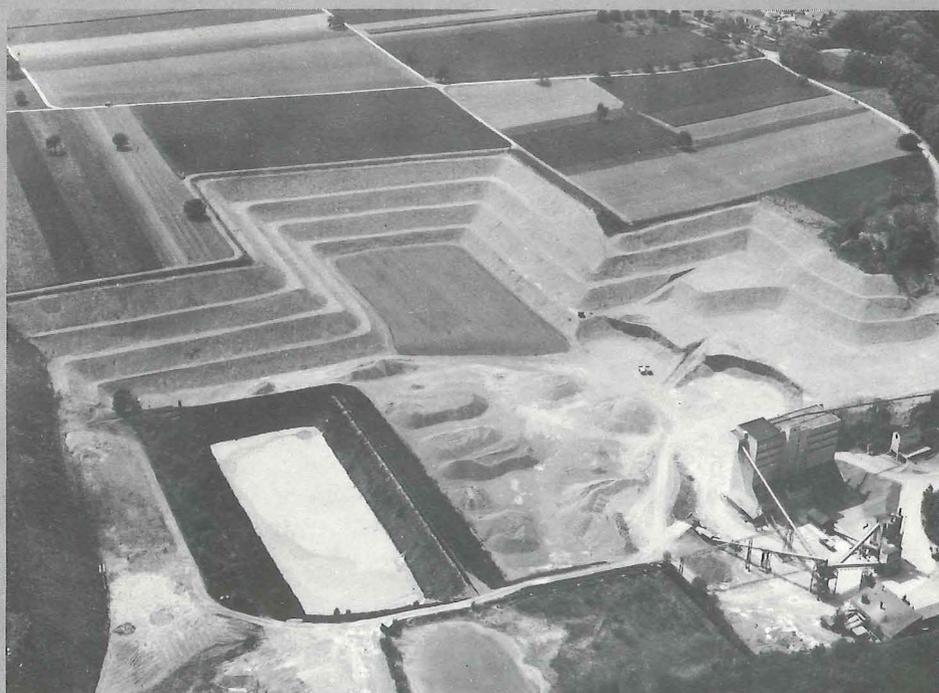
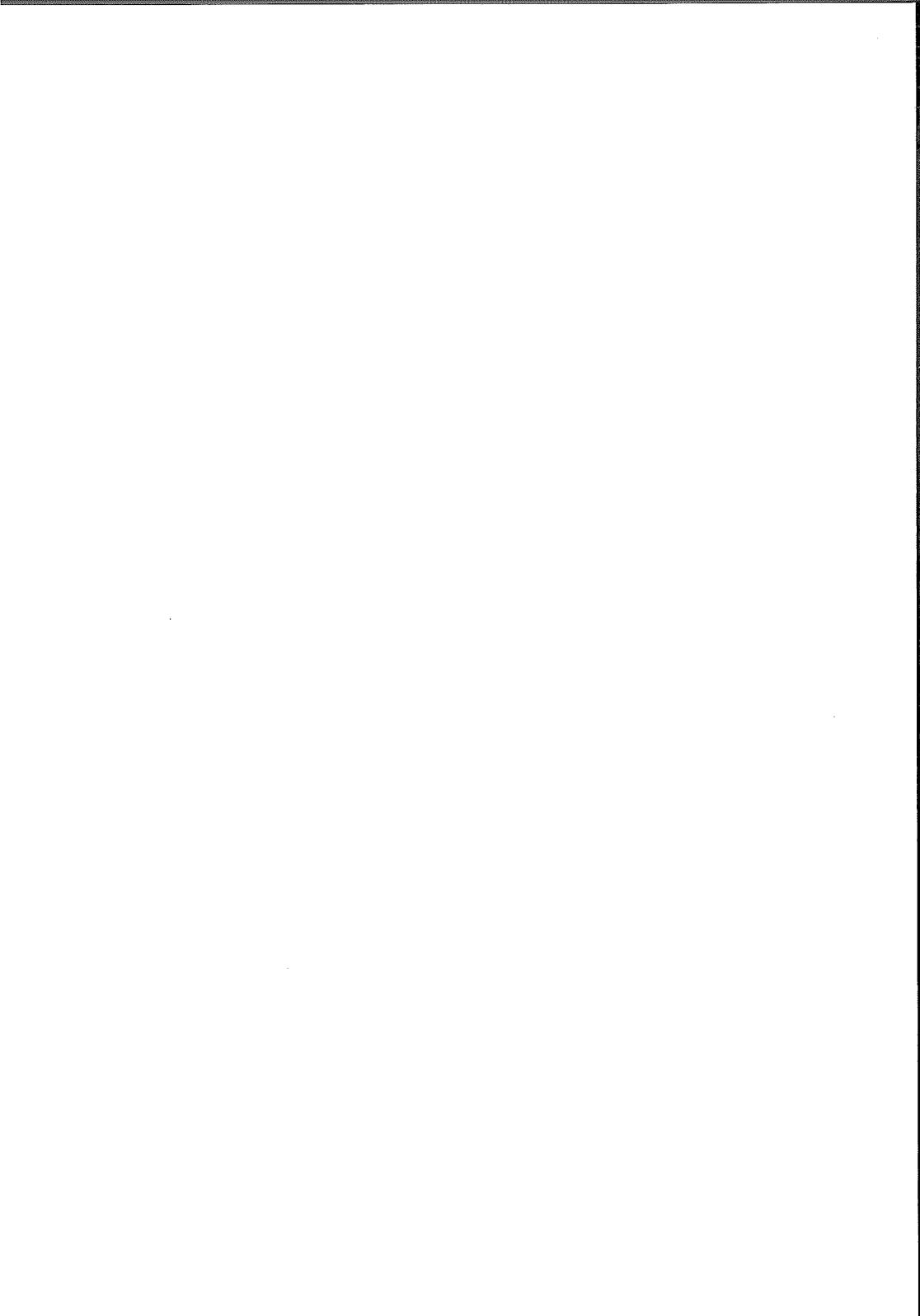


EXPLOITATION DU GRAVIER ET AGRICULTURE





EXPLOITATION DU GRAVIER ET AGRICULTURE

SOCIÉTÉ SUISSE DE PÉDOLOGIE
GROUPE DE TRAVAIL SUR LA PROTECTION DU SOL
E.W. ALTHER, PRÉSIDENT

DOCUMENT 1

**EXPLOITATION DU GRAVIER
ET
AGRICULTURE**

A L'EXEMPLE DU CANTON D'ARGOVIE

Édité par la Société Suisse de Pédologie
et le Département des Travaux Publics du Canton d'Argovie

Juris Druck + Verlag Zürich
1984

DOCUMENTS

1 Exploitation du gravier et agriculture

La série sera continuée.

ISBN 3 260 05047 7

Von Dokument 1 ist auch eine deutsche Version verfügbar. Sie kann bezogen werden beim Sekretariat der BGS, FAP Reckenholz, 8046 Zürich.

Rédaction: H. Sticher, Zurich

Frontispice: Kieswerke Hauser AG, Mülligen

TABLE DES MATIERES

Préface	7
Introduction	9
L'exploitation du gravier, source potentielle de conflits	9
Objectifs du présent travail	11
Présentation de l'état actuel de l'exploitation des gravières, à l'exemple du canton d'Argovie	12
Matériaux exploités	12
Ampleur de l'exploitation	12
Extraction et comblement	15
Etendue des surfaces concernées	16
Distribution géographique des surfaces exploitées	16
Bases légales et procédures d'autorisation pour l'exploitation du gravier	17
Le sol	19
Définition	19
Naissance d'un sol	19
Aspect général d'un sol	19
Constituants du sol	20
Propriétés du sol	20
a) Economie en eau, en air et capacité thermique	20
b) Propriétés mécaniques	21
c) Economie en fertilisants	21
Fonctions du sol	22
a) dans la production végétale	22
b) dans la protection des eaux	22
Qualité et vocation agricole du sol	23
Critères de qualité	23
Qualités des sols sur gravier	23
a) propriétés des sols sur gravier	23
b) vocation des sols sur gravier	24
c) répartition géographique	25
Protection juridique du sol	26
Impact de l'exploitation du gravier	27
Pertes en surfaces cultivables	27
Pertes en terre végétale	27
Perte de qualité de la terre	27
Mise en danger des eaux souterraines	27
Modification du paysage	28

Remise en culture du sol	29
Principe	29
Buts de la remise en culture	29
Le problème du manque de matériau	29
Qualité du matériau de remblai	30
Reconstitution du paysage	31
Attribution des responsabilités	31
Planification	32
a) généralités	32
b) stockage provisoire des terres	32
Technique de la remise en culture	33
a) généralités	33
b) épaisseur finale du sol remis en culture	33
c) déroulement des opérations et exécution	34
Conclusions et thèses finales	36
Instructions techniques sur la remise en culture du sol	37

Version française par MM. L. Bardet et J.A. Neyroud

PREFACE

La **société de pédologie** a pour mission principale l'information réciproque de ses membres sur les travaux de recherche en cours. Sa mission est également de promouvoir des études interdisciplinaires réunissant des pédologues et des personnes s'occupant de problèmes de sols, mais provenant d'autres milieux. Ainsi par exemple, notre **groupe de travail sur la protection du sol** s'est entre autre fixé pour objectif l'étude des mesures à prendre pour conserver les sols à vocation agricole de notre pays, tant sur le plan quantitatif que sur le plan qualitatif.

L'exploitation de sites favorables à la production de graviers, une activité qui se déroule en maints endroits de notre pays, constitue un exemple typique de conflit d'utilisation du sol: extraction d'une matière première indispensable à notre industrie de construction d'une part, maintien de la vocation agricole des terres en vue de l'approvisionnement alimentaire du pays d'autre part. A cela s'ajoute le fait qu'une grande partie des sites les plus propices à l'extraction du gravier se trouve précisément placée dans les régions dont les sols ont un potentiel de fertilité particulièrement élevé. Il faut être conscient du fait qu'une terre arable – une fois prélevé le sous-sol graveleux – ne pourra jamais être remise en place sans dommage et que, dans la plupart des cas, la qualité du nouveau sol reste inférieure à celle de l'ancien.

Dans son article premier, la loi sur la protection de l'environnement (il s'agit pour l'heure d'un projet de loi) exige que «le maintien de la fertilité de nos sols» soit pris en considération; mais cette exigence, de nature juridique, ne peut s'appliquer qu'indirectement à l'exploitation de matériaux pierreux. En conséquence, notre groupe de travail sur la protection des sols a jugé de la plus haute importance la publication de normes destinées à améliorer les conditions de remise en état des gravières et de remise en culture après exploitation des matériaux. Cette information est publiée sous la forme d'un numéro spécial de notre Bulletin de la Société suisse de pédologie, intitulé Document N° 1.

Le présent document est né à la suite d'une active collaboration entre notre Société et les autorités compétentes du canton d'Argovie. En 1980 déjà, ce canton avait édicté un «Dekret über dem Abbau von Steinen und Erden». Comme de nouveaux projets d'extraction de grande envergure étaient envisagés, notre Société a sollicité une entrevue auprès des responsables argoviens. Cette entrevue eut lieu le 21 mai 1982 et fut organisées sous la direction de Monsieur le Conseiller d'Etat Jörg Ursprung; nous sommes entrés ainsi en contact avec les représentants argoviens du Service des eaux (Abteilung Gewässer des Baudepartementes) et du Service de l'agriculture (Abteilung Landwirtschaft des Finanzdepartementes).

Le travail présenté dans les pages qui suivent est le fruit de nombreuses et fructueuses séances tenues entre mai 82 et juin 83. Du côté de la Société suisse de pédologie MM. Dr E.W. Alther (président du groupe de travail) Dr L. Bardet, Dr L.F. Bonnard, Prof. Dr H. Flüher, Dr H. Häni, Dr F. Jäggi, Ing. agr. A. Kaufmann,

Dr J.A. Neyroud, Dr K. Peyer, Dr H. Schuepp, Dr F.X. Stadelmann et Prof. Dr H. Sticher, du côté des autorités argoviennes MM. Dr H.P. Müller (Service des eaux), Ing. agr. V. Schmid et Ing. ETS Christophe Salm (Service de l'agriculture) ont contribué à la réalisation de ce document.

Notre reconnaissance toute particulière s'adresse aux autorités politiques du canton d'Argovie, qui nous ont constamment encouragé et ont assuré les frais d'édition de ce document, rédigé en langues allemande et française.

En complément de notre texte, une **fiche technique sur la remise en culture** a été rédigée; elle constitue un résumé pratique et technique de la marche à suivre depuis la phase initiale des travaux jusqu'aux derniers détails techniques de la restitution des terres à la culture. A notre avis, la conservation du potentiel de production des sols est l'un des objectifs des collectivités publiques de notre pays; c'est pourquoi les conditions de remise en état des surfaces exploitées comme gravières devraient être régies par des normes de droit public fixant les règles minima à respecter. Nous sommes pleinement conscients du fait que la présente documentation ne trouvera son plein effet que lorsqu'elle sera soutenue par un certain cadre juridique.

Le groupe de travail sur la protection du sol et la Société suisse de pédologie dans son ensemble, souhaitent que le présent document soit largement diffusé et qu'il rencontre un écho favorable dans les milieux professionnels et politiques concernés.

J. A. Neyroud
Président de la SSP

E.W. Alther
Président du Groupe de travail
sur la protection du sol

INTRODUCTION

L'exploitation du gravier, source potentielle de conflits

L'exploitation d'une gravière ou d'un autre dépôt de matériaux pierreux ne se conçoit pratiquement pas sans la mise en œuvre de moyens importants. S'agissant des graviers et du sable, les dépôts principaux se trouvent sur des sites géologiquement bien définis: les dépôts fluvio-glaciaires du quaternaire sont les plus importants et les plus rentables. Ces sites abritent très souvent d'importantes réserves d'eau potable et leur surface est occupée par des sols que l'on classe généralement parmi les plus fertiles du pays.

Dans la plupart des cas l'exploitation des matériaux pierreux affecte les intérêts d'un ou de tous les groupes décrits à la figure 1.

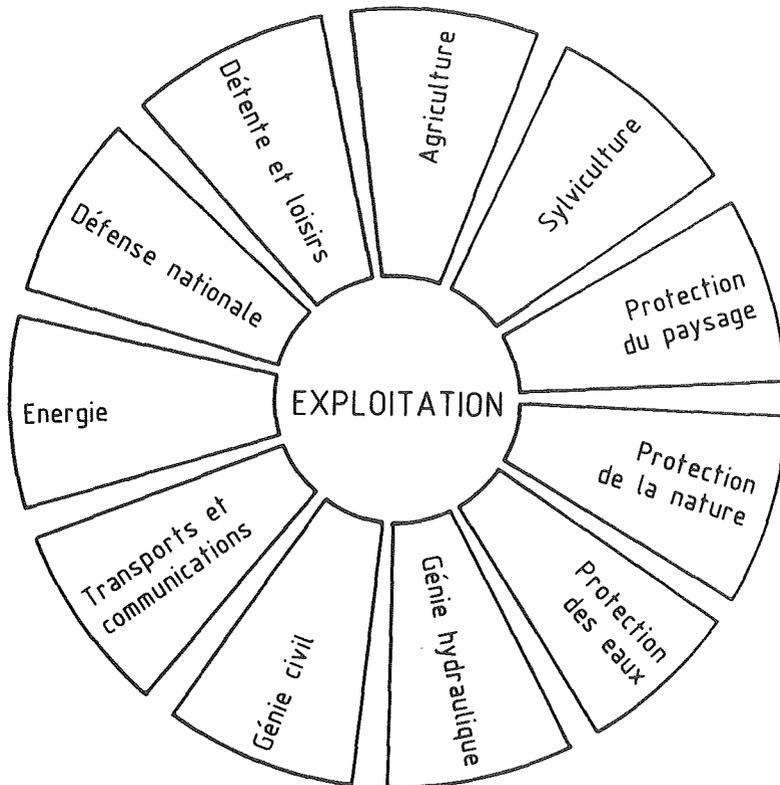


Figure 1: Les intérêts des groupes autour de l'exploitation des matériaux pierreux

Les principaux objectifs de ces divers groupes d'intérêts sont les suivantes:

- Agriculture**
 - Sauvegarde des meilleurs terres agricoles
 - Maintien des surfaces agricoles dans le cadre des plans d'approvisionnement du pays en cas de crise
 - Qualité des travaux de remise en état des sols.
- Sylviculture**
 - Conservation de l'aire forestière (obligation juridique)
 - Qualité des travaux de remise en état des sols et des reboisements.
- Protection du paysage**
 - Protection des sites les plus intéressants
 - Remise en état d'un paysage harmonieux.
- Protection de la nature**
 - Maintien et création de zones protégées pour végétaux et animaux menacés de disparition.
- Protection des eaux**
 - Sauvegarde quantitative et qualitative des eaux souterraines
 - Protection des eaux de surface.
 - Contrôle de la mise en dépôt de matériaux divers.
- Génie hydraulique**
 - Protection des eaux de surface
- Génie civil**
 - Modification des plans d'affectation
 - Constructions et modifications d'immeubles.
- Transports et communication**
 - Sauvegarde des possibilités de circulation.
- Energie**
 - Construction, protection et maintien des sources d'approvisionnement énergétique.
- Défense nationale**
 - Maintien ou extension du dispositif militaire existant
 - Compatibilité avec les terrains réservés à l'armée.

Détente et loisirs

- Maintien et création de zones de détente pour la population.

Objectifs du présent travail

Comme le canton d'Argovie dispose de réserves considérables de graviers et qu'il en «exporte» même dans les cantons voisins (voir chapitre Ampleur de l'exploitation), on comprend aisément que c'est là que s'affrontent le plus souvent les divers groupes d'intérêts mentionnés précédemment. Les intérêts agricoles y sont particulièrement menacés et des dommages irréversibles sont souvent causés tant au plan quantitatif que qualitatif.

Le présent travail a pour but d'attirer l'attention de l'opinion publique et des autorités politiques responsables sur la gravité des problèmes, de décrire précisément les risques de détérioration des sols qu'entraîne l'exploitation de matériaux pierreux et de proposer des normes pratiques pour la remise en culture de ces sols dans des conditions optimales.

Deux objectifs prioritaires ont sous-tendu notre réflexion:

- Protection des meilleures terres agricoles ainsi que d'autres moins favorisées;
- restitution de surfaces agricoles de valeur au moins équivalente aux terrains initiaux.

Il convient ici de préciser que les graviers argoviens sont recouverts par des sols d'excellente qualité (sols bruns lessivés profonds par exemple); ceci rend nécessaire la restitution d'un sol de haute qualité. En d'autres lieux, les gisements de matériaux pierreux sont recouverts par des sols de qualité moindre (sols bruns calciques ou rendzines du Pied du Jura vaudois, par exemple). Néanmoins, il importe dans tous les cas de restituer un sol de valeur équivalente au sol initial. Nos réflexions sur les sols fertiles argoviens s'appliquent donc par analogie à tous les autres sols du pays.

PRESENTATION DE L'ETA ACTUEL DE L'EXPLOITATION DES GRAVIERES, A L'EXEMPLE DU CANTON D'ARGOVIE

Matériaux exploités

Les matériaux pierreux suivants sont actuellement extraits du sol argovien:

- Gravier et sable
- Calcaire et marne
- Argile et limon
- Sel
- Grès
- Gypse et anhydrite.

Ampleur de l'exploitation

Au cours des 25 dernières années on a extrait entre 160 et 180 millions de m³ de matériaux pierreux du sol argovien, dont:

- 70 à 75 millions de m³ de gravier et sable
- 90 à 100 millions de m³ de calcaire, marne et argile.

Actuellement (1980-1982) les quantités annuelles extraites en Argovie sont d'environ 3,0 mio de m³ de gravier et 2 mio de m³ d'autres matériaux.

On a représenté à la figure 2 l'évolution des quantités extraites durant 25 ans, ainsi que leur utilisation. Celle-ci a suivi de manière assez précise l'évolution de la conjoncture économique dans notre pays. Une information supplémentaire sur le taux de comblement des surfaces exploitées est apportée à la figure 3; en 82, par exemple, plus de 90 % du volume extrait a pu être comblé par des apports divers de matériaux de remblayage. Environ 10 à 15 % du gravier extrait est exporté, principalement vers Zurich.

Le canton d'Argovie compte actuellement environ 300 gravières dont 126 étaient en activité en 1981. Les quantités extraites de chaque gravière cette année-là furent très variables:

- 8 gravières de plus de 100 000 m³ par an
- 5 gravières de 50 000 à 100 000 m³ par an
- 36 gravières de 10 à 50 000 m³ par an
- 77 gravières de moins de 1 000 m³ par an.

A titre d'exemple, le canton de Zurich utilise à lui seul une quantité annuelle de gravier de 4 mio de m³.

Sur le plan national, on comptait en 1981 730 entreprises d'extraction de gravier et de sable, ce qui correspond certainement à un nombre beaucoup plus grand de sites d'extraction. C'est la préparation du béton qui consomme la plus grande partie du gravier extrait. Ensuite vient l'utilisation comme fondation de routes. Chaque année on extrait environ 30 mio de m³ de gravier dont l'utilisation est la suivante:

- secteur public 40 %
- logement 35 %
- industrie 25 %.

Quantités de gravier extraites

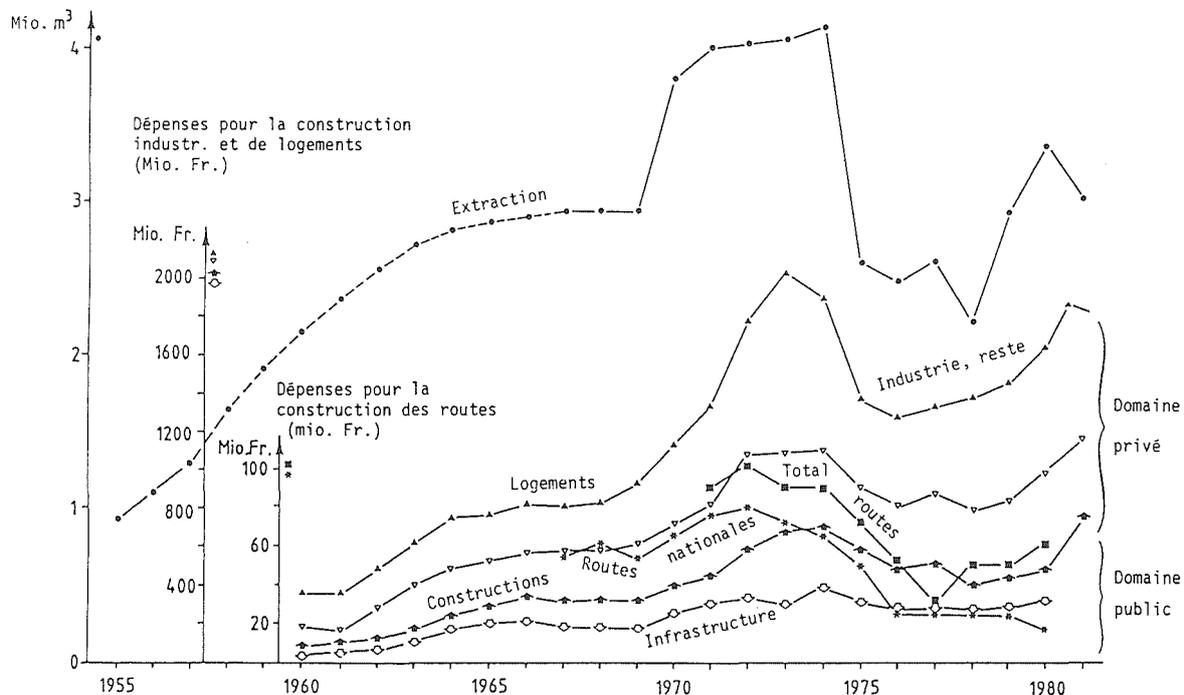


Figure 2: Extraction du gravier et intensité de la construction dans le canton d'Argovie de 1955 à 1981

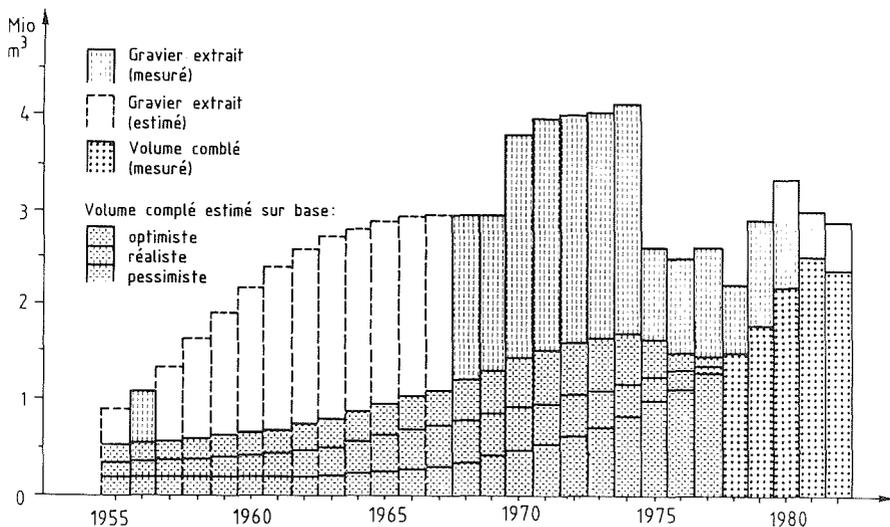


Figure 3: Exploitation et comblements des gravières dans le canton d'Argovie, 1955 à 1982

Extraction et comblement

Les figures 2 et 3 montrent que le «volume vide», soit l'excédent de volume extrait par rapport au volume comblé croit de ½ mio de m³ chaque année en Argovie. Des estimations analogues pour les autres matériaux aboutissent également à un excédent annuel d'extraction d'un demi million de m³. Signalons par ailleurs que, dans le canton de Zurich, le volume vide est de 80 mio de m³ et qu'il s'accroît annuellement de 2 mio de m³.

Pour le canton d'Argovie, un bilan plus exact a pu être dressé (en millions de m³):

	Périodes	Quantité		
		mesurée	estimée	totale
Extraction	1955-1967	-	27)
	1968-1981	46	-	
Comblement	1955-1977	-	10-14)
	1978-1981	8	-	
Volume vide	1955-1977	-	38-52)
	1978-1981	3,2	-	

La lecture de ces chiffres montre l'accroissement constant du volume vide dû en partie à des taxes de dépôt relativement élevées. Au lieu de combler de grandes excavations, on a préféré déverser les matériaux de remblai dans des petites gravières ou aplanir des dépressions naturelles. Ainsi, il faut d'ores et déjà envisager la persistance dans le paysage de très grandes fosses qui pourront difficilement être comblées. Là où un comblement a été effectué, les matériaux déversés contiennent souvent des composés nuisibles; lorsqu'ils ont été déposés à la hâte, un risque permanent de pollution des eaux souterraines doit être pris en compte.

Etendue des surfaces concernées

En Argovie, quelques centaines d'hectares sont actuellement mobilisées par l'activité d'extraction de gravier et de sable. Rapportée à l'ensemble du pays, cette surface est estimée à quelques milliers d'hectares ce qui correspond à plusieurs centaines d'exploitations agricoles de taille moyenne.

Chaque année une nouvelle surface de 30 à 40 hectares est soustraite à l'agriculture (300 à 400 hectares pour la Suisse entière). A titre de comparaison, l'agriculture allemande (RFA) perd environ 5 000 hectares par an pour les mêmes raisons.

Distribution géographique des surfaces exploitées

Les gisements de gravier les plus importants et les plus rentables du pays se trouvent près des grands fleuves du plateau suisse. Pour le canton d'Argovie, les plaines de l'Aar, du Rhin, de la Reuss et de la Limmat offrent toutes d'intéressantes perspectives à cet égard (voir figure 4). Or, il se trouve que ces régions sont très propices à l'agriculture et abritent des exploitations agricoles rationnelles et productives.

D'autres sites d'extraction du gravier (moraine, etc) sont exploités dans les régions dépourvues de dépôts fluvio-glaciaires récents. Ceci concerne surtout les cantons éloignés des grands fleuves cités ci-dessus. Par rapport aux dépôts récents, les moraines graveleuses contiennent beaucoup d'impuretés (limons, blocs rocheux) qui rendent nécessaire une étape de purification du produit (lavage, broyage, tamisage). Il en est de même des terrasses graveleuses («Deckenschotter») où le gravier a subi une consolidation assez poussée qui nécessite en plus une étape de broyage.

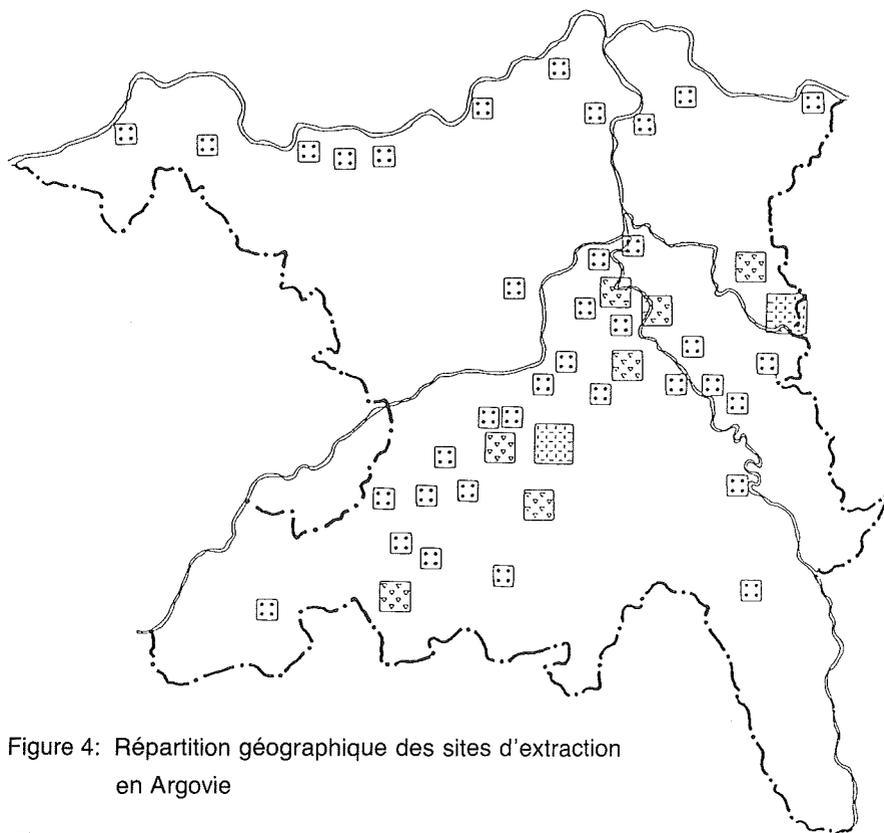
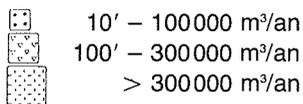


Figure 4: Répartition géographique des sites d'extraction en Argovie



Bases légales et procédures d'autorisation pour l'exploitation du gravier

Les bases légales suivantes réglementent l'exploitation des matériaux pierreux:

- Le Code civil suisse du 12 décembre 1907
- La loi fédérale sur la protection des eaux contre la pollution du 8 octobre 1971 (art. 29 – protection des eaux souterraines / art. 31 – périmètre de protection des eaux souterraines / art. 32 – extraction de matériaux)

- Ordonnance générale sur la protection des eaux du 19 juin 1972, art. 11, plan d'assainissement
- Loi fédérale sur l'aménagement du territoire du 22 juin 1979, art. 24, exception prévue hors des zones à bâtir
- Einführungsgesetz zum Eidg. Gewässerschutzgesetz vom 11. Januar 1977 (canton d'Argovie)
 - § 21 Abfallverwertung und Abfallbeseitigung
 - § 34 ff Grundwasserschutz
- Baugesetzgebung des Kantons Aargau vom 2. Februar 1971
 - § 10 Begriffe Bauten
 - § 125² Bauten in den land- und Forstwirtschaftsgebieten
 - § 150 Bewilligungspflicht
 - § 151 Baugesuch
- Kanton Aargau: Dekret über dem Abbau von Steinen und Erden vom 19. August 1980.
- Instructions pratiques pour la détermination des secteurs de protection des eaux; Office fédéral de la protection de l'environnement, octobre 1977.

En Argovie, la procédure d'autorisation se déroule comme suit: la demande de permis d'exploitation (Baugesuch) est adressée par le requérant à la centrale des permis de construire par l'intermédiaire de la commune, et de là au Service des eaux. Celui-ci organise une consultation des organes intéressés. L'autorisation des instances cantonales accompagnée d'éventuelles réserves est ensuite renvoyée à la commune pour mise à l'enquête publique ainsi qu'au requérant pour information. Le contrôle et la surveillance de l'exploitation et de la remise en état des lieux incombe à la commune (fonction de police des constructions) et au canton. Les organismes privés tels que l'Association Suisse des Gravières peuvent y être associés.

La caractéristique principale de la procédure argovienne est l'existence du décret sur l'extraction des matériaux pierreux. Ce décret a pour but général la protection du paysage contre les atteintes irréversibles et la remise en état de sites dont l'exploitation est en cours ou terminée, conformément aux principes généraux de la protection du paysage. Pour atteindre ce but, on tente de concentrer plusieurs exploitations sur un seul site. De plus, l'exploitation est subordonnée à un plan d'ensemble qui prévoit, par étape, les conditions d'exploitation et de remise en état des lieux.

La protection des intérêts agricoles est actuellement de la compétence des autorités délivrant l'autorisation d'exploitation. Celle-ci doit se prononcer sur l'opportunité de l'exploitation et examiner dans quelle mesure il importe de rétablir des sols cultivables.

LE SOL

Définition

Le sol est constitué de la mince couche superficielle de l'écorce terrestre sur laquelle s'exercent les effets de la lithosphère, de l'hydrosphère, de l'atmosphère et de la biosphère. Il est le produit de la lente transformation de la matière minérale et organique et sert de support à la croissance des plantes. Un volume unitaire de sol contient des substances minérales et organiques solides, de l'eau, de l'air et des organismes vivants.

Naissance d'un sol

Dans un environnement donné, l'influence conjuguée des facteurs de formation du sol – roche-mère, organismes vivants (flore et faune) climat et relief – provoque le déroulement de phénomènes physiques, chimiques et biologiques complexes dans la couche superficielle de l'écorce terrestre. Des sols des types les plus divers sont ainsi formés au cours de périodes de plusieurs milliers d'années:

- La roche-mère, ou matériau parental, subit un fractionnement physique et des transformations de nature chimique et biologique: ce processus est appelé **altération**.
- Les organismes vivants du sol, végétaux et animaux, se développent, sont consommés par d'autres organismes, puis meurent; ils laissent derrière eux des résidus organiques. Ce processus est appelé **formation d'humus**.
- Les composants initiaux des roches-mères, ainsi que les nouveaux produits formés par l'altération et l'humification peuvent être mis en solution ou en suspension et se déplacer. Ce processus est appelé **migration**.
- Le contact prolongé entre les particules du sol leur permet d'établir des liaisons entre elles, le plus souvent par l'intermédiaire de ciments d'origine microbienne. Il en résulte la formation d'édifices nouveaux caractéristiques dans le sol (grumeaux, agrégats, mottes). Ce processus est appelé **formation de la structure**.

Aspect général d'un sol

L'action conjuguée des processus de formation du sol aboutit à la différenciation dans le sol d'un certain nombre de couches horizontales superposées présentant chacune des propriétés particulières. Une telle couche est appelée **horizon** dans le jargon des pédologues. Le **profil** représente alors l'ensemble des horizons allant de la surface à la roche-mère; sa description précise permet de définir le **type de sol**. Le même type s'étend dans l'espace aussi loin que les facteurs de formation du sol restent les mêmes.

Les différents horizons du sol sont désignés par des lettres qui indiquent leurs propriétés et leur mode de formation. Voici les trois principaux horizons:

- A: Horizon de surface. Terre végétale riche en humus, de couleur sombre, contenant des organismes vivants, généralement bien structurée (agrégats) et colonisée par des racines.
- B: Horizon intermédiaire, sous-sol, ou couche intermédiaire moins riche en humus, de couleur claire ou rouille, siège de phénomène d'altération.
- C: Roche-mère, ou matériau parental, non encore touchée par les processus de formation du sol (une roche-mère peut être meuble: limon, loess...).

Constituants du sol

Le sol est formé à partir de composés minéraux et organiques; il contient aussi des organismes vivants en grand nombre. Selon son état d'altération et son âge, ses composés minéraux sont d'origine pétrogène (hérité de la roche sans transformation) ou pédogène (formé in situ à partir de la roche-mère). Les composés pédogènes les plus marquants sont les argiles et les oxydes de fer.

La matière organique du sol réunit l'ensemble des organismes vivants, morts ou en décomposition (précurseurs d'humus) et les produits finaux des transformations (substances humiques au sens strict). Une terre végétale moyenne du plateau suisse contient entre 2 et 10 % de son poids sous forme de matières organiques, soit 50 à 250 tonnes à l'hectare.

Propriétés du sol

a) Economie en eau, en air et capacité thermique

Les agrégats du sol délimitent un système compliqué de canaux et de pores de dimensions variables, qui sont occupés par de l'eau ou de l'air. On distingue principalement trois catégories de pores:

- pores grossiers: diamètre supérieur à 0,03 mm
- pores moyens: diamètre compris entre 0,03 et 0,0002 mm
- pores fins: diamètre inférieur à 0,0002 mm.

L'eau contenue dans les pores grossiers (après une averse par exemple) est très mobile: elle peut s'écouler facilement par gravitation. Elle permet ainsi à l'air d'être évacué et renouvelé (échange d'oxygène et de gaz carbonique).

L'eau des pores moyens est retenue à la surface des pellicules solides par des forces d'adsorption et de capillarité relativement faibles. Les racines des plantes sont en mesure de vaincre ces forces et de prélever l'eau adsorbée pour leur besoin. De même en période sèche, l'eau adsorbée est cédée à l'atmosphère par évaporation.

Dans les pores fins, l'eau est si fortement retenue qu'elle n'est plus disponible pour les plantes et qu'elle ne s'évapore presque pas. Les plantes flétrissent dès qu'elles ne trouvent plus d'eau retenue par une force inférieure à 15 bars (point de flétrissement permanent).

Les sols riches en argile sont bien pourvus en pores fins mais assez pauvres en pores grossiers; ils tendent à conserver leur eau et, dans les cas extrêmes, à présenter des signes d'engorgement et de manque d'oxygène (anoxie).

Les sols humides sont toujours plus froids que les autres: ils se réchauffent plus lentement en raison de la chaleur spécifique élevée de l'eau qu'ils contiennent.

b) Propriétés mécaniques

Un volume unitaire de sol comprend une phase solide, une phase liquide et une phase gazeuse. La part de chaque phase au volume total varie en fonction de la composition physique et chimique du matériau ainsi que du mode d'exploitation du sol. Ainsi les interventions plus ou moins heureuses faites sur un sol affectent sa stabilité de structure et par conséquent la distribution de ses phases: le chaulage, l'apport d'engrais organiques, la mise en place d'engrais verts ont un effet positif sur la stabilité structurale, alors que le travail d'un sol trop humide, le passage de machines trop lourdes, etc., ont un effet négatif. Lorsque des dégâts ont été constatés, il faut souvent plusieurs années au sol pour retrouver ses propriétés initiales.

c) Economie en fertilisants

Les argiles et les substances humiques (le complexe argilo-humique) possèdent des propriétés comparables à celles des résines échangeuses d'ions: elles peuvent emmagasiner ou céder des ions. Cette propriété est précieuse en matière de nutrition végétale: les plantes disposent d'un réservoir de fertilisants alimenté par les fumures, la décomposition des résidus organiques et l'altération de la roche-mère. L'expression technique de cette propriété est la mesure de la «capacité d'échange de cations» (et d'anions).

Seule une partie des sites échangeables est occupée par des cations métalliques (Ca, Mg, K, Na, ...); le reste est occupé par des ions hydrogènes (H^+). Un sol acide est un sol dont la part des ions H^+ est élevée par rapport à la part de l'ensemble des cations métalliques. On dit aussi que son pH est bas. En agriculture intensive les

rendements élevés ont pour conséquence des prélèvements considérables d'éléments fertilisants, ce qui rend nécessaire une importante restitution sous forme d'engrais commerciaux et/ou d'amendements organiques.

Fonctions du sol

a) Dans la production végétale

Le sol, support de la croissance des plantes, est le facteur décisif de la production végétale agricole, ou sylvicole. Sa bonne qualité est à la base de toutes les hypothèses de production intensive de nourriture, de matériau de construction et de bois de chauffage en cas de pénurie ou de crise dans l'approvisionnement de notre pays.

b) Dans la protection des eaux

Le sol joue un rôle capital de filtre et de tampon dans les échanges avec l'écosphère: les déchets organiques y sont dégradés et minéralisés, les composés dissous ou en suspension y sont retenus, de telle sorte que l'eau qui sort du sol a subi une véritable régénération.

Les sols formés sur des dépôts de gravier ont une position particulièrement délicate car les graviers servent également de lieu d'accumulation des eaux souterraines. Le rôle de filtre et de tampon est donc particulièrement important pour ces sols. Ils doivent:

- Avoir des propriétés sans défauts quant à leur économie en eau, en air et en fertilisants.
- Etre neutres à légèrement acides.
- Etre biologiquement actifs.
- Etre suffisamment épais pour permettre aux phénomènes cités précédemment de se dérouler correctement (voir plus loin sous «Critères de qualité»).

QUALITÉ ET VOCATION AGRICOLE DU SOL

Critères de qualité

L'appréciation de la qualité d'un sol se fait devant un profil. Les sept critères suivants sont pris en compte:

- Site: Cette rubrique comprend le climat local, la topographie et les risques d'érosion.
- Texture: La texture (au sens large) comprend la composition granulométrique minérale et le taux de matière organique.
- Structure: Appréciation de la nature et de la qualité des agrégats.
- Profondeur utile: Cette appréciation est tirée de la mesure de la profondeur maximale atteinte par les racines, après réduction proportionnelle au volume occupé par des cailloux ou des couches peu attractives (marne, sable, ...). Elle renseigne également sur la capacité de rétention en eau utilisable:

Profondeur utile (en cm)	Appréciation
> 100	très profond
70 – 100	profond
50 – 70	assez profond
30 – 50	peu profond
10 – 30	superficiel
< 10	très superficiel

- Chimisme: Il s'agit de la capacité d'échange de cations et du pH.
- Hydrologie: Cette importante rubrique comprend la capacité de rétention en eau, la perméabilité, la position de la nappe phréatique, etc.
- Aération: L'économie en air est appréciée sur la base d'observations devant le profil: taches de réduction, couches compactes, etc.

Dans l'application pratique, les qualités énumérées ci-dessus sont comparées aux exigences des cultures que l'on envisage d'implanter.

Qualité des sols sur gravier

a) Propriétés des sols sur gravier

Comparés à l'ensemble des sols de notre pays, les sols sur gravier se caractérisent par une certaine constance de leurs propriétés. Ils possèdent une très bonne perméabilité à l'eau, une texture sablo-limoneuse, une pierrosité assez faible en surface et, bien sûr, un sous-sol graveleux.

Sur les terrasses de graviers post-glaciaires des lits des fleuves du plateau suisse, se sont développés des sols de type **brun lessivé** (Parabraunerde en allemand, Luvisol selon la classification de la FAO). Leur particularité frappante est un appauvrissement de la couche de surface en argile (horizon A «éluvial», gris-brun) et un enrichissement correspondant de la couche sous-jacente (horizon B «illuvial», brun-orange). Une observation attentive des agrégats de l'horizon B montre des pellicules argileuses, ou «cutans», déposées sur les grains. Les sols bruns lessivés agricoles sont neutres à faiblement acides; leur horizon A, à agrégats très stables, contient 2 à 3% de matière organique, et repose sur un horizon B épais de 70 à 80 cm. La profondeur utile de ces sols est de 70 à 100 cm.

Sous forêt, les sols bruns lessivés sont nettement plus acides et leur surface est recouverte d'une couche de résidus végétaux incomplètement décomposés (humus de type «Mor»). Le lessivage de l'argile en profondeur conduit parfois à l'apparition d'engorgement temporaire des sousols (type de sol: **pseudogley**).

En des sites plus marqués par l'érosion ou le colluvionnement, d'autres types de sols apparaissent: il s'agit le plus souvent de sols **bruns calcaires superficiels**. Ces sols sont nettement moins fertiles que les sols bruns lessivés car ils sont aussi plus sableux et ont des caractéristiques hydrologiques moins favorables.

b) Vocation des sols sur gravier

Dans des situations climatiques et topographiques favorables, les sols sur gravier – tout particulièrement les sols bruns lessivés profonds – constituent des milieux privilégiés de l'exploitation agricole ou sylvicole. Ils sont bien adaptés aux divers types de rotations comprenant les grandes sultures et les cultures fourragères. Les grandes cultures (céréales, betteraves, pommes-de-terre, maïs, ...) sont possibles pratiquement sans limitation, car ces sols retrouvent très rapidement une humidité optimale après la pluie et leur structure meuble autorise une mécanisation poussée des travaux cultureux.

Des limitations à la valeur agricole des sols sur gravier apparaissent cependant en situation climatique moins favorable, sur les sols peu profonds et superficiels, les sols graveleux dès la surface et les sols bruns calcaires: le défaut d'hydrologie (perméabilité excessive, rétention d'eau insuffisante) s'aggrave dans les régions nord-ouest et ouest du pays où les précipitations sont moins abondantes.

Les sols bruns lessivés profonds et bien développés des terrasses de graviers, particulièrement ceux qui sont recouverts d'une couche épaisse de terre fine de type «loess», comptent au nombre des sols les plus fertiles de notre pays. Ils sont toujours taxés à la valeur maximum lors des échanges de terrains des remaniements parcellaires. L'agriculteur tire un profit certain de tels sols grâce à leurs multiples possibilités d'exploitation et à la constance des niveaux de rendement obtenus. En

ce qui concerne les collectivités publiques, il convient de préciser que les sols bruns lessivés ne requièrent aucune mesure d'amélioration foncière (économie de frais) et se prêtent bien à l'épandage et au recyclage des boues d'épuration, sous réserve évidemment des mesures de protection des nappes d'eaux souterraines.

En matière de sylviculture, on constate que les sols bruns lessivés acides constituent des biotopes favorables à la forêt. Le choix par le forestier des essences à implanter n'est pas limité par les sols et celui-ci peut espérer une bonne productivité de ses surfaces. Le passage d'engins dans les forêts ne pose également pas de gros problèmes.

Les sols bruns lessivés moins profonds, ou graveleux, sont moins favorables car ils sont sensibles à des périodes prolongées de sécheresse. Quant aux sols situés sur les terrasses les plus basses des lits des feuves, ils sont régulièrement engorgés d'eau et leur nappe phréatique est proche de la surface; les forêts implantées sur ces sols riverains possèdent certes quelques caractéristiques botaniques intéressantes, mais leur productivité reste assez basse.

c) Répartition géographique

La carte des aptitudes des sols de la Suisse au 1:300'000^e recense environ 100'000 hectares de sols bruns lessivés, sols bruns et bruns calcaires sur graviers post-glaciaires dans les plaines du plateau. D'autres cartes des sols sur graviers ont été dressées à des échelles beaucoup plus fines en diverses régions: terrasses graveleuses du Rhin, de la Reuss, de l'Aar et de l'Emme, portions de la plaine du Rhône, du Tessin et de l'Inn, divers périmètres limités sur le cours de la Thur et de la Glatt.

Les cartes des sols déjà dressées montrent une fréquence variable des surfaces de sols bruns lessivés profonds particulièrement propices à la culture. Ainsi, sur les terrasses de la Reuss (de Bremgarten à Mühlau) ces sols occupent 5% des surfaces, alors qu'ils en occupent plus de 50% sur les terrasses de Rafzerfeld et de Birrfeld. Des détails plus précis sur la répartition des sols bruns lessivés peuvent être obtenus à la station fédérale de recherche agronomique de Reckenholz, 8046 Zurich, service de cartographie des sols.

Pour la Suisse romande, le Laboratoire de pédologie de l'Ecole polytechnique fédérale, En Vernay, 1024 Ecublens, offre les mêmes prestations.

PROTECTION JURIDIQUE DU SOL

Au sens du Code civil, le sol n'est envisagé que comme un immeuble et les règles légales ne définissent que les conditions de propriété, de ventes, etc, de celui-ci (art. 667 et ss).

Le sol est par contre considéré comme un bien méritant soins et attentions par la loi fédérale sur l'aménagement du territoire qui, à son article premier, enjoint toutes les collectivités publiques **d'assurer une utilisation judicieuse du sol**, de protéger les bases naturelles de la vie telles que le sol, ...

Le projet de loi fédérale sur la protection de l'environnement prévoit dans plusieurs articles, mais principalement dans les articles 33 à 35, la protection de la fertilité des sols face aux immissions et autres charges polluantes. A noter cependant qu'aucune disposition ne prévoit la protection du sol contre les compactages abusifs ou l'érosion par exemple.

La loi fédérale sur le maintien de la propriété foncière rurale prévoit à son article 5 que l'aire agricole doit, dans la limite du possible, rester affectée à l'agriculture. Il y a là également un voeu, mais qui ne trouve guère de concrétisation pratique. Par contre, la loi fédérale sur les forêts est stricte: son article 31 prévoit nomément que la surface forestière du pays ne doit pas diminuer. Le législateur ne traite cependant pas du tout de la qualité et des propriétés du sol forestier.

L'ordonnance fédérale sur les améliorations foncières prescrit à son article 59 «l'obligation d'exploiter convenablement les terres améliorées avec l'aide de la Confédération». Cependant, il s'agit principalement d'exiger l'entretien des ouvrages d'amélioration foncière et d'empêcher que les surfaces améliorées ne changent d'affectation. La protection quantitative et qualitative du sol est quasiment inexistante.

Un certain nombre de lois ont été promulguées dans divers cantons; nous en avons cité quelques unes dans la bibliographie. Nous poursuivons cependant ici notre étude du modèle argovien en citant les lois de ce canton:

La loi cantonale sur les constructions (Kant. Baugesetz) contient au paragraphe 116 une déclaration de principe sur le maintien des surfaces agricoles améliorées et productives. De plus, le paragraphe 129 de la même loi assimile l'exploitation du gravier à une construction qui ne peut être entreprise qu'exceptionnellement et sur la base d'un dossier très documenté qui doit faire l'objet d'une procédure d'autorisation. La loi cantonale sur l'agriculture (Kant. Landwirtschaftsgesetz) en vigueur dès le 1er janvier 1982 contient à l'article 8 l'énoncé d'un principe directeur visant à la protection des zones agricoles les plus favorables: la vocation agricole prioritaire de ces zones est garantie. Cette détermination doit être respectée par toutes les autorités mais elle ne lie nullement les particuliers.

IMPACT DE L'EXPLOITATION DU GRAVIER

L'exploitation du gravier est inévitablement liée à la modification de l'environnement, qui peut être perçue sous plusieurs aspects:

Pertes en surfaces cultivables

La forme de l'exploitation détermine la perte en surfaces cultivables:

- on peut compter perdre un minimum de surface lorsqu'on exploite des ressources graveleuses renouvelables telles que matériaux dans les lits des rivières ou éboulis de falaises;
- les pertes en surfaces cultivables les plus grandes sont causées par les exploitations en cuvette partiellement remblayées où apparaissent des talus embroussaillés;
- l'exploitation systématique d'une nappe graveleuse (exploitation sur un large front) avec remblayage et remise en culture rapide minimise les pertes de surface.

Pertes en terres végétales

Des pertes importantes se produisent dès que l'on transporte la terre végétale ou même la couche sous-jacente: les volumes diminuent, il manque presque toujours quelque chose au terme des opérations de remise en culture.

Perte de qualité de la terre

Le bon état structural initial de la terre ne résiste pas à un stockage trop long, un entassement en meules trop hautes, un dépôt en site mal drainé, etc... Il en résulte une mauvaise structure et une activité biologique gravement mise en danger.

L'effet de filtre et de tampon du sol sur une assise de gravier est particulièrement précieux; lorsque le gravier est remplacé par du remblai (comblement), il n'est pas certain que le rôle épurateur du sol puisse être rétabli en même temps que les bonnes qualités hydrologiques du sol initial. Ce problème sera repris plus loin.

Mise en danger des eaux souterraines

La diminution des surfaces potentielles d'infiltration des eaux de pluie, et le remplacement du gravier par des matériaux de remblai augmentent les risques de contamination des nappes. En effet, l'activité filtrante du remblai est dans la plupart des cas inférieure à celle du gravier: la perméabilité, la vitesse de percolation et le temps de

séjour de l'eau dans le corps filtrant ne peuvent être estimés avec certitude. Des produits de toutes natures, particulièrement des produits toxiques, peuvent passer du remblai à la nappe et polluer l'eau. C'est pourquoi il est indispensable que le remblai soit constitué de matériau de classe I exclusivement (matériau propre d'excavation et de démolition).

Modification du paysage

Voir à ce sujet le chapitre «Remise en culture».

REMISE EN CULTURE DU SOL

Principe

On entend par remise en culture la création ou la remise en place d'un nouveau sol dans un endroit qui a subi d'importantes transformations, comme par exemple l'extraction d'une couche de gravier, des modifications apportées à la topographie des lieux, etc. Dans une acception plus étroite, la remise en culture consiste en la création d'un nouveau sol agricole de propriétés similaires à celles du sol agricole présent avant les travaux de génie civil. En ce qui concerne la remise en culture des gravières exploitées, on distingue trois procédures principales:

- remplissage à niveau. On tend ainsi à récupérer la totalité de la surface agricole initiale avec, dans la mesure du possible, la même topographie et les mêmes conditions naturelles de production;
- remplissage partiel. La création d'un paysage en terrasse ou en pente permet des économies dans les quantités de remblai à apporter;
- pas de remplissage. Les surfaces disponibles sont utilisables à des fins agricoles, écologiques ou de délasserment; elles doivent cependant être aménagées de manière appropriée et ne sauraient être laissées à elles-mêmes.

Buts de la remise en culture

La remise en culture dans une optique agricole a pour but la création d'un nouveau sol qui:

- possède le même potentiel de fertilité que l'ancien (ce potentiel est défini par des propriétés pédologiques);
- présente un aspect topographique compatible avec une exploitation agricole rationnelle;
- s'intègre dans les surfaces agricoles avoisinantes
- restitue les surfaces initialement cédées.

Un but plus général doit également être atteint: la qualité des eaux souterraines ne doit pas être mise en danger. Ceci peut être réalisé par des mesures techniques appropriées de remise en culture, ainsi que la pratique d'une agriculture rationnelle (fumures, rotation des cultures, usage de pesticides, ...).

Le problème du manque de matériau

L'exploitation des gravières se poursuit à un rythme plus rapide que leur comblement de telle sorte que le «volume vide» s'accroît, sans qu'il soit possible d'envisager un changement à court terme. Par conséquent, c'est déjà au cours de la procédure

d'autorisation qu'il devrait être précisé si le site doit être comblé ou non. La vocation agricole plus ou moins marquée du site envisagé devrait constituer le facteur primordial de la décision sur le remplissage éventuel: les sites à vocation agricole privilégiée doivent sans aucun doute être à nouveau comblés à l'issue des travaux d'extraction.

Une conséquence de cette exigence est que des plans d'approvisionnement en remblai doivent être prévus: ceci permettrait de contraindre les entreprises à déposer leur remblai là où ceux-ci sont souhaités. De plus, les délais de comblement et de remise en culture seraient sensiblement réduits.

Qualité du matériau de remblai

A la base de tout projet de remise en culture, la connaissance des données géologiques et hydrologiques est indispensable. Le résultat de ces études détermine la qualité admissible du matériau de remblai. L'Office fédéral de la protection de l'environnement a édicté des directives sur la qualité des remblais; on distingue quatre classes:

- Classe I: Contient exclusivement des matériaux inertes, sans influence ultérieure possible sur la nappe phréatique; il s'agit principalement de matériaux d'excavation et de démolition propres, sans tourbe ni matière organique.
- Classe II: Contient en plus des précédents des matériaux d'excavation et de démolition libres de tous éléments pouvant gravement altérer les eaux; c'est donc là que l'on pourra déverser des bétons, tuiles, bois, tourbes, dégrappages de routes, etc...
- Classe III: Permet le dépôt de matériaux dont les eaux d'infiltration peuvent être déversées dans une canalisation d'eaux usées, comme par exemple les déchets ménagers, scories d'incinération de déchets, terres faiblement imbibées d'huile, etc.
- Classe IV: Cette dernière est prévue pour les déchets spéciaux, généralement toxiques.

Le comblement de gravières généralement localisées au-dessus de nappes aquifères, exige du matériau de classe I. Dans des cas exceptionnels, le matériau de classe II est aussi acceptable. Tous les autres matériaux exigeraient des précautions supplémentaires telles que leur utilisation n'est pratiquement pas envisageable dans d'anciennes gravières.

Le matériau de classe I est certes inerte et sans danger pour les eaux souterraines, mais il présente une hétérogénéité considérable de la plupart de ses propriétés physiques (densité, porosité, cohésion, perméabilité, ...). Ceci est dû à sa diversité de provenance: limons, éboulis, décombres, ... Des expériences antérieures l'ont prouvé: un corps de filtration sous forme de remblai ne présente absolument pas les caractéristiques initiales de la couche de gravier, En conséquence, il est permis d'affirmer que toute exploitation importante de gravier provoque des modifications irréversibles de la station exploitée, quand bien même la remise en culture a été effectuée avec tout le soin possible.

Reconstitution du paysage

L'exploitation du gravier et du sable s'étend généralement sur des surfaces de forme rectangulaire, dont les contours sont limités par:

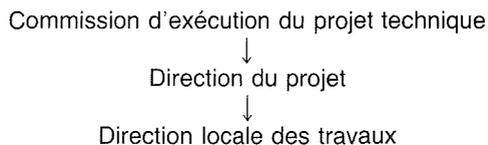
- les conditions de propriétés (Registre foncier)
- les lignes existantes du paysage (routes, canaux, etc)
- les exigences techniques de l'exploitation
- les limite légales (présence de forêts, plan de zones...)

A la fin de l'exploitation, la topographie présente souvent des formes très tranchées et inesthétiques. La remise en culture a également pour but d'adoucir ces formes et de recréer un paysage harmonieux. Plusieurs possibilités sont offertes, qui vont du comblement total à un remodelage du paysage de la gravière et des terrains environnants.

Attribution des responsabilités

Le choix judicieux de la procédure technique de remise en culture n'est qu'une première étape.

Il importe surtout que les opérations soient rigoureusement planifiées; ceci exige une organisation précise et un partage clair des diverses responsabilités dans l'exécution des travaux. Par analogie avec d'autres projets de génie civil ou rural, le modèle suivant paraît devoir donner satisfaction:



Chaque organe s'assurerait le conseil d'experts reconnus. Voici brièvement décrites les tâches et responsabilités:

La commission d'exécution: est responsable de la réussite du projet dans son ensemble. Elle élabore le projet technique, met en place un organe de direction du projet et contrôle la bienfaisance de chaque étape de la remise en culture. Elle définit les tranches annuelles de travaux, ainsi que le calendrier d'exécution. Le nombre de membres de la commission dépend de l'importance des travaux prévus. Il est en outre de bonne politique d'y associer des membres des corporations de droit public intéressés (communes et canton).

Direction des travaux: elle contrôle l'exécution du projet après son acceptation.

Direction locale des travaux: elle fait exécuter le travail conformément aux plans établis.

Planification

a) Généralités

Le projet de la remise en culture doit être exécuté et accepté avant le début des travaux sur le site. Trois conditions préalables sont ainsi remplies:

- le sol original a été taxé, sa qualité appréciée en fonction de critères reconnus. Les organismes agricoles adéquats sont disponibles (cartographie des sols, taxation, etc.);
- le projet général de remise en culture a été discuté et accepté par les parties contractantes;
- les règles générales auxquelles devra se conformer la future exploitation doivent être définies par les services cantonaux en accord avec les parties intéressées.

La seule description de l'état final de la surface ne suffit pas: l'expérience montre en effet que chaque étape doit être définie avec précision afin d'obtenir un enchaînement satisfaisant des opérations (exemple: remplissage par étape afin de raccourcir la durée de séjour de la terre végétale en grosses meules). Dans le canton d'Argovie, on attache une importance particulière à ces étapes, qui sont décrites déjà en cours de procédure d'autorisation.

Une remise en culture correctement exécutée dure trois ans; il convient de tenir compte de ce fait lors des discussions préliminaires entre parties contractantes.

b) Stockage provisoire des terres

La terre déplacée lors des opérations de décapage – terre végétale et couche intermédiaire – doit être stockée séparément. Cette opération est particulièrement

importante; elle est décrite plus loin dans la fiche technique sur la remise en culture. Par ailleurs, le sujet est traité en détail dans les trois documents suivantes:

- Humusdeponie und Rekultivierung. Merkblatt 1 der Abteilung Landwirtschaft, Strukturverbesserungen, Kanton Aargau, 1979.
- Merkpunkte zur Erstellung von Humusdeponien und zur Rekultivierung von Deponie- und Auffüllflächen von F. Jäggli und E. Frei, 1977.
- Fachverband Sand und Kies FSK-Dokumentation «Planung und Instandstellung», 1978.

Technique de la remise en culture

a) Généralités

Deux conditions impératives doivent être respectées pour réussir une remise en culture satisfaisante des surfaces:

- reconstruction d'un sol suffisamment épais et perméable pour permettre une colonisation optimale par les racines et les autres organismes vivants;
- solution du problème de l'écoulement des eaux de surface et d'infiltration. La création d'une surface nouvelle en pente, le dépôt d'une couche drainante avant la restitution de la couche cultivable, diverses opérations de drainage, permettent d'atteindre ce but.

b) Epaisseur finale du sol remis en culture

Comme il est interdit de soustraire de la terre végétale des lieux et que des pertes de volume se produisent fréquemment durant le stockage, on conçoit aisément que la terre de surface soit une denrée rare. Il faut donc tenter de tirer le meilleur parti du matériau présent sur place.

Pour obtenir un nouveau sol semblable à l'ancien du point de vue de son potentiel de fertilité, il est essentiel que l'épaisseur des anciens horizons A et B soit restituée dans toute la mesure du possible. Une épaisseur totale de 100 cm est souhaitable pour tous les sols à vocation agricole très marquée.

Les sols présentant des défauts lors de l'examen initial (pierrosité, faible profondeur utile, ...) ne pourront certainement pas être reconstitués sous la forme de sols profonds et fertiles. On s'efforcera néanmoins de tirer le meilleur parti possible de chaque situation.

Une marge de sécurité doit être prévue pour tenir compte d'un tassement des couches apportées ainsi que de la présence de cailloux dans le matériau.

c) Déroulement des opérations et exécution

La procédure choisie pour la remise en culture doit prévoir d'éventuelles complications: matériaux de remblayage imperméables, aléas climatiques. Les expériences faites par le passé nous conduisent à proposer la procédure suivante (voir aussi la figure 5):

1. Apport de matériaux de remblayage jusqu'à une cote située à 2 mètres environ au-dessous du niveau final du sol remis en culture. L'apport est possible durant toute l'année.
En cas de doute sur les possibilités d'écoulement des eaux d'infiltration, on dépose une couche filtrante (gravier) de quelques dizaines centimètres d'épaisseur à la surface du remblai.
2. Mise en place de la couche intermédiaire. Cette opération n'est possible qu'entre les mois d'avril et d'août, par de bonnes conditions météorologiques. La surface est immédiatement ensemencée (engrais vert pour assurer une activation biologique).
3. Mise en place de la terre végétale (épaisseur minimum 30 cm) entre mai et juillet seulement et par conditions météorologiques favorables. Ensemencement immédiat par un mélange fourrager de longue durée.

L'apport de remblai n'a pas d'influence sur la future exploitation agricole du site. La seule condition à respecter est que la surface finale ait une pente d'environ 5 % pour faciliter l'écoulement des eaux. La couche intermédiaire doit être déposée en une fois sur toute l'épaisseur prévue (pas de dépôts en couches successives), en évitant de circuler avec des engins lourds sur la terre fraîchement déposée; un ensemencement immédiat permettra d'éviter que le sol ne soit exposé trop longtemps aux intempéries. Enfin, on dépose la terre végétale en surface, en recouvrant l'engrais vert. Les engins légers sont recommandés pour ce transport (pression au sol inférieure à 200-300 g/cm²) et l'ensemencement final est exécuté sans délai. Après un certain temps d'observation, le terrain est examiné, la qualité des travaux de remise en état discutée, d'éventuels travaux complémentaires (drainages) sont décidés. La parcelle peut alors être remise définitivement à son propriétaire.

2ème année de remise en culture

Mise en place de la terre végétale en enfouissant l'engrais vert, semis définitif

1ère année de remise en culture

Mise en place de la couche intermédiaire, fumure, semis (la mise en place d'une couche drainante et à décider de cas en cas)

Dépôt du remblai

pente finale: 5 %
cote finale env. - 150 cm

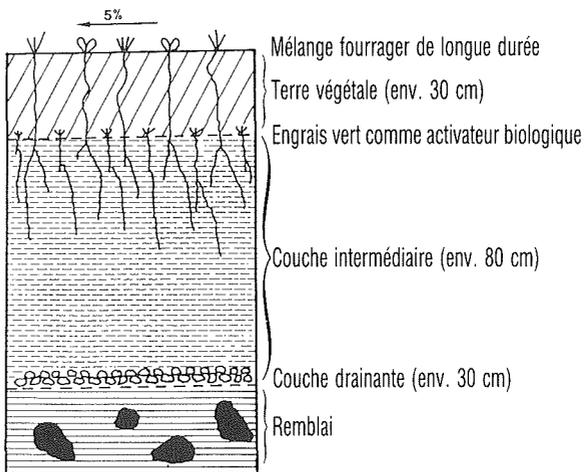


Figure 5: Déroulement des opérations de remise en culture

CONCLUSIONS ET THESES FINALES

L'exploitation du gravier a pour conséquence une modification – le plus souvent dévorable et irréversible – des sols agricoles et des conditions hydrologiques des sites exploités. Il est souhaitable que des dispositions légales appropriées soient prises pour assurer une protection des surfaces agricoles concernées, particulièrement dans les régions à vocation agricole marquée.

La procédure de remise en culture d'un sol agricole doit respecter les trois points suivants:

- taxation de la valeur du sol initial par une autorité compétente dans le but d'éviter des malentendus ultérieurs;
- accord préalable de toutes les parties concernées sur les plans de comblement et de reconstitution du sol;
- encadrement technique et contrôle intensif des opérations de remise en culture.

Un permis d'extraction de gravier ne devrait pas être délivré sans que des plans précis de remise en état des lieux aient été fournis. Une attention toute particulière devrait être vouée à la future utilisation agricole des surfaces concernées. L'éventualité de perte de surfaces agricoles utilisables ou de perte de qualité des nouvelles terres dans le périmètre envisagé doit être prise en compte. Dans tous les cas, une procédure précise de remise en culture du nouveau sol devrait être prévue au stade des projets d'exécution déjà.

Il est de fait que le gravier est un bien limité et que ses difficultés d'extraction iront en croissant à l'avenir. Il convient donc dès aujourd'hui de proposer une réflexion critique sur ce thème: le gravier, matériau noble, peut-il être réservé à certaines activités industrielles seulement, et être remplacé par des matériaux de substitution de moindre valeur pour d'autres activités?

INSTRUCTIONS TECHNIQUES SUR LA REMISE EN CULTURE DU SOL

Introduction

Les instructions ci-dessous constituent un guide pratique pour la remise en état de surfaces agricoles bouleversées. Comme l'obligation légale de rétablir les sols cultivables détruits est réglée très diversement d'un canton à l'autre, on propose ici des normes d'exécution. Celles-ci concernent toutes les cultures, et peuvent même s'appliquer aux forêts, quand bien même les opérations de reboisement sont du ressort des forestiers. Après avoir précisé certains termes, on décrit successivement les étapes des travaux.

Définitions

La terre végétale = couche humifère = horizon A est la couche supérieure du sol, épaisse de 30 cm environ, riche en matières organiques et colonisée par les racines. C'est là que se déroule la plus grande partie des échanges chimiques et de l'activité biologique (vers de terre, microbes).

Le sous-sol = couche intermédiaire = horizon B est la couche située directement sous la terre végétale, d'épaisseur variant entre 30 et 100 cm, pauvre en matières organiques et en racines, donc moins active.

La roche-mère = matériau parental = horizon C est la couche sous-jacente qui a donné naissance au sol. Elle est dépourvue de racines, et presque sans vie.

Opération préalable indispensable

Avant le début de travaux importants – exploitation de gravière, construction de routes et de canalisations – il convient de faire examiner le sol en place et d'en déterminer la valeur agricole initiale (carte pédologique par exemple). Ce travail peut être commandé à une Station fédérale de recherche agronomique (1260 Changins-Nyon, 8046 Zurich-Reckenholz).

Décapage et stockage de la terre

Le soin apporté à cette opération est une condition essentielle de réussite d'une bonne remise en état du sol. Une aire pour le stockage intermédiaire de la terre végétale doit être préparée, et la manipulation de cette terre demande un certain nombre de précautions. Les principaux dégâts qui peuvent être commis durant ces opérations ont trois origines:

- Tassements et contraintes excessives sur la terre végétale durant la manipulation.
- Mauvais écoulement de l'eau sous l'aire de stockage intermédiaire.
- Mauvaise économie en eau et en air dans la terre végétale stockée.

Pour prévenir de tels dégâts, il convient de prendre les mesures appropriées suivantes:

Ecoulement de l'eau:

On s'assure que la surface du dépôt présente une pente d'environ 5 %. Si le sous-sol est suffisamment perméable, on peut entreposer directement la terre. Dans le cas contraire, on installera des bras de drainage distants d'environ 15 m, et reliés à un collecteur.

Tassement et contraintes sur la terre végétale:

Le décapage de la terre végétale ne sera entrepris que sur un sol bien ressuyé, par temps sec, pour éviter des contraintes et des déformations mécaniques trop fortes. Le dépôt de terre ne doit pas être effectué en couches successives, mais en une fois, avec des engins déposant la terre puis s'éloignant en marche arrière.

Pour éviter des dégâts causés par un trop fort tassement (charge statique) la hauteur du tas ne dépassera pas 2,5 m, ce qui correspond à une hauteur finale d'environ 2,0 m après le tassement naturel du matériau.

Economie en eau et en air dans la terre végétale entassée:

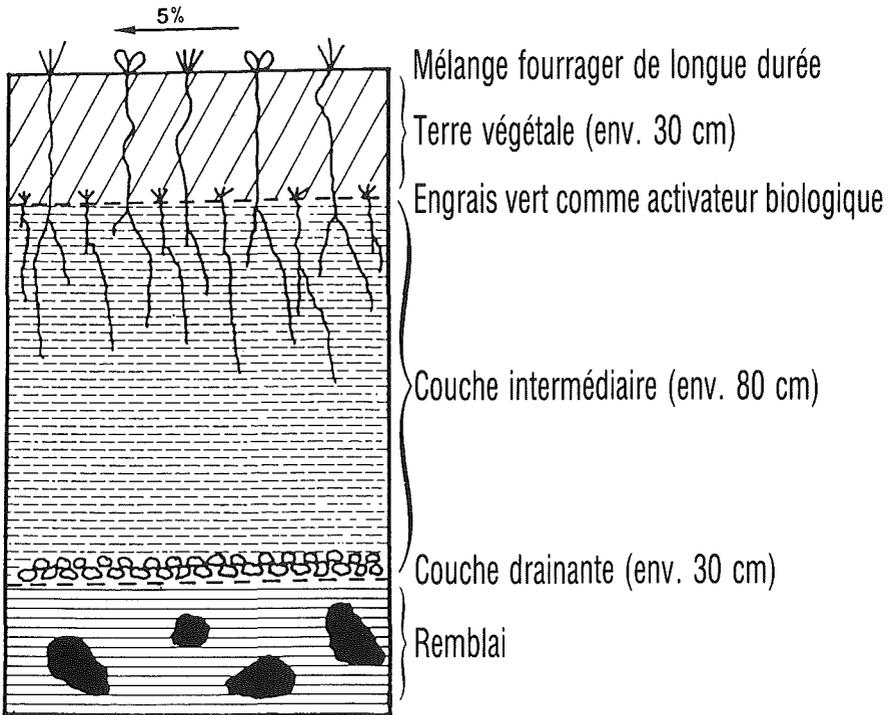
Dès que la terre végétale a été déposée, il convient de l'ensemencer sans délai. Cette opération permet d'entretenir l'**activité biologique** de la terre durant le stockage. En aucun cas, cette terre ne doit passer l'hiver sans couverture végétale protectrice. Cela sous-entend que le décapage et le stockage intermédiaire ne peuvent être effectués qu'entre mars et septembre. On sèmera des mélanges fourragers de longue durée et comportant plusieurs espèces. S'il n'est plus possible de semer (dès la mi-août déjà en certaines régions), on mettra néanmoins un engrais vert en place, le mélange fourrage n'étant semé qu'au printemps.

Reconstitution du sol

Préparation du fond ou du remblai

L'assise du futur sol est constituée soit du fond de la surface exploitée, soit de remblai apporté. Cette surface ne doit pas avoir subi de tassements excessifs; le cas échéant, il conviendra de les réduire par un passage de sous-soleuse de chantier.

Le matériau de remblayage est à déposer de façon que l'eau de pluie ne puisse stagner en surface. Donner au remblai une pente de 5 % environ. Si l'on ne veut pas prendre le risque de laisser percoler l'eau à travers le remblai, il faut isoler la surface avec une couche d'argile ou de silt peu perméable, puis déposer par dessus une couche drainante de gravier.



Déroulement des opérations de remise en culture

Mise en place du sous-sol

Déposer le sous-sol en une couche d'au mois 80 cm sur la couche drainante. Si l'on n'a pas assez de matériau à disposition, on peut utiliser du remblai de classe I (bonne qualité). Eviter de circuler sur le matériau fraîchement déposé, en vidant les bennes et en s'éloignant en marche arrière. Epandre ensuite l'engrais, semer une

dérobée d'hiver (colza) et laisser le sol reposer jusqu'au printemps suivant. Le sous-sol exige autant de précaution que la terre végétale, car il sera une partie essentielle du sol reconstitué. Si des zones humides apparaissent encore sur le remblai, il est préférable de les assainir avant de déposer le sous-sol.

Mise en place de la terre végétale

Au printemps suivant, on transfère la terre végétale du dépôt intermédiaire à la surface à reconstituer. On épand une couche d'au moins 30 cm de terre par dessus l'engrais vert semé précédemment. Il convient d'éviter absolument un tassement excessif de cette couche. La préparation du lit de semence et la fumure s'effectuent avec les machines agricoles usuelles. Ensuite, on sème sans délai un mélange de trèfle ou de luzerne et de graminées; d'ordinaire, les mélanges-standard du commerce suffisent!

Si cette dernière étape de remise en état s'effectue après la mi-août, il est souhaitable de reporter le semis du mélange au printemps, en semant néanmoins une culture dérobée hivernante.

Il est essentiel de ne jamais laisser le sol fraîchement reconstitué sans couverture végétale; de plus, on ne devrait pas labourer le sol durant les trois premières années.

Cas particulier des pistes de chantier

Un sous-sol tassé par les machines et les véhicules de chantier doit être ameubli à l'aide d'une sous-soleuse opérant à une profondeur minimale de 60 cm. Ensuite on procède comme il est prévue dans le chapitre «Mise en place du sous-sol» ci dessus.

BIBLIOGRAPHIE

La liste bibliographique présente successivement les textes fédéraux, les textes argoviens, les autres ouvrages cités et une liste non exhaustive de quelques textes cantonaux.

Lois et documents fédéraux

Loi fédérale sur la protection de l'environnement (à l'état de projet en 1983).

Code civil suisse, 12 décembre 1907.

Loi fédérale sur la protection des eaux contre la pollution, 8 octobre 1971.

Ordonnance générale sur la protection des eaux, 19 juin 1972.

Loi fédérale sur l'aménagement du territoire, 22 juin 1979.

Instructions pratiques pour la détermination des secteurs de protection des eaux.
Office fédéral de la protection de l'environnement, octobre 1977.

Carte des aptitudes culturales des sols de la Suisse, 1:300 000.

Département fédéral de justice et police, décembre 1975.

Loi fédérale sur le maintien de la propriété foncière rurale, 3 octobre 1951.

Loi fédérale concernant la haute surveillance de la Confédération sur la police des forêts, 11 octobre 1902.

Ordonnance fédérale sur les améliorations foncières, 14 juin 1971.

Lois et documents cantonaux argoviens

Einführungsgesetz zum eidg. Gewässerschutzgesetz, 11 janvier 1977.

Baugesetz, 2 février 1971.

Dekret über den Abbau von Steinen und Erden, 19 août 1980.

Landwirtschaftsgesetz.

Humusdeponie und Rekultivierung, 30 octobre 1979. Merkblatt Nr. 1 der Abt. Landwirtschaft, Strukturverbesserungen.

Autres ouvrages cités

Merkpunkte zur Erstellung von Humusdeponien und zur Rekultivierung von Deponie- und Auffüllflächen. F. Jäggli und E. Frei, 1977. Mitt. f. d. Schweiz. Landw. 9, 25, 181-184.

Zusammenstellung von Vorschriften und Richtlinien für den Abbau von Sand und Kies: Abbau, Grundwasserschutz und Abbauplanung vom 18. Mai 1972. Wiederherstellung, Gestaltung, Instandstellung für Landwirtschaftliche Nutzung vom 21. November 1978. FSK, Schweiz. Fachverband für Sand und Kies, 2560 Nidau.

Sources complémentaires

Instructions pratiques pour la protection des eaux dans l'agriculture, 1979. Offices fédéraux de l'agriculture, des améliorations foncières et de la protection de l'environnement.

Directives concernant l'emplacement, la préparation, l'exploitation et la surveillance de décharges aménagées, 1976. Office fédéral pour la protection de l'environnement.

Canton de St-Gall, Gesetz über die Raumplanung und das öffentliche Baurecht (Baugesetz), 6. Juni 1972.

SG: Nachtragsgesetz zum Baugesetz vom 6. Juni 1972, 24. November 1982.

Canton de Zurich. Gesetz über die Raumplanung und das öffentliche Baurecht (Planungs- und Baugesetz), 7. September 1975.

Canton d'Argovie. Humusdeponie und Rekultivierung. Merkblatt Nr. 2 der Abt. Landwirtschaft, Strukturverbesserungen, 11. November 1979.

Alther E.W. (1983): Gesetzliche Verankerung von Massnahmen zum Schutze des Bodens aus quantitativer Sicht. Bulletin BGS 7, 54–61.

Bardet L. (1983): Aspects juridiques de la protection du sol. Bulletin BGS 7, 51–53.

