) comparent l'indice d'instabilité structurale suivant le nombre d'années de culture après jachère. Dans le milieu tropical de montagne, semi-aride, de l'altiplano bolivien, on cherche à évaluer, non l'effet de la mise en culture, sinon celui de la durée de la jachère.

Fig 1. STABILITE STRUCTURALE DE SOLS DE L'ALTIPLANO CENTRAL BOLIVIEN

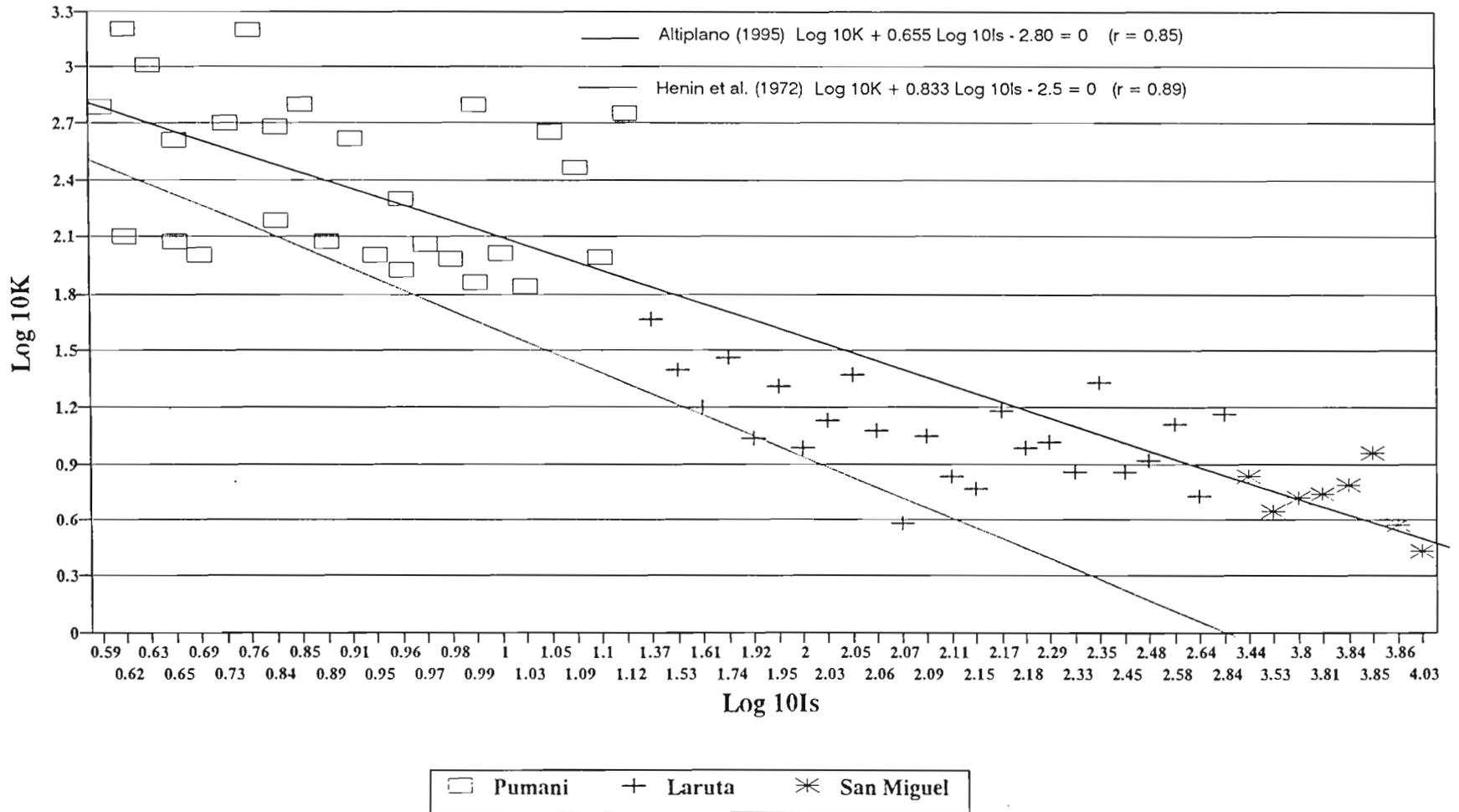


Figure 2. Relation densité aparente/ années de jachère

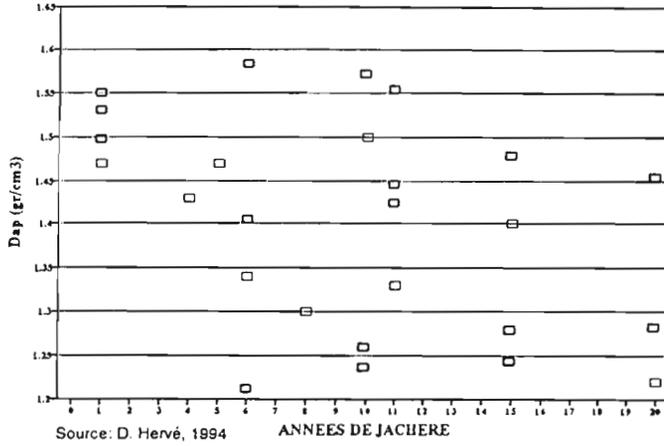


Figure 3. K(Coef. de permeabilité) vs. AJ (années de jachère)

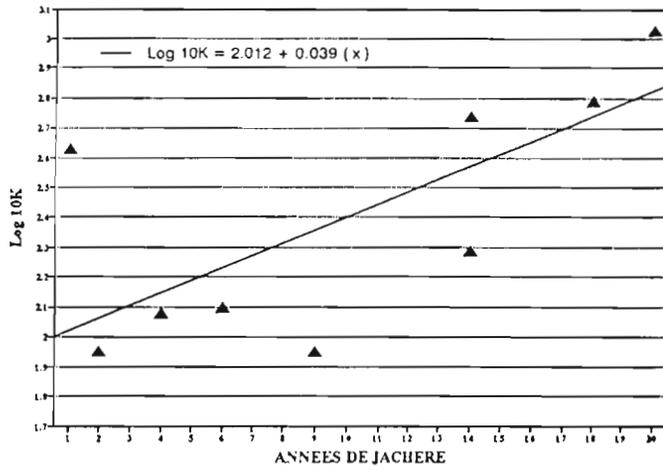
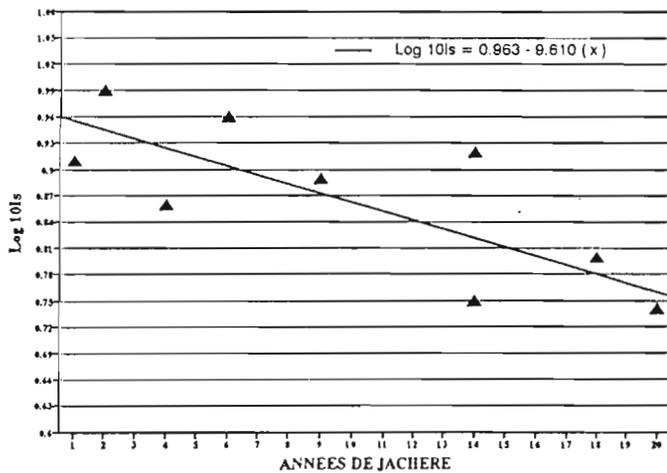


Figure 4. Is(Inestab. structurale) vs. AJ (années de jachère)



Coefficient de perméabilité (K) et années de jachère

La figure 3 montre une corrélation positive ($r = 0.67$) entre $\text{Log}_{10}K$ et la durée de la jachère, mais trois comportements différents. La perméabilité élevée de la première année s'explique par les arrières effets du labour et le fractionnement de la structure par les racines des cultures; elle diminue fortement dès la seconde année, probablement avec la formation d'une croûte superficielle, jusqu'à environ 10 ans. Une amélioration de la perméabilité n'est constatée qu'après 13 ans, du fait de l'installation pratiquement achevée d'un couvert semi-arbustif de *Baccharis sp.*, composée caractérisée par un enracinement pivotant très profond (supérieur à 1 mètre, travaux en cours).

Instabilité structurale (Is) et années de jachère

Il convient d'abord de rappeler que les échantillons étudiés sont très stables ($\text{Log } 10I_s < 1.3$, ce qui semble cohérent avec des caractéristiques favorables à la stabilité structurale: taux d'argile entre 8 et 20% avec une moyenne de 15%, taux de sable inférieur à 70%, calcium représentant le tiers à la moitié de la capacité d'échange.

La figure 4 montre une corrélation négative ($r = -0.76$) entre $\text{Log}_{10}I_s$ et le nombre d'années de jachère. La relation linéaire est assez étroite si bien qu'on observe déjà une amélioration au bout de dix ans. On n'observe pas d'effet de seuil, l'amélioration semblant se poursuivre jusqu'à vingt ans de jachère. Ce résultat peut être mis en relation avec l'accumulation de litière à la surface du sol (feuilles, brindilles, déjections ovines). Sur des placettes de 60cm par 80cm, installées sur trois parcelles, ont été mesurés le recouvrement superficiel par la végétation, grâce à des photos à la verticale, et le poids des fragments organiques superficiels, après tamisage à 2mm (Tableau 1). L'évolution de l'instabilité structurale est inverse du % de couverture par la végétation et de la quantité de débris organiques; elle diminue quand ceux-ci augmentent, avec l'âge de la jachère. Ces relations doivent bien entendu être confortées avec un plus grand nombre de points.

Tableau 1. Instabilité structurale, couverture végétale et litière superficielle.

Années jachère	$\text{Log}_{10}I_s$	% couverture végétation	Débris organ. sup. (gr./m ²)	Débris organ. sup. (% < 2mm)
1	0.91	5.45	18.5	8
4	0.86	11.22	73.9	16
20	0.74	35.94	91.0	14.4

Analyse des composants de la stabilité structurale

Le prétraitement à l'alcool éthylique (Aga %) permet d'éliminer l'air sans conduire à une baisse de cohésion significative vis-à-vis de la désaggrégation. Le prétraitement au benzène (Agb %) remplace l'air par un liquide incompressible et non miscible à l'eau; il privilégie le rôle de la mouillabilité dans la désaggrégation, ce qui le rend très sensible au rôle des matières organiques. L'évolution des fractions d'agrégats stables, alcool, eau et benzène, suivant la durée de la jachère (Figure 5) montre une chute entre 1 et 2 ans, et une lente récupération jusqu'au niveau initial au bout de 14 ans, qui n'est pas dépassée ensuite. Les agrégats stables à l'alcool sont les plus sensibles à la durée de la jachère. Les deux parcelles de 6 et 18 ans de jachère présentent des taux d'agrégats nettement plus faibles pour l'eau et surtout pour le benzène, du fait d'un contenu élevé en limon (30%). La différence entre les traitements à l'alcool et au benzène reste stable. Par contre, la différence entre les agrégats stables et la

Figure 6 Agrégats stables en fonction de l'âge de la jachère

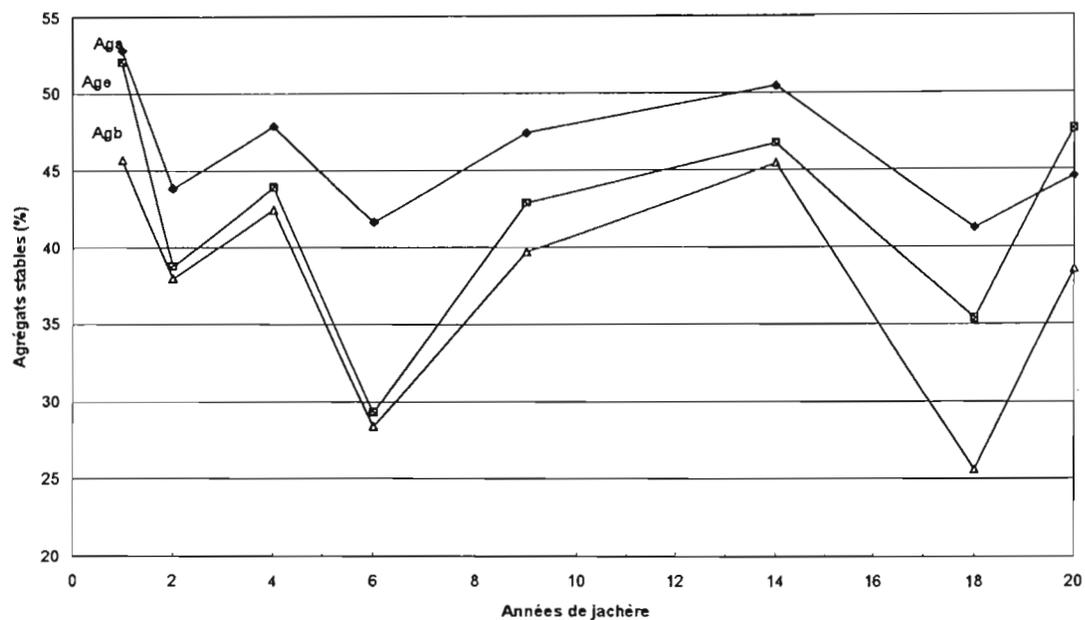
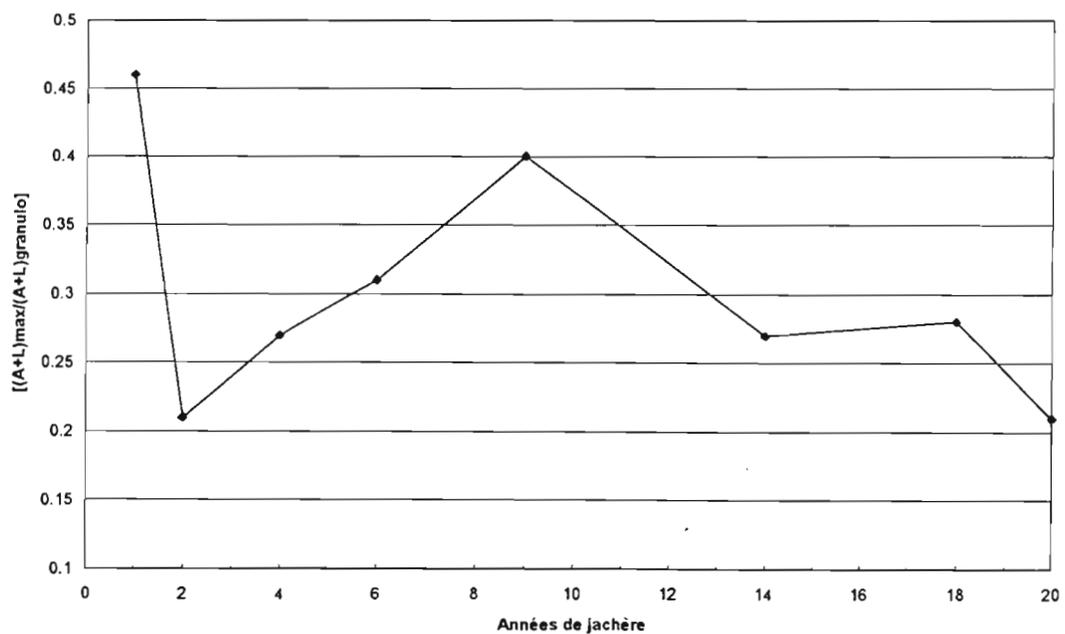


Figure 6 Fraction dispersée en fonction de l'âge de la jachère



fraction de sables grossiers augmente surtout à partir de 6 ans, ce qui contribue à réduire l'instabilité structurale. Cette différence est maximale à 9 ans.

La figure 6 relie à la durée de la jachère la fraction dispersée de la terre fine : (A+L) max. ramené au % d'(A+L) granulométrie. Après un décrochage très net entre 1 et 2 ans de jachère, la courbe passe par un maximum pour la durée de jachère actuellement pratiquée de 9 ans, puis décroît. L'évolution de la fraction dispersée est donc décalée par rapport à celle de l'instabilité structurale.

CONCLUSION

L'indice d'instabilité structurale de Hénin apparaît à même de trier les états superficiels contrastés vis-à-vis de l'érosion hydrique, pour l'altiplano bolivien. Son utilisation pour d'autres régions de Bolivie dépendra de l'effet de l'état hydrique initial des agrégats et des mécanismes de dégradation prépondérants.

Les différents composants de la stabilité structurale, Is, K, agrégats stables, fraction A+L dispersée sont sensibles à la durée de la jachère. Une baisse significative des agrégats stables et de la perméabilité entre 1 et 2 ans de jachère se maintient jusqu'aux 9 ans actuellement pratiqués et dans le même temps, la fraction fine dispersée augmente. Il faut donc attendre 14 ans ou plus de jachère pour que les indices Is, K et agrégats stables s'améliorent de manière significative. On peut considérer que ce sont des indicateurs pertinents de fertilité physique, qui devraient être confrontés à des indicateurs des autres composants de la fertilité (organique, microbiologique, chimique..) pour tenter de conclure sur la durée de jachère à respecter compte tenu de l'objectif qu'on se donne.

BIBLIOGRAPHIE

BOURGES (J.), RIBSTEIN (P.), HOORELBEKE (R.), DIETZE (C.), CORTEZ (J.), 1992. Precipitaciones y escurrimiento de una pequeña cuenca en zona de montaña: el río Achumani (La Paz, Bolivia). Cochabamba, Recursos hídricos y medio ambiente, 303-311.

COMBEAU (A.), QUANTIN (P.), 1963. Observations sur les variations dans le temps de la stabilité structurale des sols en région tropicale. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. I, 3 : 17-26.

HENIN (S.), MONNIER (G.), COMBEAU (A.), 1958. Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. Annales Agronomiques, 1, 73-92.

HERVE (D.), 1994. Respuestas de los componentes de la fertilidad del suelo a la duración del descanso. In : Dinámicas del descanso de la tierra en los Andes. D. Hervé, D. Genin, G. Rivière eds., La Paz, ORSTOM-IBTA, 155-169.

MONNIER (G.), FIES (J.C.), 1983. Stabilité structurale. Séminaire CEE - Agrimed, 14-18/03/83, 14 p.

MOREAU (R.), 1978. Influence de l'ameublissement mécanique et de l'infiltration de l'eau sur la stabilité structurale d'un sol ferrallitique dans le centre de la Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XVI, 4 : 413-424.

ORSAG (V.), 1989. Características del régimen aéreo de un aridosol en el altiplano central de Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 13 : 11-22.

QUANTIN (P.), COMBEAU (A.), 1962. Relation entre érosion et stabilité structurale du sol. *Com. Acad. Sciences, séance du 5/03/1962*, 1855-1857.

TALINEAU (J.C.), BONZON (B.), FILLONNEAU (C.), HAINNAUX (G.), 1979. Contribution à l'étude d'un agrosystème prairial dans le milieu tropical humide de la Côte d'Ivoire. 1. Analyse de quelques paramètres de l'état physique du sol. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XVII, 2, 141-157.