

# Atteintes et protection qualitatives des sols suisses

J.-Cl. Védy(\*) et J.-P. Clément (\*\*)

\* École Polytechnique Fédérale de Lausanne . DGR, IATE-pédologie . CH 1015 Lausanne

\*\* Office Fédéral de l'Environnement . des Forêts et du Paysage . Hallwylstrasse 4 . CH 3003 Berne

## RÉSUMÉ

Les sols suisses sont, comme la majorité des sols mondiaux, soumis à des atteintes quantitatives, une réduction de surface par extension des ouvrages construits, et à des atteintes qualitatives liées à des processus de pollution par les métaux lourds et les pesticides, de même qu'à des mécanismes de déstabilisation voire de destruction structurale dont les manifestations les plus évidentes sont l'érosion hydrique.

Face à ces problèmes la Confédération suisse a mis sur pied un ensemble de mesures administratives et juridiques dont la Loi Fédérale sur la Protection de l'Environnement représente la base essentielle à partir de laquelle se sont élaborées diverses Ordonnances d'application. Conjointement la Confédération, aidée en cela par les Cantons, a favorisé les études scientifiques et techniques sur le sol.

## Mots clés

Sol, protection, pollution, Suisse.

## SUMMARY

### IMPACT AND PROTECTION OF THE SOIL IN SWITZERLAND

*Swiss soils, like the greatest part of the soil throughout the world, is subject to quantitative effects, a reduction of surface due to the extension of construction, and to qualitative effects linked to pollution processes resulting from heavy metals and pesticides; it is also subject to destabilisation mechanisms and even to structural destruction as most obviously evidenced by rainfall erosion.*

*To cope with these problems the Swiss Confederation has established a set of administrative and legal devices, the most instrumental of which are the Federal Law on the Protection of the Environment and several enforcement Ordinances deriving from it. Likewise the Federal Government, assisted by the Cantons, has promoted scientific and technical studies on the soil.*

## Key words

*Swiss soil quality protection, qualitative effects, heavy metals, erosion.*

Les sols de la Suisse sont, au plan des atteintes qualitatives, menacés, à l'image de ce qui se passe un peu partout sur cette planète. Les menaces ont pour nom «pollution» et «érosion». Face à ces atteintes les études scientifiques et techniques sur le sol se développent. Conjointement des mesures juridiques se mettent en place.

L'objectif de cet article est de faire le point sur ce qui se fait en Suisse en cette matière.

## LES ATTEINTES QUALITATIVES

### La pollution des sols par les métaux lourds

#### Charge des sols

L'observation de la charge des sols en métaux lourds se limite aux éléments mentionnés dans l'OSOL (Ordonnance sur la pollution du sol, 1986); en premier lieu le plomb, le cadmium, le cuivre et le zinc; en second lieu le nickel, le chrome, le cobalt et le mercure; finalement, le thallium, le molybdène et le fluor. Ce classement par priorité tient compte de l'importance physiologique de l'élément telle qu'elle est mentionnée par Scheffer et Schachtschabel (1989). Une distinction conceptuelle est faite entre «origine géogène» et «apports anthropogènes» des métaux lourds dans le sol; dans la pratique, toutefois, certaines situations demeurent, à cet égard, très complexes comme nous le montre, notamment, l'étude sur le cadmium en cours de réalisation dans la région de la Chaux-de-Fonds (NE) (Dubois *et al.* comm. pers.). Les connaissances sur la charge en métaux lourds des sols suisses reposent sur les résultats des analyses effectuées par seize cantons, la Station Fédérale de Recherches en Chimie Agricole et sur l'Hygiène de l'Environnement (FAC) de Liebefeld (BE), l'Institut Fédéral pour l'Aménagement, l'Épuration et la protection des Eaux (EAWAG) de Dübendorf (ZH), les Écoles Polytechniques Fédérales (Zürich, Lausanne), les Universités cantonales de Genève (UNIGE) et de Zürich (UNI-ZH), de même que par certains bureaux privés d'ingénieurs.

Le procédé de traitement des données mis au point par Voegel *et al.* (1989) tient compte de la teneur en métaux lourds dans les couches 0-20 cm et 60-80 cm; six critères d'emplacement déterminés selon l'utilisation et la situation géographique ont été utilisés pour la couche 0-20 cm.

Enfin, chaque fois que cela est possible, une distinction est effectuée entre teneur totale en métaux lourds (extrait  $\text{HNO}_3$ ) et teneur soluble (= éléments présents dans la solution du sol et facilement échangeables) ( $\text{NaNO}_3$  pour les métaux,  $\text{H}_2\text{O}$  pour le fluor).

Pour les sols suisses, les valeurs les plus fréquentes mesurées dans la couche 60-80 cm (considérée comme faiblement atteintes par les pollutions anthropogènes) sont résumées dans le tableau 1 tel qu'il figure dans le document de Meyer (1991).

Ces valeurs apparaissent tout à fait conformes aux données bibliographiques et, en particulier, aux données de Hindel et Fleige (1990) mentionnées dans Meyer (préc. cit.) et concernant des sols d'Allemagne.

Tout en notant avec Sticher *et al.* (1991) que les valeurs mesurées dans la couche 60-80 cm ne peuvent être interprétées comme la charge initiale de la couche 0-20 cm avant toute contamination anthropogène, une comparaison de ces valeurs avec celles mesurées dans la couche 0-20 cm nous amène aux conclusions suivantes:

#### Teneurs totales

Les valeurs seuils mentionnées dans l'OSOL (tabl. 2) sont dépassées dans les sols de grandes cultures, de cultures spécifiques (vigne notamment) et de forêts. En règle générale les dépassements sont observés, en moyenne, à 1 emplacement de prélèvement sur 10. Toutefois une fréquence de dépasse-

**Tableau 1** - Teneurs les plus fréquentes en métaux lourds mesurées dans la couche 60-80 cm des sols suisses (extrait de Meyer 1991).

*Table 1 - Trace metals normally found in the deep 60-80 cm layers of the swiss soils.*

Substance	Nombre de valeurs	min-max (80%) en mg/kg
Plomb	320	9.9 - 19.2
Cadmium	327	0.12 - 0.29
Chrome	79	26 - 65
Cobalt	46	10.2 - 17.5
Cuivre	328	9.6 - 26.9
Molybdène	44	0.4 - 2.4
Nickel	340	20 - 63.4
Zinc	329	27.6 - 58.1

**Tableau 2** - Valeurs indicatives d'immission pour les métaux lourds et teneurs normales.**Table 2** - Indicative values for heavy metals immissions and normal contents.

Élément		Valeurs indicatives Osol	Plage (80 %) de fréquence					
			Sol (mg/kg)			Sous-sol (mg/kg)		
Plomb	Pb	50	16	(24)	38	10	(10)	19
Cuivre	Cu	50	6	(18)	35	6	(13)	25
Cadmium	Cd	0,8	0,11	(0,23)	0,49	0,05	(0,13)	0,24
Zinc	Zn	200	35	(53)	89	20	(38)	62
Nickel	Ni	50	6	(22)	40	8	(25)	43
Chrome	Cr	75	13	(25)	38	10	(21)	37
Cobalt	Co	25	3	(5,7)	10	3	(6,1)	10
Mercure Hg	0,8	0,06	(0,10)	0,19	3	(6,1)	10	
Fluor	F	400	234	(457)	715	250	(465)	695
Thallium	Tl	1	-	-	-	-	-	-
Molybdène	Mo	5	-	-	-	-	-	-

( ) médiane

Sol = 0-20 cm

Sous-sol = horizons C ou BC

ment plus élevée est notée pour certains éléments comme le cadmium, le fluor, le cuivre et le nickel et parfois le zinc. Ces observations sont à relier à des situations bien particulières d'apports anthropogènes. Célardin (1990) mentionne, par exemple, et pour les sols du canton de Genève, que les teneurs en cuivre sont trop élevées dans les vignes (entre 160 et 200 mg/kg pour des valeurs indicatives OSOL fixées à 50 mg/kg); alors que les teneurs élevées en chrome et en nickel à Satigny et Dardagny, (deux petites localités du canton de Genève) sont liées à la fois à des pollutions anthropogènes et à des contaminations géogènes (présence de roches vertes dans le sous-sol).

#### Teneurs solubles

Elles confirment largement les indications fournies par la mesure des éléments totaux bien qu'une certaine prudence d'interprétation devrait s'instaurer à cet égard (Coullery comm. pers.).

#### Flux

Les apports d'origine atmosphérique et les apports de substances liées aux pratiques agricoles représentent les intrants principaux pour la contamination anthropogène des sols suisses par les métaux lourds.

Nous ne développerons pas cet aspect en priant le lecteur de se référer, pour plus de détails, à la synthèse effectuée par Meyer (1991).

On rappellera toutefois ici les conclusions des travaux de Gsponer (1991). Dans son travail cet auteur a comparé le temps nécessaire pour que des sols de prairie considérés comme non pollués par référence aux normes de l'OSOL atteignent, suite à différents apports d'amendements organiques et d'engrais minéraux, les valeurs seuils de cette même ordonnance. Le même calcul a été effectué en prenant en compte les dépositions atmosphériques et les valeurs limites de déposition stipulées pour les précipitations de poussière et fixées par l'ordonnance sur la protection de l'air (Opair, 1986).

Les résultats sont intéressants en ce sens qu'ils montrent qu'il faudrait de l'ordre de 60 à 230 ans pour le cadmium, 60 à 260 ans pour le cuivre, 50 à 470 ans pour le plomb et 90 à 460 ans pour le Zn, pour que les effets conjugués de la pollution de l'air et de boues d'épuration (valeurs basses), de la pollution de l'air et d'un mélange de purin de bovin et de boues d'épuration (valeurs hautes) amènent à un dépassement des valeurs seuils définies dans l'OSOL.

## Bilans

Les études sur ce thème sont encore fragmentaires. Les travaux de Von Steiger et de Baccini (1990) effectués pour six substances dans les sols agricoles du Bünztal inférieur, petite vallée du canton d'Argovie (CH) montrent toutefois que les sols accumulent le plomb, le cuivre, le zinc, et, pour une certaine part, le cadmium, suite à des apports anciens dont la nature reste encore indéterminée. Ainsi, les apports annuels de cuivre (en g. par ha et par an) pourraient être compris dans la fourchette 270-800, ceux de zinc, entre 1 000 et 3 800, ceux de cadmium entre 2,4 et 13, ceux de plomb, enfin, entre 200 et 460. Dans le même temps, les exportations par drainage profond et/ou érosion seraient si faibles qu'elles permettraient une accumulation annuelle de 180-760 g./ha/an de Cu, 700-3'700 de Zn, 0,4-12 de Cd et 140-450 de Pb.

Il faut donc, à l'image des conclusions de Von Steiger et Baccini (préc. cit.), admettre avec eux que les sols suisses s'enrichissent, avec le temps, en métaux lourds et qu'une telle perspective vaut également pour les sols du Plateau suisse.

«Si l'on en reste aux excédents que l'on connaît actuellement, alors les valeurs indicatives fixées pour les teneurs en cuivre et en zinc (OSOL 1987) atteindront les taux d'accumulation maximum (minimum) tels qu'ils ont été évalués dans environ 70 (durée minimale) 400 ans (durée maximale)». (Meyer, préc. cit.).

## Érosion des sols suisses

L'érosion hydrique naturelle des sols est estimée comme étant, en Suisse, inférieure à 0,03 mm/an (hauteur moyenne de sol érodé pour l'ensemble des couvertures pédologiques étudiées). Les pratiques culturales, toutefois, sont à l'origine, depuis une vingtaine d'années environ, d'une recrudescence de l'érosion hydrique. L'extension des surfaces agricoles utiles, l'augmentation des surfaces cultivées en maïs, un recours accru au machinisme agricole, une gestion parfois inadéquate du stock humique et, pour finir, un accroissement de la superficie moyenne des parcelles (1,13 ha en 1980, 2,0 ha en 1987) représentent les causes majeures d'une aggravation des exportations de matière par le ruissellement.

Les sols agricoles ne sont toutefois pas les seuls à être affectés par l'érosion hydrique. Les sols viticoles, largement installés, pour des raisons climatiques, sur des pentes fortes, seraient largement érodés si une mesure de lutte anti-érosive majeure, la culture en terrasse, n'avait été recommandée dès l'origine. Malgré cela, les pluies orageuses emporteraient, par année et pour des pentes de 20%, de l'ordre de 10 à 15 tonnes de matière par ha. Sur les quelques 11 000 ha de vignes plantées en Suisse romande, 6 000 ha seraient menacés d'érosion même si l'entre-ligne, disposé perpendiculairement aux courbes de niveau, fait l'objet d'enherbement ou de protection de type «mulch» (Mosiman et al 1991).

L'érosion des sols de prairie grasse est également fréquente. Machinisme et compaction des sols, défaut de stabilisation des pentes par des associations végétales pauvres en espèces, représentent les deux causes majeures de ce type d'atteinte.

Consécutivement à ces érosions, des pertes de rendement de l'ordre de 10% sont concevables (même si l'on ne dispose pas encore de données fiables à ce sujet). Par ailleurs, les impacts environnementaux sur les aquifères de surface, les lacs notamment, sont considérables.

L'érosion des sols cultivés suisses présente un certain nombre de spécificités :

- Elle affecte des surfaces plus ou moins grandes et peut se réaliser à n'importe quelle période de l'année;

- Les processus érosifs et, par conséquent, les formes de l'érosion, diffèrent en fonction de la saison. En hiver et au début du printemps, l'érosion frappe essentiellement des terres humides voire gelées; elle met en jeu non seulement la pluie mais aussi la fonte des neiges lorsqu'elle est, notamment, brutale. En fin de printemps, en été et au début de l'automne, l'érosion est liée aux épisodes orageux. En terme de bilan global des pertes en sol, l'érosion estivale pèse davantage que l'érosion hivernale;

- L'érosion en nappe prédomine sur l'érosion quasi-diffuse et sur l'érosion linéaire, cette dernière n'affectant que le 1/5 au 1/3 des terres érodées.

Les sols sur loess sont très érodibles mais, heureusement, rares (1% des sols cultivés) et strictement localisés au nord et au nord-ouest de la Suisse. 10 à 40% des surfaces cultivées du Plateau sont érodibles, ce pourcentage étant jugé comme considérable.

*L'érosion hydrique est-elle un problème important pour les sols suisses?*

Si l'on vise à une protection intégrale des couvertures pédologiques, la perte de sol ne doit pas dépasser - sur une durée définie - la masse de sol formée par la pédogenèse. Or cette néogenèse est faible et comprise entre 0,02 mm de sol par année pour le Jura calcaire et 0,1 mm de sol par année pour le Plateau et le Jura marneux. Elle est donc, dans tous les cas, inférieure aux pertes de sol par érosion hydrique.

Si l'on se fixe, par ailleurs, une profondeur utile pour les plantes d'au moins 70 cm, on doit constater que de très nombreux sols cultivés suisses présentent déjà une profondeur bien en deçà de cette limite.

Force est donc de constater qu'il est inutile d'énoncer des valeurs indicatives de tolérance pour les pertes en sol à l'échéance d'une durée «brève» c'est à dire inférieure au siècle. C'est pourquoi le calcul des valeurs de référence des pertes en sols "acceptables" s'est, pour le moment, calibré sur une période de 500 ans. Ainsi la perte annuelle en terre ne doit-elle pas dépasser une valeur qui, à supposer qu'elle demeure constante dans le temps, pourrait ramener, en 500

ans, la profondeur d'un sol en-dessous de l'épaisseur jugée minimale. Ce qui donne, par exemple, sur une période de 75 ans, une diminution de la profondeur de 1,2 cm pour une érosion de 2 t/ha/an, de 3,5 cm pour 5 t/ha/an et presque 6 cm pour 8 t/ha/an, cette dernière valeur étant estimée comme un maximum à ne jamais dépasser (Mosiman *et al*, préc. cit.).

## LES MESURES DE PROTECTION QUALITATIVE

La protection qualitative des sols en Suisse est récente.

Il y a dix ans, les sols n'étaient encore, pour ceux qui ne tiraient pas directement les fruits d'une production agricole, prairiale ou forestière, que des objets de spéculation immobilière, des supports à la construction et à des voies de communication.

Les délibérations parlementaires de 1983 concernant la Loi sur la Protection de l'Environnement (LPE) introduisent un concept neuf: la législation sur l'aménagement du territoire n'a de sens que si l'objet aménagé, en l'occurrence le sol, conserve ses propriétés intrinsèques, c'est à dire, ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Des dispositions sont donc ajoutées à la LPE visant à protéger le sol contre les atteintes provenant des pollutions atmosphériques, de l'emploi de substances dangereuses pour l'environnement (engrais, produits phytosanitaires) et des déchets (peu de données sont actuellement disponibles sur la pollution des sols suisses par les pesticides). Depuis lors, les Ordonnances sur la Protection de l'air (Opair), sur les substances dangereuses pour l'environnement (OSUBST), sur le traitement des déchets spéciaux (OTD) et sur les polluants du sol (OSOL) ont été édictées. Elles témoignent du souci majeur d'éloigner du sol le plus grand nombre possible de substances nocives.

Conjointement, l'étude du sol devient un objectif majeur de la Confédération, des Cantons et parfois même des Communes.

### Les trois piliers juridiques de la protection des sols

Le sol suisse est exposé à trois risques :

- une diminution des surfaces,
- une pollution par les métaux lourds et les pesticides,
- une dégradation par compaction et/ou érosion.

Le premier instrument de protection touche à l'aménagement du territoire. Il s'agit d'une protection quantitative dont la charge incombe au Département Fédéral de Justice. Cet instrument tient compte de la diversité des cinq régions géographiques de la Suisse (Jura, Plateau, Préalpes, Alpes et versant sud des Alpes), à la surface relativement réduite des sols

aptes à l'agriculture ou à la construction, à une densité moyenne de population assez élevée (165 hab./km<sup>2</sup>) essentiellement concentrée sur le Plateau (250 hab./km<sup>2</sup>). Rappelons aussi que la Suisse est au cœur de l'Europe "physique" ce qui implique un trafic de transit important et une position stratégique pour récupérer les flux polluants de l'Europe industrialisée.

Le second instrument de protection a trait à la Loi sur la Protection de l'Environnement ou LPE. Cette protection qualitative est sous la responsabilité du Département Fédéral de l'Intérieur.

Quant au troisième instrument, il appartient encore au domaine des «projets». Aucune législation fédérale n'existe, à ce jour, pour prévenir les sols d'une dégradation par compaction et/ou érosion (fig.1).

### Les principes de la protection qualitative (fig. 1)

Les dispositions applicables à la protection du sol visent à en conserver la fertilité à long terme. L'article 33 de la LPE autorise le Conseil Fédéral à fixer des valeurs indicatives pour évaluer les atteintes dues aux substances nocives non dégradables; ces valeurs indicatives sont mentionnées dans l'Ordonnance sur les polluants du sol (OSOL); lorsque ces valeurs sont dépassées un doute se manifeste sur la garantie d'une fertilité à long terme. La fertilité fait, elle même, l'objet d'une définition à l'article 2 de l'OSOL.

### Les perspectives de la protection qualitative (fig. 2)

L'OSOL et les études qui en ont découlé ont mis en évidence, au travers du constat que les sols suisses étaient pollués par les métaux lourds et, très probablement aussi par les micro polluants organiques, la nécessité d'observer - à moyen et long terme - l'évolution de la qualité des sols. Parallèlement, s'est imposée la nécessité de réduire les pollutions à la source et de contrôler l'efficacité de ces mesures législatives et techniques par des études portant sur les flux et sur les bilans des matières polluantes entre grands compartiments des écosystèmes planétaires. Conjointement, il est devenu nécessaire de développer les recherches sur l'utilisation des sols contaminés passant ou non par une remédiation; ceci en recherchant des indicateurs et, si possible, des bioindicateurs témoins de la pollution, de sa nature et des variations temporelles et spatiales de son intensité.

D'où la proposition de revoir la LPE.

Cette révision est en cours. Elle permettra de parachever le système des trois piliers juridiques.

Les deux principales nouveautés de la Loi sont les suivantes :

- Une disposition directement applicable exigeant que le sol ne soit pas soumis à une spéculation susceptible d'en altérer durablement les caractéristiques physiques, structurales notamment. La circulation des véhicules lourds dont la configu-

ration de roulage est susceptible de compacter le sol sera strictement réglementée voire, le cas échéant, interdite. Cette disposition ne s'applique pas au bétonnage des sols.

Les dégradations physiques doivent être estimées par anticipation à tous travaux. Des dispositions claires doivent être élaborées permettant à tous ceux qui sont susceptibles d'intervenir par voie mécanique sur le sol d'être informés du risque et de prendre les mesures qui s'imposent pour en limiter les effets. Un effort doit être porté sur la vulgarisation ainsi que sur la promotion des itinéraires techniques à faible impact sur le sol.

Le nouvel article 31b de la Loi sur l'Agriculture de 1992 est un exemple illustrant cette stratégie d'encouragement à une révision des tâches et des méthodes de l'agriculture suisse.

■ Une réglementation qui définit, de façon pragmatique, la manière de traiter les sols affectés par des pollutions diffuses ou ponctuelles anciennes. Les sols visés sont ceux qui, par exemple, se trouvent à proximité d'anciennes sources polluantes localisées à l'image de ce qui se passe à proximité

d'anciennes usines d'incinération ou d'autres types d'installations industrielles, voire même le long des axes routiers à fort trafic. N'en font pas partie les anciens sites industriels et les décharges rangées sous la rubrique «décharges désaffectées».

Une opération d'assainissement doit avoir pour objectif de restaurer les fonctions du sol qui ont été endommagées, d'écartier tout risque pour la santé de l'homme et des animaux, d'assurer la production de denrées alimentaires exemptes de substances nocives, de protéger les eaux souterraines et de permettre à la croissance végétale de suivre normalement son cours.

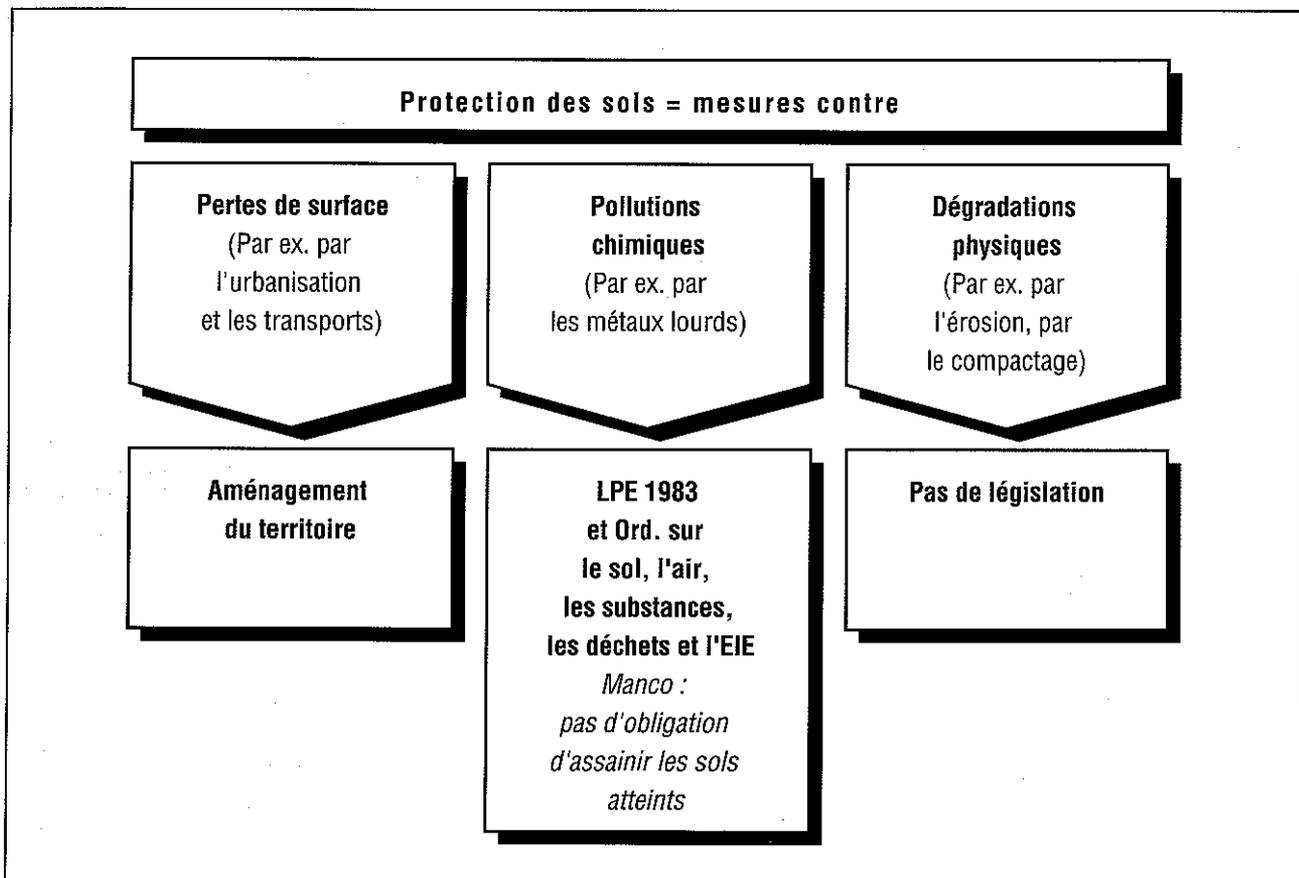
Pour satisfaire au principe de la proportionnalité, le projet présente également un concept d'assainissement à trois échelons :

■ aucune mesure particulière ne doit être prise quand les atteintes portées au sol demeurent inférieures aux valeurs indicatives de l'Ordonnance sur les polluants du sol (OSOL);

■ lorsque les atteintes dépassent ces valeurs il convient d'apprécier, au cas par cas, sur la base de l'affectation actuelle

**Figure 1 :** Législation concernant la protection des sols, état 1992.

**Figure 1 - Soil protection legislation (situation 1992).**



du sol, les risques qui en découlent pour la santé de l'homme, des animaux et des végétaux; si une situation de risque est établie, l'exploitation ou l'utilisation du sol doit être restreinte en conséquence;

■ lorsque, dans le cadre d'une utilisation horticole, agricole ou forestière, un sol ne peut plus être exploité conformément aux critères locaux, il convient de lui restituer un degré de fertilité minimum au moyen de mesures d'assainissement rigoureuses (comme, par exemple, le remplacement ou le «nettoyage» de la terre).

D'après la réglementation proposée les sols fortement atteints doivent être, autant que possible, laissés sur place. Mais leur utilisation sera réduite dans la mesure des exigences liées à la protection de la santé de l'homme, des animaux et des végétaux.

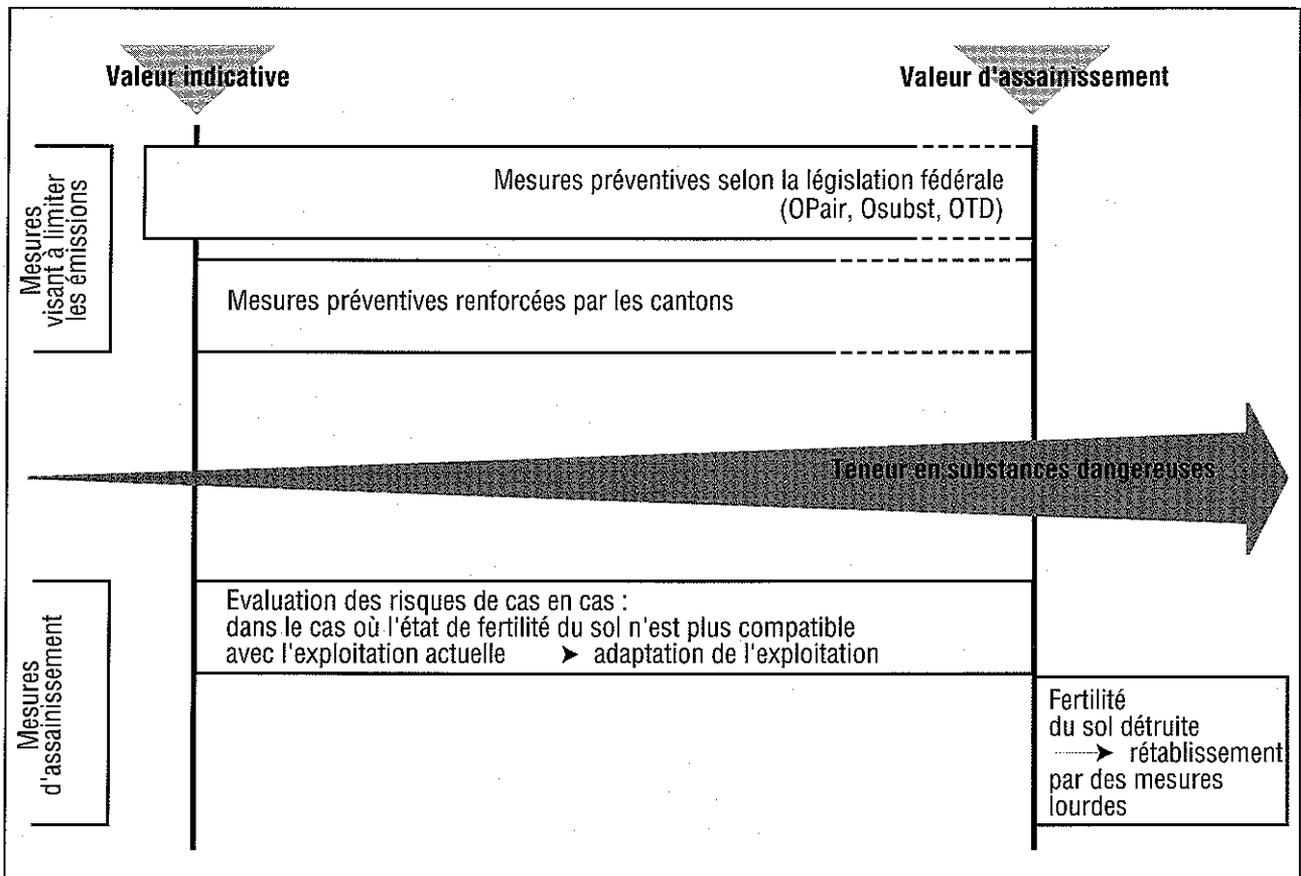
Il est bien évidemment admis, dans ces propositions, que les formules d'assainissement possibles ne sauraient rétablir le sol dans son état initial de fertilité. Il faut bien admettre que, dans la majorité des situations, l'assainissement sur place

d'une couverture pédologique polluée par des métaux lourds ou des micro polluants organiques se heurte, d'un côté, à des problèmes techniques complexes, et, de l'autre, à des problèmes économiques liés au coût prohibitif de l'intervention. Reste donc les solutions consistant à recouvrir le sol pollué par des couches de matériaux terreux voire à décaper et exporter les couches pédologiques affectées. Cette dernière solution n'est guère envisageable en Suisse; les zones de stockage sont rares et les «sources» de terre végétale non contaminée tout aussi rares et contrôlées en terme de déplacement; sans parler du coût de l'opération et des problèmes insolubles que de telles pratiques soulèveraient en terme d'environnement!

Dans le domaine des métaux lourds, la seule approche chimique (éléments totaux extraits par  $\text{HNO}_3$  comparés aux éléments solubles extraits par  $\text{NaNO}_3$ ) s'avère, d'ores et déjà, insuffisante. Des recherches sont en cours pour compléter cette approche. D'autres paramètres devraient être introduits pour mieux cerner les relations entre «caractéristiques de l'atteinte» et «caractéristiques du risque».

Figure 2 - Concept de la protection des sols.

Figure 2 - Soil protection concept.



## Recherche et développement dans le domaine de la protection qualitative

L'entrée en vigueur de la LPE a donné à la Confédération la possibilité de susciter et de soutenir des travaux de recherche sur l'environnement et le sol. Les recherches sur le sol sont comptabilisées à part des recherches sur les polluants chimiques; additionnés, ces deux ensembles représentent 18% des recherches sur l'environnement pour un nombre de projets répertoriés de 173 pour la période 1990-1992. Dans ces recherches les deux Écoles Polytechniques Fédérales et leurs stations de recherche tiennent une place privilégiée. Toutefois les Universités de Berne, de Zürich, de Genève, de Bâle, de Lausanne et de Neuchâtel sont très actives dans leur participation, notamment, aux programmes à caractère national. Les Offices Fédéraux mènent, par eux-mêmes, les travaux de recherche du secteur public ou les confient à des institutions de recherche. L'Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage (OFEFP) représente, à cet égard, l'organisation officielle la plus impliquée puisqu'elle a pour tâche, entre autres choses, la mise sur pied et la coordination d'un réseau suisse d'observation de l'environnement. Toutefois c'est la station de recherche de Liebefeld, dépendante de l'Office Fédéral de l'Agriculture (OFAG) qui gère, pour le compte de l'OFEFP, le Réseau National des Sols (Nationales Bodenbeobachtungsnetz = NABO). Le Fonds National suisse de la Recherche Scientifique (FNRS) a pour mission de soutenir à la fois des projets de recherche fondamentale dans le secteur Terre-Atmosphère et de gérer des Programmes Nationaux de Recherche (PNR) ou des Programmes Prioritaires (PP) sur l'environnement.

Cette liste des organisations impliquées dans les recherches sur l'environnement et le sol n'est, bien évidemment, pas exhaustive. Ceci témoigne toutefois de l'importance que la Suisse accorde à son environnement et, pour ce qui nous intéresse, à ses sols.

Bien que le "non" du peuple suisse à l'intégration de la Confédération dans l'Espace Économique Européen ait, depuis décembre 1992, quelque peu perturbé la participation helvétique aux nouveaux programmes scientifiques de la Communauté Européenne (CE), la participation acquise aux programmes en cours montre, par son nombre et sa diversité, l'importance que le pays accorde à la collaboration hors-frontière. Cette réflexion peut se consolider encore si l'on intègre à notre raisonnement les programmes mondiaux de recherche sur l'environnement: United Nations Environment Programme (UNEP) créé en 1972 à l'issue de la Conférence sur l'environnement à Stockholm, International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP), World Climate Research Programme (WCRP) etc.

*Le sol suisse est donc, désormais, mis sous "protection accrue".*

Cette protection nécessite, en premier lieu, l'adhésion du peuple à des principes de base: ceux-ci sont largement acquis et s'étendent, non seulement au sol, mais à l'environnement global. Le concept de "gestion patrimoniale" du sol dans l'optique d'un développement durable représente ainsi une priorité populaire tant et aussi longtemps que le contexte économique n'obligera pas à modifier, quelque peu, l'ordre de ces priorités.

Cette protection nécessite, ensuite, que la Confédération et les Cantons élaborent les bases législatives, administratives et juridiques, permettant une protection active effective des écosystèmes sol-végétation. Bien que le sol soit un bien privé et que, de ce fait, il occupe, dans le paysage culturel et politique suisse, une position socio-économique particulière, la LPE et les Ordonnances qui en sont issues, représentent bien cet outil, certes encore largement perfectible, avec lequel la Confédération et les Cantons peuvent travailler.

Cette protection nécessite, enfin, des structures de recherche scientifique et technique qui, qu'elles appartiennent à la Confédération, aux Cantons, aux collectivités locales ou au privé, doivent trouver au travers d'incitations multiples le soutien financier et moral à leurs travaux. Le sol, en particulier, se doit d'être intégré dans des recherches multi- et transdisciplinaires prenant en compte :

- L'écosystème dans ses relations avec les écosystèmes connectés au niveau, notamment, des flux de matière et d'énergie,

- Une redéfinition de la stratégie d'utilisation des ressources non et peu renouvelables,

- L'apprentissage (par la vulgarisation et par la post-formation) d'une conscience écologique génératrice de comportement et source pour des techniques nouvelles ménageant l'environnement,

- Le développement d'instruments performants pour la gestion de l'environnement. IL est tout à fait évident, aujourd'hui, que la connaissance scientifique des écosystèmes et du sol en particulier n'a jamais pu franchir complètement, au plan opérationnel s'entend, le seuil de l'indispensable. Le développement de l'informatique et la nécessité de "spatialiser" les données laissent espérer, pour un futur proche, une modification profonde des opinions et des comportements. Les Systèmes d'Information à Références Spatiales (SIRS) ou, plus simplement, les Systèmes d'Information Géographique (SIG) représentent, à cet effet, des outils prometteurs pour assurer une gestion optimisée des couvertures pédologiques.

## BIBLIOGRAPHIE

- Célarin F., (1990) - La question de la pollution des sols, Rev. Hort. Suisse, 63, (3), 58-61
- Directives pour l'estimation de la fertilité du sol, OFEFP et FAC, septembre 1991, Berne

- Gsponer R., (1991) - Bodenschutz im Kanton Zürich, Schwermetalle in Düngemitteln: ein Diskussionsbeitrag, Direktion der öffentlichen Bauten des Kantons Zürich, Amt für Gewässerschutz und Wasserbau, Fachstelle Bodenschutz
- Hindel R., Fleige H. (1990) - Geogene Schwermetallgehalte in Böden der Bundesrepublik Deutschland, in: Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Böden, Einträge Bewertung, Regelung, Teil 1, Verein Deutscher Ingenieure, Berichte 837, VDI Verlag, Düsseldorf
- Loi Fédérale sur la Protection de l'Environnement (LPE) - 7 octobre 1983
- Méthodes pour l'analyse des sols, FAC, décembre 1989 - cahiers de la FAC num. 5, Berne
- Meyer K., (1991) - La pollution des sols en Suisse, rapport thématique du programme national de recherche SOL, 242 pp, Liebefeld, Berne
- Mosiman T., Maillard A., Musy A., Neyroud J.-A., Ruettimann M., Weisskopf P., (1991) - Lutte contre l'érosion des sols cultivés, guide pour la conservation des sols, rapport thématique du programme national de recherche "Utilisation du Sol en suisse", 187 pp, Berne-Liebefeld
- Ordonnance sur la protection de l'air (Opair) - 16 décembre 1985
- Ordonnance sur les polluants du sol (OSOL) - 9 juin 1986
- Ordonnance sur les substances dangereuses pour l'environnement (OSUBST) - 9 juin 1986
- Ordonnance sur le traitement des déchets (OTD) - 10 décembre 1990
- Réseau National d'Observation des sols (NABO) - 1993
- Période d'observation, 1985-1991 - Cahiers de l'Environnement 200, publication de l'Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage (OFEFP)
- Scheffer F., Schachtschabel P., 1989 - Lehrbuch der Bodenkunde 12, neu bearbeitete Auflage, Enke Verlag Stuttgart
- Sticher H., Buehl H., Barmettler K., 1991 - Archäologische Grabungen im Dienste der Umweltforschung, Inst. für Terrestrische Oekologie, ETH Zürich (interner Bericht)
- Vogel H., Desaulles A., Haeni H., 1989 - Schwermetallgehalte in den Böden der Schweiz, Bericht 40 des Nationalen Forschungsprogrammes Boden, Liebefeld-Bern
- Von Steiger B., Baccini P. 1990 - Regionale Stoffbilanzierung von landwirtschaftlichen Böden mit messbarem Ein- und Austrag, Bericht 38 des Nationalen Forschungsprogrammes Boden, Liebefeld-Bern

