

Quantité de nutriments ou accès aux nutriments?

Une nouvelle vision de la fertilité du sol dans les tropiques

Par Roland Bunch

(Notes de développement d'ECHO, # 74)

Introduction

Pour obtenir une productivité agricole élevée dans les tropiques au meilleur coût économique et écologique, il faut bien comprendre le rapport entre les nutriments présents dans le sol et la productivité des cultures. Pour ce faire, il nous faut remettre en question certaines idées reçues. **La vision traditionnelle du lien entre les nutriments dans le sol et la productivité des cultures dans les tropiques est à l'origine de politiques agricoles dommageables et de pratiques de production inefficaces et nuisibles.**

L'application d'importantes quantités d'engrais chimiques qui est si souvent recommandée n'est nullement nécessaire. En réalité, l'utilisation de ces engrais est souvent inutile et coûteuse en plus d'être dommageable pour l'environnement, en particulier lorsque les paysans cessent d'utiliser la matière organique.

Les travaux d'Artur et d'Ana Primavesi sont à l'origine d'une grande partie de la théorie présentée ici. Aussi, le meilleur ouvrage d'analyse en profondeur des phénomènes chimiques et biologiques décrits dans le présent article est actuellement *The Ecological Management of the Soil* [La gestion écologique du sol] d'Ana Primavesi (malheureusement, ce livre n'est actuellement disponible qu'en espagnol et portugais). Le présent article examine le concept traditionnel de la fertilité des sols et certaines de ses faiblesses; il présente ensuite une nouvelle théorie de la fertilité du sol et des façons de la mettre en pratique.

Le concept traditionnel de la fertilité du sol

La fertilité du sol n'est pas simplement une question de quantité de nutriments disponibles dans le sol. Dans le présent article, nous utiliserons la définition présentée dans l'ouvrage *Agroforestry for Soil Conservation* d'Andrew Young. « La fertilité du sol... est sa capacité de favoriser la croissance des plantes de manière soutenue, en tenant compte des conditions climatiques spécifiques et d'autres caractéristiques pertinentes du sol. »

Selon le concept traditionnel, la fertilité du sol dépend dans une large mesure des quantités ou concentrations totales de nutriments présents dans le sol. Selon ce concept, tant et aussi longtemps que le sol contient suffisamment de nutriments, que son pH est à l'intérieur d'une fourchette donnée et que sa capacité d'échange cationique (CÉC) est assez élevée pour garder les nutriments, sa fertilité sera bonne. L'idée de base est que le sol fonctionne comme une banque : si vous ajoutez constamment des nutriments, sur une longue période de temps, ceux-ci s'accumuleront peu à peu comme les contributions dans un compte d'épargne, et accroîtront la fertilité du sol et conséquemment la productivité des cultures. Nous appelons cette idée de la fertilité du sol « concept de la quantité de nutriments (CQN). »

Dans la plupart des ouvrages sur les propriétés et la gestion du sol (lesquels sont généralement écrits par des tenants du CQN), peu d'attention est portée sur la matière organique et la biologie du sol. La discussion est plutôt centrée sur les sources et les quantités d'azote (N), de phosphore (P) et de potassium (K). Ainsi, la plupart des recommandations relatives au rétablissement de la fertilité du sol et à l'amélioration de la production d'aliments dans les tropiques concernent l'application d'engrais chimiques.

Avant de continuer, il faut d'abord expliquer brièvement un point pour le bénéficiaire du non spécialiste : les plantes sont capables d'absorber certains nutriments présents dans le sol à des concentrations inférieures à 0,2 parties par million, alors qu'elles ont souvent de la difficulté à absorber d'autres nutriments présents à des concentrations 100 fois plus élevées (Ahn). Ainsi, dans les faits, s'il y a une corrélation entre la capacité physique de la plante à absorber un nutriment et la concentration de ce dernier dans le sol, elle est ténue. De plus, l'absorption des divers nutriments par les plantes ne dépend pas principalement de leur teneur dans le sol mais plutôt des besoins nutritifs des plantes et cette absorption se fait dans des proportions relativement stables pour chaque espèce ou variété de plante, peu importe la quantité de nutriments dans le sol. Ainsi, le Concept de la quantité de nutriments affirme en fait que, lorsque d'autres

conditions essentielles à la croissance de la plante sont réunies, sa croissance ou productivité dépendra dans une large mesure de la quantité et de la disponibilité des nutriments, lesquels constituent le facteur limitatif de la croissance maximum de la plante. Selon cette théorie, la croissance maximale de la plante devrait être obtenue en assurant des réserves de nutriments suffisamment importantes dans le sol pour que des quantités adéquates de ces nutriments se trouvent sous une forme assimilable (Cresser).

Les faiblesses du concept de la quantité de nutriments

Faiblesses théoriques du concept

1) Le Concept de la quantité de nutriments simplifie trop le problème. D'autres facteurs de productivité sont bien plus importants que la quantité totale de n'importe quel nutriment ou groupe de nutriments, notamment : la forme chimique des nutriments, la profondeur à laquelle ils sont présents, les types et quantités de macroorganismes et micro-organismes présents, la présence de couches de terre compactée, l'équilibre entre les nutriments, le pH du sol, sa teneur en eau, sa teneur en matière organique, sa teneur en macroorganismes et microorganismes, sa texture et sa structure. Ces facteurs influent également les uns sur les autres de sorte que les microenvironnements dans le sol évoluent sans cesse. Parfois, une plante est capable d'accéder à la majeure partie d'un nutriment donné dans le sol, et en d'autres circonstances, elle ne peut accéder qu'à moins de 1 % de la teneur totale de ce même nutriment. C'est la biodisponibilité du nutriment, c'est-à-dire la quantité de nutriments effectivement **disponibles** à la plante, qui explique cette grande variation.

Les tenants du concept de la quantité de nutriments reconnaissent l'existence des facteurs énumérés ci-dessus. Cependant, un fait particulier domine leur pensée : dans un environnement **édaphique uniforme**, plus grande sera la quantité d'un nutriment présente dans le sol, plus il y en aura sous forme disponible. Ils ne tiennent pas compte du fait que le sol n'est pas uniforme et que ce rapport entre la quantité et la disponibilité des nutriments est souvent inexistant, notamment sous les tropiques. Par exemple, une même quantité de phosphore peut-être jusqu'à 50 fois plus disponible dans un sol riche en matière organique que dans un sol acide et infertile – et pourtant, la plupart des agronomes pédologues continuent de conseiller l'ajout de phosphore aux sols acides plutôt que d'appliquer le phosphore à un paillis en surface, par exemple.

2) Le concept de la quantité de nutriments semble présupposer que les nutriments sont relativement stables dans le sol. En réalité, ils ne le sont pas, notamment lorsque la CEC (capacité d'échange de cations) du sol est faible et/ou lorsqu'il y a érosion du sol. L'azote et le potassium, en particulier, ne restent pas longtemps dans le sol et le phosphore est moins stable dans les sols tropicaux que l'on a longtemps cru. En d'autres mots, il y a des fuites constantes des « réserves » emmagasinées dans la « banque. » Et plus il y a de réserves dans la banque, plus les fuites sont grandes.

Les engrais chimiques ne maintiennent pas les niveaux de la plupart des micronutriments dans le sol et ont pour effet d'en abaisser le pH. Cela signifie que les paysans auront probablement besoin de chaux ou d'engrais alcalins dispendieux pour contrer le faible pH du sol causé par l'utilisation d'engrais chimiques. En revanche, il faut reconnaître qu'à long terme, la matière organique ne parvient pas non plus à accroître substantiellement les quantités de nutriments dans le sol sous les tropiques. L'utilisation exclusive d'engrais chimiques ou de matière organique ne parvient pas à accroître à long terme les quantités de nutriments. Les engrais chimiques ne sont pas entièrement mauvais; le remplacement de certains éléments chimiques dans le sol est une pratique acceptable et bien souvent souhaitable.

3) Les tenants du concept de la quantité de nutriments ont dans une large mesure évité de prendre en considération l'énorme impact sur les sols tropicaux de facteurs comme leur macrobiologie et microbiologie, la teneur en matière organique, les microenvironnements et les couches de terre compactée.

Faiblesses pratiques du concept

La plupart des pédologues ont d'ores et déjà conclu que les technologies à « faibles apports externes » produisent inévitablement des « rendements faibles »; que « l'agriculture écologique » est nécessairement improductive et n'a pratiquement aucun avenir; et que les sols ayant une faible CEC, comme la plupart des sols d'Afrique de l'Ouest, ont un très faible potentiel de rendements respectables. Aucune de ces

conclusions n'est basée sur notre compréhension scientifique globale des sols. Un imposant volume de preuves tirées de l'expérience concrète de dizaines de milliers d'exploitations agricoles partout au monde, ainsi que de nombreuses expériences scientifiques, montre que toutes ces conclusions sont en réalité erronées.

C'est ainsi que le concept de la quantité de nutriments est vouée à l'échec. Il ne nous aide pas à choisir les priorités agricoles appropriées. Il ne parvient pas à prédire ce qui se passerait si nous appliquions une large gamme de technologies agricoles maintenant soumises à des expériences dans les tropiques, et il ne nous aide pas à comprendre une série de phénomènes naturels et agricoles bien connus. Et par-dessus tout, il ne nous ouvre pas à de nouvelles technologies prometteuses qui peuvent procurer des bénéfices énormes à faible coût aux paysans pauvres des tropiques.

Examinons ces défauts un peu plus en détail.

- 1) Le concept traditionnel de la quantité de nutriments dans les milieux tropicaux a poussé de nombreux scientifiques à rejeter d'emblée l'agriculture écologique. Selon la vision de ce concept, si l'on dépose seulement une petite quantité de nutriments dans la réserve du sol, nous ne pourrions pas en retirer grand chose. C'est pourquoi des technologies prometteuses comme l'agriculture écologique et l'agroécologie ont été largement ignorées (Pretty et Hine).
- 2) Du concept de la quantité de nutriments découle l'affirmation que les sols ayant une CEC très faible ne pourront jamais produire de bons rendements parce que ces sols ne peuvent porter une grande quantité de nutriments durant toute la durée de vie de la culture. Ainsi, d'énormes territoires des tropiques sont considérés à « faible potentiel », où des investissements en développement agricole ne vaudraient pas la peine (Mosher). Cette politique erronée a aggravé les problèmes déjà sérieux d'injustice économique et de faim pure et simple. Et tout cela à cause d'une théorie de la fertilité du sol qui est au mieux discutable.
- 3) Le concept de la quantité de nutriments prescrit presque systématiquement l'application d'une quantité trop élevée d'engrais chimiques, lesquels sont particulièrement dispendieux pour les paysans pauvres des tropiques. Pourtant, l'expérience de nombre de pays montre que moyennant des investissements beaucoup plus modestes, les paysans peuvent obtenir des rendements équivalents ou même supérieurs. Avec le temps, la plupart des engrais chimiques épuisent les micronutriments du sol, acidifient le sol encore plus et contribuent à désagréger ou consumer la matière organique ou ne la remplacent tout simplement pas. La réaction du sol aux engrais chimiques est alors réduite jusqu'à ce qu'éventuellement il n'y ait plus d'avantage économique à les utiliser. L'augmentation récente du prix du pétrole (de moins de 20,00 \$US le baril à autour de 70,00 \$ en 2006) accroîtra le prix des engrais en raison des coûts de production et de transport plus élevés. Apprenons plutôt à utiliser des technologies qui permettront aux paysans d'être productifs sans compter autant sur les engrais chimiques !
- 4) Le concept de la quantité de nutriments n'a aucune capacité prédictive. Des rendements très élevés sont actuellement obtenus sur des sols qui ne pourraient jamais être aussi productifs si l'on se fie à la pensée conventionnelle, et ce, en utilisant seulement de 10 % à 50 % de la quantité de nutriments prescrite par le concept de la quantité de nutriments. Nous décrivons ci-dessous des cas spécifiques où le concept de la quantité de nutriments n'est pas parvenu à prévoir les phénomènes observés.

- ❖ Les augmentations des rendements obtenus à l'aide d'engrais verts/cultures de couverture (ev/cc) dans un système après l'autre sont beaucoup plus importantes que ce que prévoit le concept conventionnel. La technologie des « engrais verts/cultures de couverture » comporte la production de biomasse, souvent par la plantation de légumineuses, intercalées avec la culture régulière, sous les arbres fruitiers, durant la saison sèche, durant les périodes de gel ou sur des sols dégradés qui sont trop pauvres pour la production de cultures (c'est-à-dire dans tous ces cas, à un coût de substitution nul ou faible). Les ev/cc **ajoutent** ainsi directement **d'importantes quantités nettes** de biomasse à teneur élevée en nutriments à la surface du sol, là où elle est très accessible aux cultures subséquentes (voir Bunch 2001). La plantation « d'arbres dispersés » constitue une autre pratique traditionnelle partout dans le monde, que l'on ne fait que commencer à étudier et à promouvoir en Amérique centrale, mais qui a apparemment un potentiel énorme en termes d'augmentation de la production de biomasse dans une grande partie des tropiques à basse altitude.

Les paysans qui utilisent les engrais verts/cultures de couverture réussissent souvent à doubler leurs rendements de maïs (voir par exemple Buckles; Bunch et Lopez; Pretty et Hine). Pourtant, les ev/cc augmentent les quantités de N de seulement environ 100 kg par ha et n'ajoutent pas de P ou de K. De plus, dans le nord du Honduras, les paysans ne cessent d'obtenir des rendements de 2,5 t/ha de maïs année après année depuis maintenant 40 ans sur des terres tropicales humides relativement pauvres, sans aucune application de NPK chimique. Bien sûr, c'est la dynamique biologique, physique et chimique dans le sol, et non pas seulement la présence de nutriments, qui produit ces résultats. Néanmoins, le concept de la quantité de nutriments prévoit que les faibles niveaux de P auraient dû devenir à tout le moins un important facteur limitatif depuis déjà fort longtemps. Pourtant, les applications de P chimique sur ces sols, après quarante ans, n'améliorent toujours pas les rendements (Buckles).

- ❖ En appliquant le système d'intensification du riz (SIR) au Madagascar, des centaines de paysans obtiennent des rendements de 12 à 15 t/ha, et occasionnellement de 18 t/ha, avec seulement des quantités modestes de compost et aucun engrais chimique, sur des sols acides et à faible CEC (un cas classique de « sols à faible potentiel ») (Uphoff, voir aussi le numéro 70 d'*ECHO Development Notes*). Pourtant, les experts mondiaux du riz affirment que le « rendement maximum biologique » de la plante de riz est de moins de 10 t/ha. L'école de pensée qui prétend que « l'agriculture à faibles apports est une agriculture à faibles rendements » ne peut même pas commencer à rendre compte des rendements de 15 t de riz/ha sur ces sols « à faible potentiel » auxquels des quantités si faibles de N sont amendés.
- ❖ En Afrique de l'Ouest, des femmes récoltent souvent 4 t/ha de maïs de 4 mètres de hauteur sur des petites parcelles près de leur demeure aux sols très usés avec une faible CEC. Elles n'amendent le sol qu'avec les eaux grises et les restes de cuisine de la maison, lesquels sont appliqués quotidiennement.
- ❖ L'agriculture traditionnelle de culture sur brûlis ou de culture itinérante constitue une méthode séculaire et mondiale de régénération du sol. Le concept dominant de la quantité de nutriments ne peut pas rendre bien compte des résultats obtenus avec ces techniques agricoles. Dans une étude, presque la moitié des champs que les paysans ouest-africains estimaient être prêts pour la culture sur brûlis n'avaient aucune végétation visible autre que des graminées. Le concept de la quantité de nutriments ne peut expliquer ce phénomène observé mondialement de graminées qui régénèrent les sols.
- ❖ La production de la biomasse des forêts tropicales humides naturelles est beaucoup plus élevée que ce que leur faible CEC devrait permettre selon le concept traditionnel. Les scientifiques qui adhèrent normalement au concept de la quantité de nutriments reconnaissent d'emblée que le recyclage rapide des nutriments dans les forêts tropicales humides permet des niveaux considérables de production de biomasse généralement avec des niveaux de nutriments et de CEC très faibles dans le sol. Pourtant, beaucoup nient que ce même phénomène de circulation rapide des nutriments puisse être à la base d'une agriculture vivrière très productive dans des conditions similaires eu égard aux nutriments et à la CEC. En d'autres mots, les tenants du concept de la quantité de nutriments reconnaissent, dans le cas des forêts humides, que « les forêts à faibles apports produisent des forêts à haut rendement, » mais refusent d'admettre que le même principe puisse s'appliquer à l'agriculture.

Il semblerait que le pompage de nutriments par les arbres (le transfert à la surface de nutriments présents dans les couches profondes du sol) embrouille quelque peu la question. Cependant, de nombreuses forêts humides produisent de grandes quantités de biomasse même si elles se trouvent au-dessus de sous-sols qui ne peuvent même pas fournir les quantités de nutriments ajoutées artificiellement dans de nombreux systèmes à « faibles apports externes » et ce, même si le pompage de nutriments des arbres était extrêmement efficace. D'ailleurs, les couches profondes du sol d'où les nutriments sont supposément « pompés » ont presque toujours des teneurs en nutriments beaucoup plus faibles que les couches de sol superficielles. Par conséquent, même **en tenant compte** du pompage des nutriments, les forêts naturelles montrent clairement qu'elles peuvent extraire de sols ayant des teneurs totales en nutriments extrêmement faibles des quantités suffisantes de nutriments pour la production de volumes énormes de biomasse.

- ❖ Les entreprises d'engrais chimiques ont dépensé des millions de dollars dans la recherche sur les engrais chimiques à « libération lente ». Elles reconnaissent donc par leurs actions que la quantité totale de nutriments disponibles à tout moment ne constitue pas l'enjeu principal de la productivité.

L'apport constant de nutriments est un facteur plus important que celui de la quantité totale de nutriments disponible.

Étant donné les imprécisions apparentes et même les incohérences logiques du concept traditionnel de la quantité de nutriments, le temps est venu de développer un nouveau concept plus complet et précis de la fertilité du sol dans les tropiques.

Le concept de fertilité des sols tropicaux axé sur l'accès aux nutriments

Pour illustrer le concept de fertilité du sol axé sur l'accès aux nutriments, nous commencerons avec une expérience décrite dans *The Ecological Management of the Soil* d'Ana Primavesi. Dans cette expérience, du maïs fut cultivé dans quatre solutions hydroponiques :

- 1) Une solution de nutriments à la concentration normale requise pour le développement maximal des plantes de maïs fut appliquée et réapprovisionnée aux 4 jours.
- 2) Une solution à une concentration deux fois plus élevée que la normale fut appliquée et réapprovisionnée aux 4 jours.
- 3) Une solution à une concentration 50 fois moins élevée que la dose normale fut appliquée et réapprovisionnée aux 4 jours.
- 4) Une solution à une concentration 50 fois moins élevée que la dose normale fut appliquée et réapprovisionnée aux 2 jours.

La croissance des plantes (mesurée en grammes de poids sec) fut inférieure dans le deuxième protocole que dans le premier. Dans le troisième protocole, elle fut également inférieure à celle du premier. **Même lorsque la concentration de la solution de nutriments était 50 fois inférieure à la concentration optimale, selon le concept de la quantité de nutriments, la croissance des plantes fut aussi bonne, tant et aussi longtemps que la solution était remplacée assez fréquemment et que les racines pouvaient accéder aux nutriments.**

La croissance des cultures **ne dépend pas** de la quantité de nutriments en autant que leur concentration soit supérieure à un certain seuil extrêmement faible. À la place, elle dépend de l'accès constant des racines aux nutriments, même lorsque ceux-ci existent à des concentrations très faibles. Ce qu'il faut, c'est un approvisionnement constant dans le temps d'une quantité de nutriments faible mais bien équilibrée et l'accès libre des racines à ces nutriments.

Cette expérience montre qu'il n'y a tout simplement **aucun rapport** entre les concentrations ou les quantités totales de nutriments et la croissance végétative, au-delà d'un certain seuil de concentration minimum. Tant et aussi longtemps que les plantes se développent dans des conditions adéquates d'équilibre nutritif, d'accessibilité et de réapprovisionnement constant des nutriments, le rapport entre la concentration des nutriments dans le sol et la productivité des plantes est soit nul (c'est-à-dire qu'il n'y a aucun rapport entre les deux) ou négatif (c'est-à-dire qu'une plus grande concentration de nutriments réduit la productivité des plantes).

Ces résultats sont plus pertinents pour les sols et les paysans des régions tropicales que pour ceux des régions tempérées et ce, pour plusieurs raisons :

- 1) Les sols tropicaux tendent à avoir des concentrations de nutriments plus faibles et moins de sites d'échange de cations (capacité plus faible à retenir les nutriments).
- 2) La chaleur ambiante des tropiques nuit à la création par les plantes d'une pression osmotique suffisante pour absorber les nutriments des solutions très concentrées. Les faibles concentrations de nutriments donnent souvent de meilleurs résultats.
- 3) La plupart des paysans des tropiques travaillent à la main ou avec une traction animale de sorte qu'ils peuvent gérer les moindres détails du sol à la main et créer différents microenvironnements. Dans certains de ces microenvironnements, l'accessibilité des nutriments est plus grande.

- 4) Les paysans pauvres n'ont pas les moyens d'amender leurs terres avec une surabondance d'engrais. Et ils perdent souvent plus de nutriments que les paysans des zones tempérées à cause des pluies intenses, des fortes pentes ou de facteurs liés à la chimie du sol.

Au lieu d'insister sur la concentration des nutriments dans le sol, le nouveau concept met l'accent sur l'accès des racines aux nutriments. Nous appelons cette théorie de la fertilité du sol le concept de l'accès aux nutriments. Voici les principales affirmations de ce concept :

Dans les tropiques, la meilleure façon d'obtenir une croissance végétative maximale à faible coût consiste à assurer :

- 1) un approvisionnement constant des nutriments du sol (obtenu à peu de frais à des concentrations assez faibles),
- 2) un équilibre sain entre les nutriments, et
- 3) un accès maximum des racines des plantes à ces nutriments (c'est-à-dire de maintenir une bonne structure et/ou couverture du sol).

L'adéquation du concept de l'accès aux nutriments

Le concept de l'accès aux nutriments peut-il mieux expliquer les phénomènes décrits ci-dessus que le concept de la quantité des nutriments ? D'une part, le concept de l'accès aux nutriments reconnaît que les fortes concentrations de nutriments peuvent générer des rendements élevés dans l'agriculture des pays développés, et même dans l'agriculture de plantation à forte capitalisation pratiquée sur les meilleures terres des tropiques. Cela est vrai dans de nombreux milieux, notamment dans les régions plus tempérées, lorsque les sols sont compactés ou la structure optimale des sols a été autrement endommagée, lorsque la CEC est élevée et que les producteurs agricoles sont bien capitalisés.

Mais lorsque les sols ont des CEC faibles, la matière organique dans le sol est ou pourrait être abondante et peu coûteuse, les capitaux sont rares et/ou le climat est chaud, le concept de l'accès aux nutriments met de l'avant des pratiques agricoles complètement différentes de celles qui sont appliquées à l'heure actuelle.

De nombreux paysans du sud du Brésil et de dizaines d'autres pays, ont obtenu des rendements concurrentiels à des coûts relativement faibles sur des sols « à faible potentiel » et ce, avec des effets écologiques à long terme plus positifs que ceux de l'agriculture pratiquée selon le concept de la quantité de nutriments.

Ainsi, l'application du concept de l'accès aux nutriments dans les tropiques permettrait d'obtenir des rendements élevés à un coût beaucoup plus faible. Ce concept répond également aux besoins des paysans qui exploitent des soi-disant sols « à faible potentiel » et sont injustement abandonnés à eux-mêmes dans le contexte actuel. En fait, en appliquant à ces sols des quantités assez faibles et abordables de nutriments facilement accessibles, ces paysans peuvent produire des récoltes plusieurs fois supérieures aux niveaux actuels. La productivité des sols à « faible potentiel » dépend plus d'une gestion appropriée des sols que de l'amendement de grandes quantités de nutriments très dispendieux.

Le concept de l'accès aux nutriments remet aussi en question les projets de financer à grands frais la distribution d'énormes quantités d'engrais chimiques dans les pays africains qui sont déjà à toutes fins pratiques en faillite. Ces propositions sont basées sur le concept de la quantité de nutriments. L'adoption du concept de l'accès aux nutriments aurait comme effet de forcer une reformulation de tels projets de manière à les axer sur l'objectif d'accroître les rendements en augmentant la production de biomasse, en améliorant la structure des sols et en appliquant des systèmes basés sur la couverture des sols.

De plus, le concept de l'accès aux nutriments peut expliquer adéquatement les phénomènes décrits ci-dessus que la théorie traditionnelle ne peut expliquer :

- ❖ Engrais verts/cultures de couverture. Au lieu de compter sur des fortes concentrations de nutriments chimiques, la productivité des systèmes à engrais verts/cultures de couverture et agroforestiers dépend de la fixation de N et du recyclage d'importantes quantités de matière organique, lesquels rendent le P et les autres nutriments du sol beaucoup plus solubles (c'est-à-dire chimiquement disponibles). Ces

systèmes placent la plupart des nutriments près de la surface du sol où ils sont facilement accessibles aux racines des plantes.

- ❖ Rendements du SIR. Avec le système SIR, le sol est aéré et les plantes poussent presque six fois plus de racines par plante. Elles peuvent ainsi accéder à beaucoup plus de nutriments dans le sol.
- ❖ Jardins de case d'Afrique de l'Ouest. Les déchets organiques quotidiens de la cuisine constituent de petites réserves stables de nutriments.
- ❖ Régénération des sols tropicaux. La régénération des forêts et des pâturages maintient ou améliore la structure des sols de sorte que sur les terres nouvellement défrichées, les cultures peuvent accéder plus efficacement aux nutriments présents en faibles concentrations. La matière organique à la surface du sol ou près de celle-ci (le produit d'années de jachère) fournit des petites doses de nutriments.
- ❖ Forêts tropicales humides. La bonne structure du sol et les paillis sont maintenus de sorte que les arbres peuvent accéder aux faibles quantités de nutriments constamment approvisionnés par la décomposition de la matière organique du sol. Les arbres dotés de racines profondes et d'un grand nombre de racines nourricières peuvent capturer beaucoup de nutriments même si ceux ne sont présents qu'à de faibles concentrations.
- ❖ Engrais chimiques à libération lente. Le concept de l'accès aux nutriments explique bien mieux les avantages des engrais chimiques à libération lente que le concept de la quantité des nutriments.

Il va sans dire que ces explications sont très simplifiées. L'accès des plantes aux nutriments est un phénomène très complexe qui met en jeu un grand nombre de facteurs, notamment la température du sol, la quantité de matière organique présente dans le sol, son pH, ses propriétés chimiques, la présence ou non de couches compactes et l'emplacement et les concentrations des différents nutriments. L'activité de centaines de milliers de microorganismes présents dans chaque cuillerée à table de terre influe également sur tous ces facteurs. **Néanmoins, le concept de l'accès aux nutriments semble rendre compte beaucoup mieux que le concept de la quantité de nutriments de la somme ou de la moyenne globale de tous ces processus variés et encore largement incompris.**

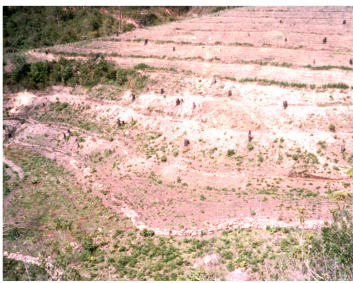


Figure 1. Les techniques associées au concept d'accès aux nutriments peuvent produire des changements dramatiques. Ci-dessus, une terre dénudée soumise à une forte érosion. À la droite, la même terre deux années plus tard.

Photos de Roland Bunch.

L'application du concept de l'accès aux nutriments

Le concept de l'accès aux nutriments peut être très facilement mis en pratique en utilisant copieusement la matière organique. La matière organique fournit les nutriments à des concentrations faibles ou moyennes et presque toujours dans des proportions bien équilibrées. De plus, les nutriments de la matière organique possèdent un mécanisme de libération lente naturel, ce qui leur permet de devenir disponibles sur une

période de plusieurs mois ou années. Et finalement, la matière organique peut améliorer peu à peu la structure du sol, tant directement (en fournissant des matériaux de liaison qui améliorent la floculation) qu'indirectement (en alimentant les lombrics et d'autres organismes du sol qui améliorent également la structure du sol) (Minnich).

La meilleure façon d'appliquer la matière organique consiste à la répandre à la surface du sol ou, durant la période de transition (d'une agriculture basée sur les engrais chimiques à une basée sur la couverture du sol), à 20 cm ou moins de la surface. Durant la première année ou les deux premières années de la transition vers une agriculture basée sur les paillis, la compaction de couches sous la surface du sol constitue un sérieux facteur limitatif. Après une ou deux années, presque toute la matière organique pourra être appliquée à la surface du sol.

Le concept de l'accès aux nutriments n'exige pas nécessairement un système entièrement biologique. Mais il suggère qu'il faut réduire considérablement l'utilisation des engrais chimiques à court terme. À long terme, il suggère de n'utiliser les engrais chimiques que pour remplacer les nutriments qui ne sont pas déjà fournis par la matière organique et la fixation de l'azote.

Les cinq principes de gestion des sols suivants, basés sur la théorie de l'accès aux nutriments, commencent à être appliqués partout au monde en agriculture à petite échelle.

1) Développer au maximum la production de matière organique. On peut augmenter la production de matière organique a) en intercalant les cultures vivrières ou les ev/cc avec les cultures annuelles ou arbustives; b) en créant des champs et des jardins multiétagés; et c) en semant des arbres ou des ev/cc sur les terres incultes ou durant la saison sèche. Dans les régions arides, l'arrosage/l'irrigation peut aider à accroître la production de matière organique. Il est préférable de produire la biomasse sur place.

2) Maintenir le sol couvert. La couverture du sol aidera à réduire tant la croissance des mauvaises herbes que le réchauffement du sol. Ce dernier phénomène peut accélérer la décomposition de la matière organique, réduire les taux de croissance des cultures et tuer les organismes bénéfiques dans le sol. En développant au maximum la production de biomasse et en maintenant le sol couvert, il arrive souvent qu'il ne soit plus nécessaire de laisser la terre en jachère. Le maintien d'une couverture au sol réduit le taux de décomposition de la matière organique du sol, ce qui signifie que l'approvisionnement du sol en nutriments durera plus longtemps et sera plus soutenu, même si les paillis ont tendance à perdre une partie de leur N par volatilisation.

3) Pratiquer la culture sans labour. Pour être efficace, cette technique doit être utilisée lorsque la production de biomasse est développée au maximum, afin de maintenir l'approvisionnement en nutriments et une bonne structure du sol. Les systèmes qui produisent une biomasse abondante peuvent demeurer très productifs durant des décennies, comme l'a déjà démontré une série complète de systèmes d'ev/cc et d'agroforesterie.

Il arrive souvent que la culture sans labour ne puisse être pratiquée durant la première ou les deux premières années de la transition. Mais les populations d'organismes qui labourent naturellement le sol augmentent rapidement à mesure que les niveaux de matière organique s'élèvent et que les sols sont maintenus couverts. (Des scientifiques ont montré, par exemple, qu'à eux seuls les lombrics peuvent déplacer plus de terre/ha/année qu'un labourage effectué avec une charrue à socs et versoirs tirée par un tracteur.) (Minnich)

Dans les manuels d'agriculture conventionnelle, la culture sans labour est identifiée à une augmentation importante de l'utilisation d'herbicides. Cependant, si le sol est maintenu couvert par l'utilisation d'ev/cc et de techniques agroforestières adéquates, la plupart des petits paysans auront rarement besoin d'utiliser des herbicides.

Le labourage endommage la structure du sol et accroît le taux de décomposition de la matière organique. Il expose également le sol (c'est-à-dire qu'il viole le principe du maintien du sol couvert) et enlève ou incorpore le paillis, ce qui viole le cinquième principe décrit ci-dessous.

4) Développer au maximum la biodiversité. Ce principe est important surtout pour maintenir la viabilité à long terme du système. Il peut aussi être très important pour maintenir un équilibre entre les nutriments requis selon le concept de l'accès aux nutriments (Primavesi).

5) Amender les cultures en déposant les engrais autant que possible sur le paillis. De nombreux sols des milieux tropicaux humides ne sont pas très favorables pour les racines des cultures à cause de leur pH bas (en-dessous de 5,0), de la toxicité de l'aluminium et des couches de terre compactée. Les cultures pousseront souvent beaucoup mieux si elles peuvent également avoir accès à des nutriments présents dans une épaisse litière ou couche de paillis. La plupart des racines nourricières se répandront probablement juste sous la couche de paillis ou à l'intérieur de celle-ci **à la condition qu'elle demeure assez humide.** L'impact des engrais chimiques peut également parfois être beaucoup plus important si ceux-ci sont appliqués sur le paillis plutôt que directement sur le sol.

L'alimentation des plantes à travers le paillis aide à compenser la mauvaise structure du sol ou les conditions moins qu'idéales pour la croissance racinaire. Dans les sols pauvres, si les nutriments se trouvent à la surface du sol, les plantes y auront un meilleur accès.

Des petits paysans et des ONG ont développé une série de techniques simples et peu coûteuses pour améliorer l'accès des plantes aux nutriments durant la période de transition. Par exemple, Edwin Asante, de Vision mondiale/Rwanda, a développé une version du « semis de précision » de la pomme de terre pour petites exploitations. Une boule de 8 cm de diamètre faite de matière organique, de chaux et d'environ un quart de la quantité normalement recommandée d'engrais chimiques est placée à moins de 0,5 cm directement sous la semence. Les rendements obtenus dans des sols très pauvres avec un pH de 3,5 atteignent 20 t/ha en moyenne, comparativement à 9 t/ha sans l'application de cette technique d'ensemencement de précision (communication personnelle lors d'une visite terrain). Au Honduras, Elías Sánchez a développé un type de labourage en bande ou de labourage uniquement à l'intérieur des rangs (appelé localement « labourage minimum » ou « labranza mínima ») qui concentre la matière organique dans les rangs de culture, où elle est plus accessible.

Ces cinq principes correspondent exactement à ce que font naturellement les forêts tropicales humides, lesquelles parviennent à maintenir leur « productivité » élevée durant des millénaires, même sur des sols avec une CEC très basse. La forêt tropicale humide développe au maximum la production de biomasse et la biodiversité, maintient le sol couvert en tout temps et alimente ses plantes dans une grande mesure à travers la litière de déchets végétaux. Et il va sans dire qu'aucun être humain n'est tenu de labourer la forêt pour qu'elle continue de produire une végétation luxuriante et verte, durant des siècles et des siècles.

Effets additionnels de l'application du concept d'accès aux nutriments

Nous sommes en mesure de prévoir que l'application du concept de fertilité du sol axée sur l'accès aux nutriments produira deux résultats importants.

1) Un optimisme croissant en ce qui concerne la situation des paysans pauvres. En appliquant le concept de l'accès aux nutriments, même les paysans ayant des sols très épuisés devraient pouvoir accroître substantiellement leurs rendements moyennant un très faible investissement, de meilleures connaissances et l'adoption de nouvelles techniques agricoles. Les ev/cc offrent de l'azote à un bien meilleur prix que les usines d'engrais chimiques, alors que la culture sans labour et les cultures de couverture peuvent pratiquement éliminer l'avantage comparatif des tracteurs.

2) Une agriculture durable. En appliquant les pratiques susmentionnées, l'agriculture mondiale deviendra bien plus durable. L'utilisation réduite des engrais chimiques aura pour effet d'accroître la durabilité (et de réduire la pollution des eaux souterraines et des cours d'eau, les déséquilibres de nutriments et l'acidification des sols). Ces effets positifs sur l'environnement proviendront également de la production accrue de biomasse, de la couverture du sol, de la matière organique et de la biodiversité, ainsi que d'une utilisation moins grande de combustibles fossiles de plus en plus coûteux.

Une version non abrégée de cet article, avec des références complètes, est disponible sur demande (20 pages, en anglais seulement).

Bibliographie choisie

Ahn, Peter Martin (1993) *Tropical Soils and Fertilizer Use*, Essex, Longman Group UK Ltd.

Buckles, Daniel, *et al.* (1998) *Cover Crops in Hillside Agriculture, Farmer Innovation with Mucuna*, Ottawa, Canada, International Development Research Centre (IDRC) and International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT).

Bunch, Roland (2001) "A Proven Technology for Intensifying Shifting Agriculture, Green Manure/Cover Crop Experience Around the World," et "Achieving the Adoption of Green Manure/Cover Crops," deux textes présentés à la Conférence de l'International Institute for Rural Reconstruction (IIRR's) sur "Best Practices in Shifting Agriculture and the Conservation of Natural Resources in Asia," tenue du 14 au 26 août 2000 à Silang, Cavite, Philippines. Les deux textes devaient être publiés par l'IIRR.

Bunch, Roland and Gabino López (1995) *Soil Recuperation in Central America, Sustaining Innovation after Intervention*, Gatekeeper Series No. 55, London, International Institute for Environment and Development (IIED).

Cresser, Malcolm, *et al.* (1993) *Soil Chemistry and its Applications*, Cambridge, Royaume-Uni, Cambridge University Press.

Minnich, Jerry (1977) *The Earthworm Book, How to Raise and Use Earthworms for Your Farm and Garden*, Emmaus, Pennsylvanie, Rodale Press.

Mosher, A. T. (1971) *To Create a Modern Agriculture, Organization and Planning*, New York, Agricultural Development Council, Inc.

Pretty, Jules et Rachel Hine (2000) *Feeding the World with Sustainable Agriculture, A Summary of New Evidence*, Colchester, Royaume-Uni, University of Essex.

Primavesi, Ana (1982) *Manejo Ecológico del Suelo, La Agricultura en Regiones Tropicales, Quinta Edición*, Buenos Aires, Librería "El Ateneo" Editorial.

Uphoff, Norman (2000) "How Can 'The Biological Maximum' for Rice be Exceeded? Possible Explanations for the High Yields Observed with the System of Rice Intensification (SRI)," version préliminaire, papier imprimé.

Young, Anthony (1989) *Agroforestry for Soil Conservation*, Oxon, Royaume-Uni, CAB International.