

**2. Les milieux entre protection et gestion**

**22. Milieux naturels terrestres**

**2.2.1 Différents milieux**

**2.2.1.1 Sols et sous-sols**

# Sols et Développement durable

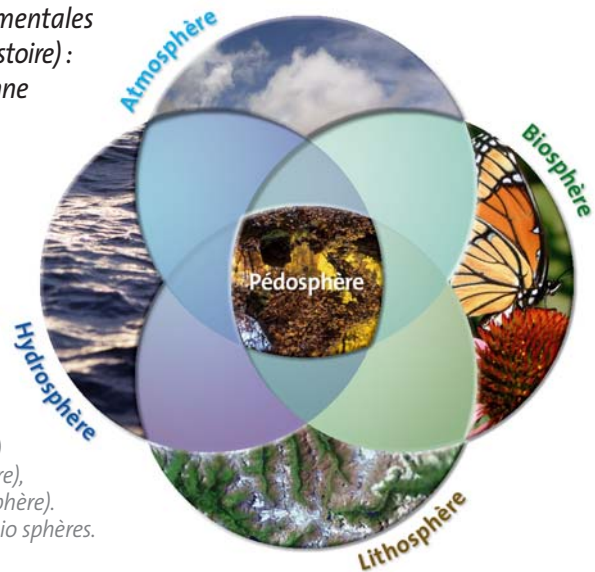
**Résumé**

*Les sols assurent des fonctions fondamentales (alimentation, filtre, biologie, matériau, support, histoire) : il n'y a pas de développement durable sans une bonne gestion des sols. Et pourtant les sols vont mal : ils*

*sont de plus en plus fortement sollicités par les activités humaines ; ces activités se concurrencent, générant des conflits d'usage et de graves dégradations des sols ; ces dégradations se répercutent sur les autres milieux : biodiversité, cycle et qualité de l'eau, composition de l'air ... sont modifiés, le tout portant atteinte à la santé et au comportement des sociétés humaines.*

*Le sol (pédosphère) se fait à partir des roches (lithosphère) sous l'action de l'air (atmosphère), de l'eau (hydrosphère) et de la vie (biosphère).*

*La pédosphère est située à l'intersection des litho, atmo, hydro et bio sphères.*



**Mots clés :** sols, pollution et déchets, sécurité alimentaire, érosion, agenda 21.

**L'auteur**

**Alain Ruellan** est Professeur émérite (science du sol) de l'École nationale supérieure agronomique de Rennes - Ancien directeur de l'Orstom (aujourd'hui IRD, Institut de recherche pour le développement), du Programme environnement du CNRS (Centre national de la recherche scientifique) et du CNEARC (Centre national d'études agronomiques des régions chaudes). Ancien président de l'Afes (Association française pour l'étude du sol) et de l'IUSS (International Union of Soil Science).

2 bd Berthelot, 34000 Montpellier - [ruellan@agropolis.fr](mailto:ruellan@agropolis.fr)

**L**e sol est ce milieu naturel terrestre où naît la vie, animale et végétale ; c'est également le milieu où se termine la vie.

Le sol est une mince couche de "terre" (quelques centimètres à quelques mètres), située entre la roche et l'atmosphère. Le sol se fait à partir des roches, sous l'action de l'air, de l'eau et de la vie (cf. figure) : les sols sont donc très divers, distribués en fonction des reliefs, des roches, des végétations, des climats ... et, de plus en plus, des activités humaines.

Naturellement, le sol se constitue lentement : c'est une ressource lentement renouvelable. Le sol est cependant très sensible aux activités humaines : il se transforme très vite,

et en particulier se dégrade rapidement, dès que les sociétés humaines interviennent sans précautions.

Par rapport au monde, par rapport à la vie en général et, plus particulièrement, par rapport aux besoins et à la santé des sociétés humaines, le sol remplit un certain nombre de fonctions fondamentales.

- **La fonction alimentaire.** Le sol nourrit le monde ; il produit, contient, accumule, tous les éléments nécessaires à la vie (azote, phosphore, calcium, potassium, fer, oligo-éléments ...) y compris l'air et l'eau. Le sol joue le rôle de garde-manger, plus ou moins grand et plus ou moins rempli selon les cas. Les sociétés humaines, qui se nour-

rissent des plantes et des animaux, sont donc bien totalement dépendantes des sols (alimentation et santé).

- **La fonction filtre.** Le sol est un milieu poreux, en permanence traversé par des flux hydriques et gazeux. De ce fait, le sol transforme, épure ou pollue, les eaux qui le traversent : il régule le régime des cours d'eau et le remplissage des nappes souterraines ; il en influence la composition chimique et biologique. Mais aussi, le sol influence la composition de l'atmosphère ; en particulier, il stocke et relâche les gaz à effet de serre (il y a jusqu'à 3 fois plus de carbone dans le sol que dans la végétation qui le recouvre).
- **La fonction biologique.** Le sol est lieu de vie, de passage obligé, pour de nombreuses espèces animales et végétales ; de nombreux cycles biologiques passent par le sol, incluent le sol, qui est donc partie prenante de nombreux écosystèmes. Le sol est une vaste réserve génétique : il abrite et influence une grande partie de la biodiversité terrestre. Par ailleurs, les activités biologiques sont essentielles à la construction des sols, à leurs fonctionnements et à leurs fertilités. La vie fait le sol ... et le sol fait la vie.
- **La fonction matériau et support.** Le sol fournit les matériaux que l'homme utilise pour construire et pour ses activités industrielles et artisanales. Il contient des ressources minérales (or, aluminium, fer ...). Il supporte les habitats et les infrastructures liées aux activités et aux loisirs des sociétés humaines.
- **La fonction mémoire.** Le sol conserve les traces de l'histoire, souvent très longue (plusieurs millions d'années), de sa formation : en étudiant les sols on peut découvrir quelles furent certaines des conditions climatiques et biologiques du passé. Mais aussi, le sol conserve les témoins de l'histoire de l'humanité.

Au total, au même titre que l'air et que l'eau, le sol est une ressource naturelle essentielle à la vie : il n'y a pas de développement durable sans une bonne gestion de la ressource sol.

Or, du fait des activités humaines, du fait des mauvaises relations actuelles entre les sols et les sociétés humaines, les sols vont mal, partout dans le monde ... et les sociétés aussi. Pourquoi? en quoi est-ce dangereux ?

La question qu'il faut en fait se poser est la suivante : quelle est la situation actuelle des relations sols - sociétés et des difficultés et conflits que cela génère ou pourrait générer ?

Par rapport à cette question, il y a sept groupes de constats.

## 1. Dans le monde entier, les sols sont de plus en plus fortement, de plus en plus violemment, sollicités par les activités humaines.

Il y a :

- intensification de l'agriculture sur les sols déjà cultivés, avec volonté d'augmenter de plus en plus artificiellement la productivité des sols ;

- mise en culture de nouvelles surfaces, dans de mauvaises conditions, sans tenir compte de la diversité des potentialités et des fragilités des sols (par exemple en zones de forêts équatoriales) ;
- développement excessif des pâturages, qui souvent prennent la suite des cultures sur les sols de moindre fertilité et sur les sols dégradés ;
- développement excessif des plantations forestières, souvent au détriment des écosystèmes naturels ;
- urbanisation et industrialisation, souvent sur de très bons sols agricoles (par exemple autour des villes et le long des fleuves et rivières) ; développement des axes de transport (rail, route, aéroport ...) ; le tout détruit les sols et imperméabilise les surfaces ;
- épandage de déchets, agricoles, industriels, urbains, sur des surfaces de plus en plus grandes ;
- développement des espaces consacrés aux loisirs.

## 2. Ces différentes activités se développent et se concurrent, sans tenir compte de la diversité des sols, de leurs fonctions, de leurs aptitudes.

On fait rarement attention aux "vocations" des sols par rapport aux divers types d'utilisateurs. Ces concurrents débouchent alors sur des conflits, locaux et internationaux :

- **Conflits d'usage, d'accès aux sols** : par exemple, conflits dans la périphérie des grandes agglomérations (conflits entre agriculteurs, industriels, habitats, voies de circulation ...) ; autre exemple, conflits pour les besoins de la production alimentaire mondiale = que fera-t-on des bons sols des zones forestières équatoriales et boréales ? que fera-t-on des bons sols des régions arides et désertiques ? qui décidera de ces choix qui concernent l'équilibre écologique mondial ?



© Alain Ruellan (1979)

*A la périphérie d'une ville en pleine croissance, conquête d'excellentes terres agricoles par la construction d'immeubles d'habitations (Algérie, Oran, climat méditerranéen semi-aride).*

- **Conflits en conséquence de l'utilisation inadaptée des sols, conduisant à la dégradation des sols** : les activités humaines, en se développant, influencent, transforment le milieu sol, font pression sur lui : les sols sont modifiés, dans leurs propriétés, dans leurs potentiels, dans leurs fonctions ; et, plus grave

encore, ces modifications des sols affectent aussi les autres milieux qui sont en relation avec les sols : l'eau, l'air, les animaux, les végétaux, les sociétés humaines.

### 3. En effet, partout dans le monde, les exemples de sols gravement modifiés, endommagés sont nombreux.

En particulier, suite à l'utilisation agricole inadaptée, il y a, au sein des sols, développement excessif :

- des appauvrissements (biologiques, organiques, minéraux) ;
- des destructions de structures et des tassements qui affectent les porosités ;
- de l'érosion, de la sédimentation, des glissements de terrain ;
- de la salinisation et de l'alcalinisation ;
- de l'acidification ;
- des pollutions (minérales, organiques, radioactives).

Au total :

- les fertilités des sols baissent ;
- leurs fonctions fondamentales ne sont plus assurées ;
- la vitesse de fabrication des sols se ralentit ;
- les vitesses et les orientations des principaux processus de formation et de différenciation des sols sont modifiées (altération des roches, arrangement et mouvements des constituants ...).



© Alain Ruellan (2005)

*Erosion des sols, provoquée par le tassement des sols en conséquence d'une mauvaise gestion des pâturages (Brésil, Etat de Minas Gerais, climat tropical d'altitude).*

Et il y a aussi :

- la croissance des villes et bidonvilles, des complexes industriels et touristiques ;
- l'intensification des réseaux pour les transports ;
- la construction de barrages hydroélectriques ;
- le développement de l'exploitation de ressources minérales superficielles.

Tout ceci soustrait annuellement, sans espoir de retour,

## **Les sols et la sécurité alimentaire**

*L'évaluation des potentialités d'un sol vis-à-vis de la production agricole est possible : il y a des sols plus riches, plus fertiles, que d'autres. On peut établir, du seul point de vue du sol, dans son cadre climatique et de relief, quels sont, à différentes échelles, les ensembles de sols les plus riches et ceux les plus pauvres.*

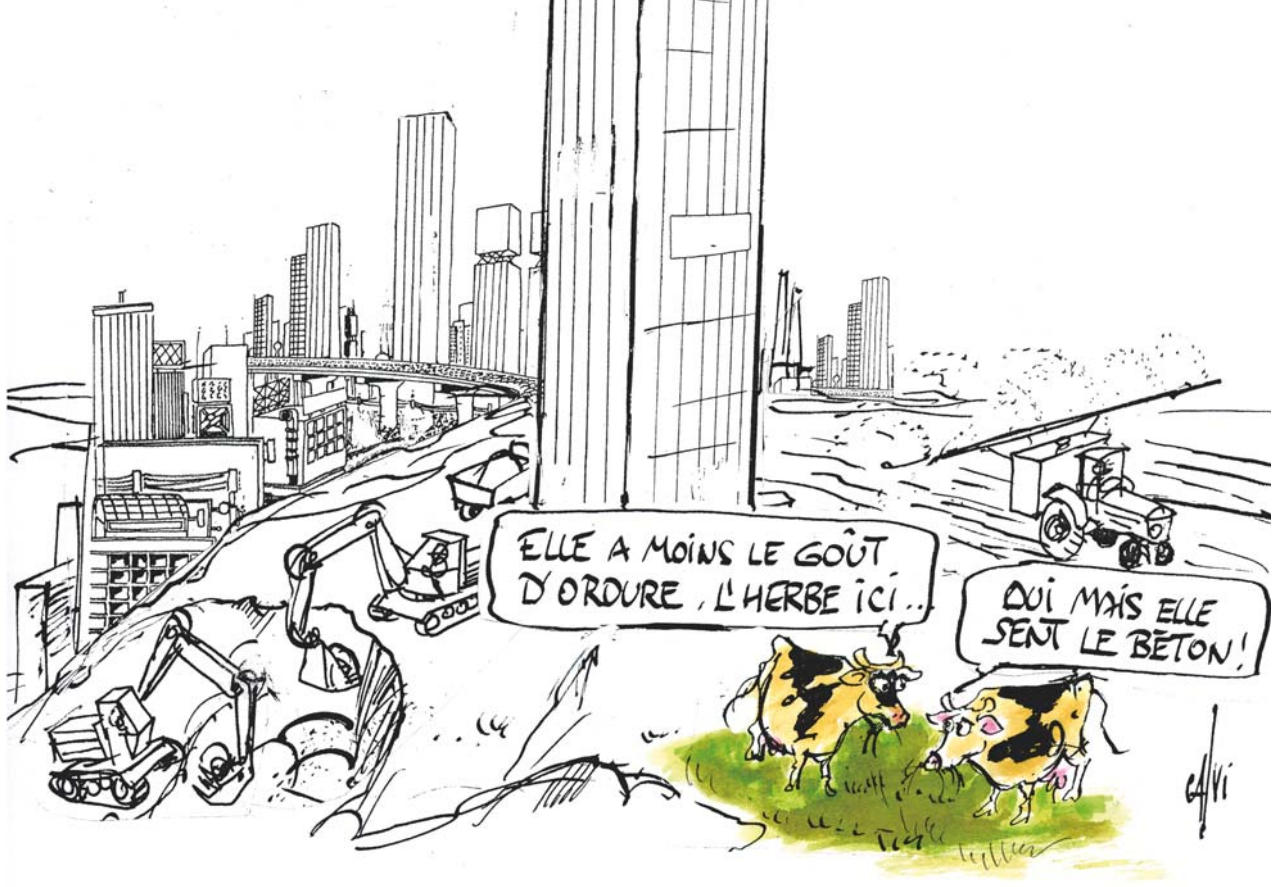
*Cependant, les potentialités des sols dépendent aussi de facteurs humains : principalement la densité de la population rurale et son histoire. Tous les sols du monde peuvent produire correctement, mais cela coûte plus ou moins cher (investissements en travail humain et en techniques).*

*Pour toutes sortes de raisons (de coût, d'accessibilité, d'équilibre écologique mondial), de nombreuses régions du monde cultivables, ne le sont pas pour l'instant, et ne le seront probablement jamais : déserts (par manque d'eau) ; forêts (parce qu'il faut les conserver ou privilégier d'autres types d'usages) ; marécages ... Il est important de discuter de ce que l'on doit raisonnablement considérer comme non accessible à la production agricole (ce qui ne veut pas dire inaccessible à la production alimentaire : en Amazonie la forêt est source importante d'aliments). Par ailleurs, les changements climatiques vont probablement libérer de nouvelles surfaces cultivables, mais pas forcément à cultiver (Nord de l'Europe, de la Sibérie, du Canada).*

**Les choix politiques et économiques mondiaux sont fondamentaux :**

- *Si l'on favorise la concurrence mondiale, le prix unique quel que soit le lieu de production, on assiste à une concentration de la production alimentaire là où les conditions économiques de production sont les plus compétitives (ce qui ne veut pas dire que les sols y sont les plus riches). Cela réduit, considérablement, les surfaces cultivables et cela rend la majorité des pays dépendant alimentairement de quelques pays : c'est une situation explosive (telle celle provoquée par la répartition mondiale de la production du pétrole). La qualité des produits, dont la diversité dépend de celle des sols, est également touchée.*
- *L'autre choix politique est celui de la production alimentaire à proximité des consommateurs : mais pour cela il faut protéger l'agriculture, payer plus cher les produits agricoles, de façon à favoriser les petits exploitants agricoles se donnant le mal de cultiver tous les sols, partout où cela ne conduit pas à des dégradations locales et mondiales dangereuses.*

*Au total, si le marché respecte les coûts de production, l'étendue des sols cultivables pour l'alimentation s'accroît considérablement : le problème est alors de savoir ne pas cultiver n'importe quoi et n'importe comment, mais de savoir produire durablement en respectant les équilibres écologiques et sociaux, locaux, régionaux et mondiaux.*



plusieurs dizaines de milliers d'hectares, de surfaces souvent très fertiles et dont les fonctions ne sont plus assurées.

Toutes ces dégradations des sols sont, souvent, le résultat des conditions et des choix économiques locaux et internationaux : en particulier, la pauvreté et le productivisme (qu'il soit capitaliste ou collectiviste) sont les principaux responsables des dégradations des sols.

Rappelons cependant que les sociétés humaines ont aussi su améliorer, voire construire les sols dont elles avaient besoin : construction de terrasses, aménagement de polders, épierrage, transferts de grandes quantités de matières organiques et d'amendements ... Bien des sols fertiles sont le produit du travail des sociétés humaines : les agriculteurs mais aussi, dans les villes, les jardiniers.

#### 4. En conséquence aussi, les autres milieux sont touchés.

En effet, l'évolution anthropique des sols porte aussi atteinte :

- à la biodiversité qui se transforme et s'appauvrit ;
- au cycle de l'eau qui devient plus violent (crues, inondations, sédimentations aval) et qui se raccourcit (l'eau est moins disponible pour les besoins humains) ;
- à la qualité des eaux qui se polluent, chimiquement et biologiquement, localement et latéralement (l'eau est encore moins disponible pour les besoins humains) ;
- à la qualité de l'air qui se pollue et, en particulier, qui s'enrichit en gaz à effet de serre (gaz carbonique, méthane) ;
- à la fertilité des milieux par rapport aux activités humaines : beaucoup de milieux s'appauvrissent,

voire sont abandonnés (désertification) ; mais il y a aussi des milieux qui s'enrichissent grâce aux activités humaines ;

- au total à la santé et au comportement des sociétés humaines, au travers de ce qu'elles mangent, boivent, respirent ... et vivent au quotidien.

En résumé, on voit clairement toute l'importance des relations entre l'évolution des systèmes de sols et celle des systèmes sociaux :

- les sols évoluent vite et beaucoup en fonction directe des activités humaines : cette influence anthropique sur les sols s'est beaucoup accentuée depuis un siècle ;
- les transformations pédologiques d'origine anthropique influencent fortement l'évolution des autres milieux : l'atmosphère (donc les climats), l'hydrosphère, la biosphère ;
- en retour l'évolution des sols est influencée par l'évolution des autres milieux : les changements climatiques, par exemple, vont dégeler d'immenses surfa-



Aménagement des pentes en terrasses de culture : ce travail permet d'épaissir les sols, de les irriguer et de les travailler plus facilement. (France, Lozère, climat méditerranéen humide).

© Alain Ruelan (1990)

ces, en inonder d'autres, aridifier les bordures désertiques, déplacer les ensembles pédoclimatiques ...

Tous les sols du monde sont aujourd'hui anthropisés.

## 5. Les sols, malgré leur rareté, sont aujourd'hui utilisés de manière non renouvelable par nombre de sociétés humaines.

La deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle fut particulièrement désastreuse : dans les pays capitalistes comme dans les pays communistes, les développements à marche forcée, agricoles, industriels, urbains, sont très destructeurs des sols et de leurs fonctions ; par ailleurs, dans les pays pauvres, c'est la misère qui contraint à la destruction des sols et de leurs fonctions vitales.

La responsabilité de cette situation revient grandement aux choix économiques et techniques du monde moderne qui ne tiennent pas compte des diversités naturelles et humaines : le "tout partout pareil" est la loi !

Cependant, s'il y a peu de choses faites concrètement pour atténuer les dégradations des sols et pour améliorer la situation des sols déjà fortement dégradés, c'est en grande partie aussi par ignorance, dans toutes les sphères de la société, de ce qu'est le sol et pourquoi il est nécessaire d'en préserver les fonctions. Producteurs, techniciens, administrateurs et politiques participent de cette ignorance qui prend ses racines dans l'absence de toute découverte des sols dans le cadre de l'école. Le sol fait peu partie des cultures populaires : le sol est peu et mal connu. De ce fait, la gestion durable des sols ne fait que peu partie des préoccupations prioritaires (au même titre que la gestion de l'eau, des animaux et des végétaux, de l'air), de la population, des responsables politiques, administratifs, techniques ... des propriétaires. Il faut en particulier souligner le faible niveau de connaissances dans le domaine des sols de la plupart des agronomes et de la plupart des environmentalistes : beaucoup d'ingénieurs raisonnent l'agriculture et l'aménagement du territoire en donnant la priorité aux techniques et aux conditions économiques et en oubliant les diversités concernant les milieux naturels et les sociétés humaines.

Tout cela pose, en définitive, la question de l'éducation concernant les sols : le problème étant, à la fois, celui de l'existence même de l'enseignement (pratiquement absent des écoles et des lycées, peu présent dans l'enseignement supérieur), et celui de la pédagogie de cet enseignement : le sol doit être enseigné en tant que milieu naturel.

A l'avenir, pour l'utilisation renouvelable des sols, les progrès techniques doivent retrouver les voies de la diversité des milieux et des sociétés, de la diversité des relations entre les sols et les hommes. Mais pour cela, il faut les connaître.

Le progrès technique peut beaucoup faire pour améliorer le fonctionnement et la productivité des sols en fonction des besoins des sociétés humaines ; à condition cependant de ne pas perdre de vue que les sols, leurs propriétés et leurs fonctions, doivent se mainte-

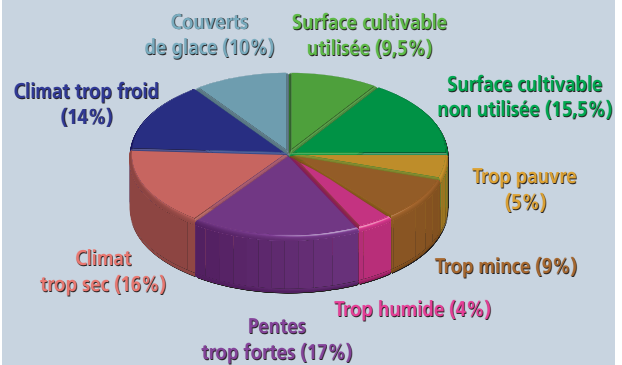
### Quelques données

(d'après Michel Robert et Pierre Stengel 1999<sup>1</sup> et FAO 2000<sup>2</sup>)

#### Surface des sols cultivables :

3,8 milliards d'hectares, soit 25% de la surface des terres émergées.

38% seulement de cette surface cultivable est actuellement utilisée.



Les sols non cultivables sont ceux qui sont : trop pauvres (5%), trop minces (9%), trop humides (4%), sur des pentes trop fortes (17%), sous climat trop sec (16%), sous climat trop froid (14%), couverts de glace (10%).

Cette situation peut évoluer : par le développement de l'irrigation des sols trop secs et du drainage des sols trop humides ; par le réchauffement climatique qui libère des sols actuellement trop froids, mais aussi qui aridifie de nombreuses régions et qui provoque l'inondation des deltas ; par l'aménagement des pentes trop fortes ... Par ailleurs, tous les sols cultivables ne seront pas cultivés : car ils sont et seront utilisés pour d'autres fins (urbanisation, industrialisation ...) mais aussi par nécessité de conserver des milieux naturels tels les milieux forestiers.

#### Dégradation des sols :

1,214 milliard d'hectares sont atteints, soit près du tiers des surfaces cultivables.

L'Afrique (321 millions d'hectares) et l'Asie (452 millions d'hectares) sont les continents les plus atteints. En Europe, 158 millions d'hectares sont touchés par un ou plusieurs phénomènes de dégradation.

<sup>1</sup> Michel Robert et Pierre Stengel, 1999 : "Sols et agriculture : ressource en sol, qualité et processus de dégradation. Une prospective mondiale, européenne et française". in Cahiers Agricultures, vol. 8, n° 4, p. 301-308.

<sup>2</sup> FAO, 2000 : "Land resource potential and constraints at regional and country levels". World Soil Resources Report n° 90, 113 p.

nir et se renouveler, à leurs rythmes qui varient d'un sol à l'autre, d'une propriété à l'autre, d'une fonction à l'autre. Il faut, en particulier, être attentif à ne jamais couper le sol de ses sources : la roche qui s'altère, la vie qui le fabrique, l'eau et l'air qui permettent à la fois l'altération et la vie ; il faut savoir utiliser les sols aux rythmes de leur renouvellement, rythmes dont la diversité est grande.

## 6. Un point délicat : celui de la propriété et de la valeur du sol.

Doit-on légiférer sur le sol en tant que ressource naturelle peu renouvelable, indispensable à la vie, dont la préservation est indiscutable ? Certes oui, mais comment faire, sachant que le sol est à la base même de tout ce qui concerne la propriété foncière, privée et publique (ce qui n'est pas le cas ni pour l'eau ni pour les ressources minières du sous-sol).

Le propriétaire qui dégrade son sol dégrade aussi, par circulation latérale de l'air, de l'eau et de certains constituants (polluants, sédiments), les sols voisins et les eaux de l'aval ; il contribue également à la pollution atmosphérique. Dans le domaine des sols, comme dans d'autres domaines, la propriété privée devrait donc être encadrée. Peu de pays l'ont fait jusqu'à présent : en Europe, l'Allemagne et la Suisse. Un projet de convention mondiale est en cours de débat ... mais n'avance pas ...

Par ailleurs, le sol a une valeur économique. En milieu agricole, cette valeur dépend, en partie, des fertilités et des potentialités, donc de certaines des propriétés intrinsèques des sols. Mais en milieu périurbain, d'autres facteurs entrent en jeu : ressources en eau, risques

hydrologiques, proximité des services, pollutions ... ; le sol devient alors plus une surface qu'un volume, plus un support qu'un milieu de vie. Et on paiera plus cher une surface bien située qu'un volume agronomiquement fertile.

## 7. La faible perception de l'importance des sols pour l'avenir des sociétés, se traduit dans les agendas 21.

L'Agenda 21 de 1992 n'avait pas oublié la question des sols : voir, en particulier, les chapitres 2 (Approche intégrée de la planification et de l'aménagement des ressources en terres) et 4 (Aménagement des écosystèmes fragiles : combattre la désertification et la sécheresse) de la section II (Conservation et aménagement des ressources pour le développement).

Cependant, pour ce qui est de la France, dans les Agendas 21 locaux comme dans les divers types de plans d'occupation des sols, la prise en compte de la diversité des fonctions des sols, de leurs qualités et de leurs défauts, des dégradations en cours, reste faible. Par exemple, malgré l'existence de données élaborées concernant les sols, les SCOT (Schéma de Cohérence Territoriale) n'en tiennent pas compte : en particulier, les sols y sont définis par les utilisations qui en sont faites et non par ce qu'il sont.

En Europe, des pays comme l'Allemagne et la Suisse sont nettement plus conscients de l'importance des sols. Par ailleurs, il faut souligner le réveil de la Commission Européenne : depuis quelques années, la bonne gestion des sols devient progressivement une priorité.

Alain Ruellan

### Pour en savoir plus

- Duchaufour, P., 2001. *Introduction à la science du sol : sol, végétation, environnement*. Dunod, Paris. 331 pp.
- FAO, 2000. *Land resource potential and constraints at regional and country levels. World Soil Resource Report n° 90*. 113 pp.
- Girard, M.C., Walter, C., Berthelin, J., Rémy, J.C., Morel, J.L. (Eds.), 2005. *Sols et environnement*. Dunod, Paris. 832 pp.
- Lahmar, R., Ruellan, A., Dosso, M. (Eds.), 2002. *Sauver nos sols : 16 propositions pour sauvegarder nos sociétés*. Editions Charles Léopold Mayer, Paris. 126 pp.
- Lal, R., (Ed.), 2002. *Encyclopedia of Soil Science*. Marcel Dekker, New York. 1476 pp.
- Robert, M., 1996. *Le sol : interface dans l'environnement, ressource pour le développement*. Masson, Paris. 244 pp.
- Ruellan, A., Dosso, M., 1993 et 1998. *Regards sur le sol*. Foucher et Aupelf, Paris. 192 + 63 pp.
- Stengel, P., Gelin, S. (Eds.), 1998. *Sol, interface fragile*. INRA éditions, Paris. 214 pp.
- Van-Camp, L., Bujarrabal, B., Gentile, A.R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Olazabal, C., Selvaradjou, S.K., 2004. *Reports of the Technical Working Groups established under the Thematic Strategy for Soil Protection*. EUR 21319 EN/1, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. 872 pp.