

Ingénierie écologique des sols : quelles perspectives pour réhabiliter des sols dégradés ?

Fiche **QUESTIONS SUR...** n° 07.05.Q07

2019, révisée en février 2025

Mots clés : sol, ingénierie écologique, restauration, décompaction, désalinisation

Les ressources en sol sont essentielles pour le bien-être humain, et de façon plus générale pour toute vie terrestre. Le caractère limité de ces ressources et l'accroissement de la dégradation des sols à l'échelle mondiale militent pour réhabiliter des sols dégradés, y compris sur de grandes surfaces et avec des moyens limités.

Les méthodes de restauration de la qualité des sols mettant en œuvre des approches d'ingénierie écologique se développent, car elles se veulent sobres en moyens techniques et financiers et s'adaptent aux contextes pédoclimatique et socioéconomique locaux.

Quels sont les concepts associés à cette ingénierie écologique des sols ? Quels exemples réussis de mise en œuvre de démarche d'ingénierie écologique des sols ? Derrière la diversité des approches, y a-t-il des invariants dans les fondements des techniques mises en œuvre ?

Les enjeux de la restauration des sols

Les processus de dégradation des sols sont divers et peuvent être d'ordre physiques (compaction, érosion, imperméabilisation, drainage), chimiques (acidification, salinisation, contamination) ou biologiques (perte de matière organique, réduction de la biodiversité). Ces processus, qui pour certains sont d'origine naturelle, sont dans la plupart des cas initiés ou accélérés par l'activité humaine. Cette dégradation des sols conduit à une réduction des services écosystémiques qu'ils peuvent rendre, à la fois en termes de produits issus des sols, mais aussi de services de régulation et de services culturels.

Même si elles sont imprécises, les évaluations existantes considèrent que de l'ordre de 30 % des surfaces terrestres sont soumises à une forme sévère de dégradation des sols et que cette dégradation s'est amplifiée au cours des dernières décennies, notamment en raison de la pression accrue sur les sols induite par la croissance démographique. Pour endiguer cette évolution négative, la *Conférence des Nations-Unies* de 2012 a fixé un objectif d'arrêt de la dégradation nette des terres dans le monde à échéance de 2030.

Un tel objectif ne peut se concevoir que si – parallèlement à une politique de prévention et de conservation des sols – se mettent également en place des mesures de restauration ou de réhabilitation de sols, qui puissent reconquérir la qualité des sols à un niveau adapté aux services écosystémiques visés ; par exemple, la restauration de la fertilité des sols agricoles, afin de contribuer à la sécurité alimentaire.

Le concept d'ingénierie écologique

L'ingénierie écologique est un concept introduit au début des années 1960, qui intègre écologie et sciences pour l'ingénieur. *"Elle est conçue comme une manipulation de l'environnement par l'homme, en utilisant de faibles apports supplémentaires d'énergie pour contrôler des systèmes dans lesquels les principaux apports viennent toujours de sources naturelles¹".* Elle peut être définie comme l'application des principes de l'écologie pour la gestion et le contrôle des écosystèmes, en s'appuyant sur les sources d'énergie renouvelables.

Si l'ingénierie écologique regroupe des approches diverses, elle développe en matière de restauration de la qualité des sols une stratégie assez universelle :

- réduire les processus d'érosion et de contamination des sols par des polluants ;
- accroître la biodiversité dans les sols ;
- augmenter les processus rhizosphériques ;

¹ E. ODUM, 1962.

- rendre positif le bilan *entrées-sorties de carbone* dans le sol ;
- améliorer la biodisponibilité des éléments nutritifs.

Il s'agit de bloquer les processus de dégradation en cours et d'enclencher une spirale positive permettant d'améliorer progressivement le fonctionnement des sols.

La mise en œuvre de cette stratégie implique *a minima* l'apport de matières organiques et l'implantation d'un couvert végétal. Elle peut conduire à l'introduction d'organismes, modifiés ou non, (par exemple : microorganismes et plantes), mais cette approche s'éloigne des principes de l'ingénierie écologique qui privilégie le fonctionnement naturel des écosystèmes.

Trois exemples de restauration des fonctions des sols dégradés sont présentés :

- 1) la restauration des sols compactés ;
- 2) la phyto-désalinisation ;
- 3) la création de sols fertiles.

Ces procédés sont soit déjà utilisables de façon opérationnelle, soit encore en cours de mise au point ou d'optimisation.

1 - La restauration des sols compactés

La compaction des sols se manifeste par une diminution de la porosité des sols, qui peut être générée par des processus naturels, par exemple par l'action de la pluie à la surface du sol ; elle est souvent amplifiée par des tassements liés aux passages d'engins lourds. Si la compaction atteint une valeur critique, l'ensemble des fonctions des sols sont affectées, car l'activité biologique, l'enracinement des plantes et le stockage et le transfert de l'eau dans le sol sont réduits. La solution classique pour restaurer des sols compactés réside dans le labour en surface et le sous-solage pour les horizons profonds. Mais ces techniques sont exigeantes en énergie, peuvent avoir des effets négatifs sur la vie biologique et la teneur en matière organique des sols, et ne peuvent s'appliquer partout.

La solution préconisée par l'ingénierie écologique est d'activer la vie biologique des sols pour recréer une porosité d'origine biologique, notamment par l'action de la macrofaune du sol (vers de terre, termites, etc.) et du système racinaire des plantes. La mise en œuvre concrète de cette activation biologique prend des formes très diverses, par exemple à travers la suppression du labour pour favoriser la biomasse lombricienne, ou encore l'implantation de couverts de graminées avec des systèmes racinaires puissants. Le suivi de la porosité des sols a permis de montrer que l'activité des vers de terre est capable, en milieu tempéré, de restaurer une macroporosité dans des sols compactés, à des échéances de l'ordre de quelques mois voire d'années (Figure 1).

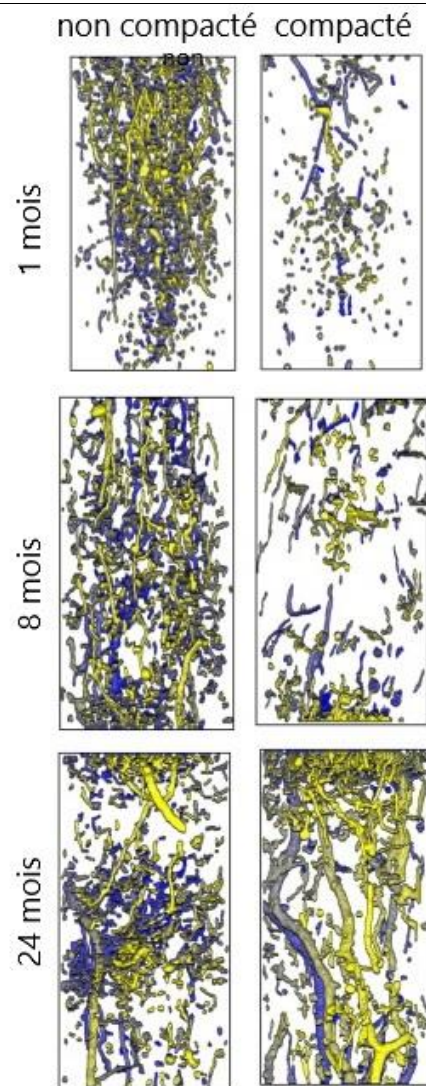


Figure 1. Evolution de la macroporosité du sol liée à l'activité des vers de terre dans un sol limoneux compacté. Les colonnes de sol sont prélevées en zones compactée et non compactée et analysées par tomographie aux rayons X à 1, 8 et 23 mois après le tassement (d'après Capowiez et al., 2012)

En milieu tropical, des systèmes traditionnels (*Figure 2*) – fondés sur l'activation de la vie biologique dans les sols par apport de matière organique – ont été réactualisés et ont montré leur capacité à régénérer de façon durable la structure des sols.



Figure 2. Mise en œuvre de la pratique du Zai en Côte d'Ivoire pour réhabiliter des sols compactés. La technique consiste à enfouir des résidus végétaux dans des poquets pour activer l'activité de termites et augmenter la macroporosité des sols (photo du Pr. S. Konate, Nangui Abrigoua, Côte d'Ivoire)

2 - La phyto-désalinisation des sols

La salinisation des sols est un processus d'accumulation de sels solubles dans les sols, qui menace environ un tiers des terres irriguées dans le monde. Il s'agit d'un processus majeur de dégradation des sols dans le monde, car il limite fortement la croissance des plantes et met donc en danger la sécurité alimentaire des populations. Les approches classiques de remédiation des sols salés sont fondées sur des apports d'amendements calcaires solubles (de type gypse) ou sur des lixiviations en profondeur des sels par des apports importants d'eau non salée. Ces approches ne sont pas applicables dans certains contextes, en raison de leur coût ou de leur inefficacité ; c'est particulièrement le cas dans les zones irriguées des bords de la vallée du fleuve Niger (Niger), développées sur des vertisols très argileux dont la très faible conductivité hydraulique à saturation rend inefficace l'approche par lixiviation.

Sur ces vertisols salés et irrigués du Niger, une méthode par phyto-désalinisation a été développée en s'appuyant sur une plante fourragère locale à forte production de biomasse (*Figure 3*), qui présente la particularité d'être tolérante aux sels, de posséder un système racinaire puissant et de bien s'inscrire, du fait de son intérêt économique, dans les systèmes de production en alternance avec la culture de riz.

Contrairement à d'autres méthodes de phyto-épuration développées pour dépolluer des sols, l'objectif principal n'est pas ici d'exporter le sel à travers la biomasse, mais d'améliorer les propriétés physiques du sol, notamment de conductivité hydraulique, pour permettre une lixiviation en profondeur des sels.

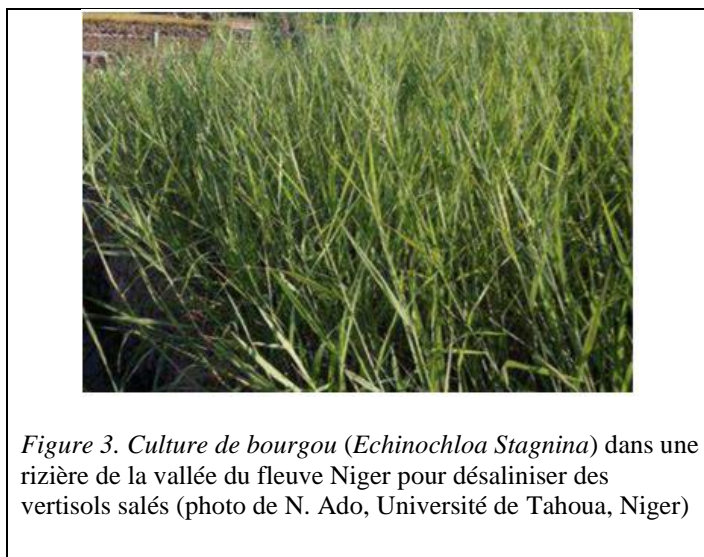


Figure 3. Culture de bourgou (Echinochloa Stagnina) dans une rizière de la vallée du fleuve Niger pour désaliniser des vertisols salés (photo de N. Ado, Université de Tahoua, Niger)

Des essais au champ et en laboratoire ont montré une baisse importante de la salinité, de l'ordre de 60 % à 90 % des stocks de sel initiaux, induite pour une part de l'ordre de 80 % par une amélioration des propriétés physiques des sols permettant une lixiviation en profondeur des sels.

De telles approches de phyto-désalinisation se développent dans des pays où les ressources en eau sont limitées, et ont montré leur efficacité pour abaisser la salinité des sols ; mais les plantes retenues doivent s'adapter au contexte pédoclimatique et au système de production local.

3 - La création *de novo* de sols fertiles

Dans des situations où les sols naturels ont disparu (du fait de l'urbanisation par exemple) ou ont été trop fortement pollués pour être réhabilités, la question de la construction *de novo* de sols pouvant assurer des services écosystémiques se pose avec acuité : comment recréer des sols permettant une production de biomasse (généralement non alimentaire), mais assurant également d'autres fonctions de régulation environnementale (filtre, réserve en eau, stockage de carbone, support de biodiversité) ? Et cela de préférence

en mobilisant des matières premières secondaires, afin de réduire la consommation de terre végétale prélevée sur les sols naturels ?

À cette fin, des techniques de construction de technosols mobilisant des composts de déchets et des sous-produits (par. ex. composts, boues de papeteries, terres industrielles traitées) ont été conçues (*Figure 4*) pour permettre :

- l'implantation d'un couvert végétal dans un horizon de surface riche en matière organique,
- puis le développement du système racinaire dans des horizons profonds assurant des fonctions de stockage d'eau et de nutriments.

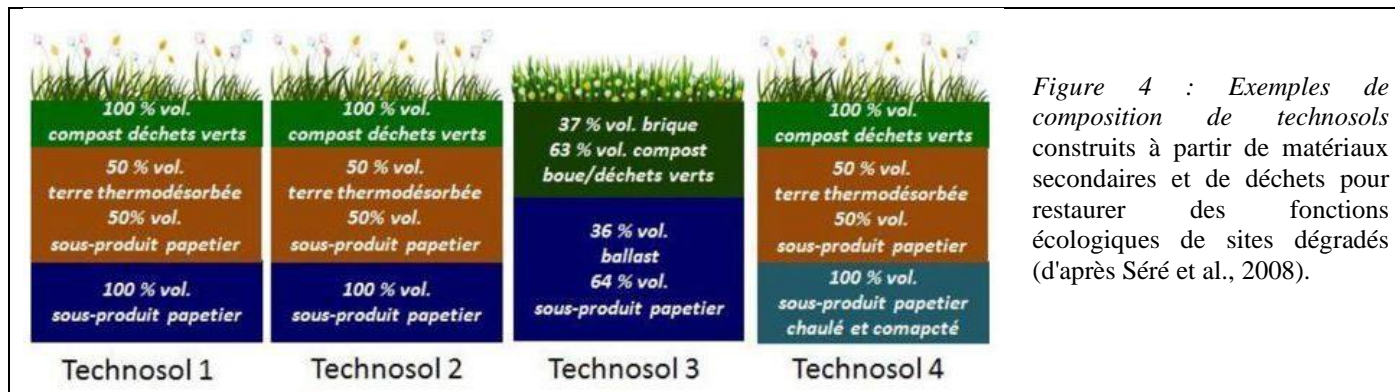


Figure 4 : Exemples de composition de technosols construits à partir de matériaux secondaires et de déchets pour restaurer des fonctions écologiques de sites dégradés (d'après Séré et al., 2008).

Le suivi sur plusieurs années de ces technosols construits montre :

- qu'ils sont très vite aptes à supporter un couvert végétal,
- et que des processus rapides de pédogenèse s'y développent, permettant à ces sols artificiels d'assurer des services écosystémiques, notamment de stockage de carbone et de support de biodiversité.

Christian WALTER, membre de l'Académie d'Agriculture de France

Ce qu'il faut retenir :

La prise de conscience des ressources limitées en sols et l'importance de leur dégradation nécessitent de développer une ingénierie écologique spécifiquement dédiée à la restauration des sols.

Parce qu'il a été appréhendé comme un simple matériau, le sol a souvent fait l'objet de procédés fortement mécanisés ou à forts intrants qui ne prenaient pas en compte ses propriétés et fonctions fondamentales. Ce n'est que récemment que de nouveaux procédés, s'appuyant sur une compréhension plus fine des processus écologiques dans les sols, ont été développés.

Cette nouvelle orientation est appelée à se développer, car elle permet de restaurer des surfaces importantes et respecte les fonctions des sols ou, au moins, contribue à les réhabiliter. Le développement de ces méthodes se heurte néanmoins aux limites de nos connaissances et nécessite un investissement important de la communauté scientifique, afin de développer des procédés de restauration des sols qui répondent aux enjeux actuels.

Pour en savoir plus :

- https://fr.wikipedia.org/wiki/Régression_et_dégradation_des_sols