

Agriculture et environnement



Tiré à part d'une série d'articles rédigés par des auteurs
de la Station fédérale de recherches
en chimie agricole et sur l'hygiène de l'environnement,
Liebefeld-Berne, parus dans la Revue UFA (éditions 1-12/1988)

Chère lectrice, cher lecteur,

Le thème "environnement" est aujourd'hui en vogue. Partout on parle, on écrit sur le sujet. Pourtant, ceux qui font le plus de bruit ne sont souvent pas les plus agissants.

Dans notre interview, dès la page 4, Joseph von Ah, Directeur de la FAC Liebefeld-Berne, constate: Même dans l'agriculture, on tente plus volontiers d'écartier les agressions toujours plus nombreuses contre l'environnement que de leur porter remède. Notre interlocuteur regrette également le manque de vraie sensibilisation et le considère comme le problème crucial.

En effet, nos connaissances sont vastes, mais nous n'agissons que peu. Pourtant, dans l'intérêt de l'environnement, chaque individu pourrait être actif. Naturellement, les effets ne sont pas spectaculaires, mais la progression se fait par petits pas.

Pour débattre plus longuement de cette question, pendant toute l'année, différents auteurs de la FAC traiteront pour vous le thème "agriculture et environnement".

Amicalement vôtre

Markus Rediger



UFA
REVUE

ORGANE D'INFORMATION DESTINÉ AUX MEMBRES
DES COOPÉRATIVES AGRICOLES

Editeur

Union des fédérations coopératives agricoles de la Suisse,
Case postale 2739, 3001 Berne
Coopérative UFA, UCAR Lausanne,
FSA Fribourg, VLG Berne, Nordwestverband Soleure, VLGZ Sursee, Agricola Ticinese Bellinzona, VOLG Winterthour, GVS Schaffhouse, Landverband St-Gall

Rédaction

Markus Rediger, Ing. Agr. EPFZ

Edition et régie des annonces

UFA-Revue, Case postale B572,
3001 Berne, Erlachstrasse 5,
tél. 031/50 33 45, télex CH 32 166,
compte de chèques postaux 84-7922

Impression

AVD-Druck, Goldach

Abonnements

Prix d'abonnement pour non-membres Fr. 15.- (tout paiement de Fr. 15.- sur le compte de chèques postaux 84-7922 Coopérative UFA, 8401 Winterthour, tient lieu de commande)

Tirage certifié

allemand 76 000 exempl., français 16 000 exempl., total 92 000 exempl.

Parution

11 x par an

PAPIER SUISSÉ

Sommaire

L'agriculture, une menace ou une protection pour l'environnement?

Un thème actuel, une interview qui donne une idée des activités de la FAC

4



Agriculture et environnement

Plus que jamais l'agriculteur dépend des indications données par les Stations fédérales sur la manière de produire en ménageant l'environnement. J. von Ah nous renseigne *Page 4*

Analyses de plantes et de sol

pour l'amour de l'environnement

8

Le phosphore

Une charge pour l'environnement

10

Quantité et qualité des engrais de ferme et des déchets

13



Les métaux lourds mettent les plantes en danger

16

L'ozone entrave la croissance des plantes

Le polluant ozone réduit les capacités de production des plantes cultivées. Pour les USA, on estime la perte engendrée à 3 milliards de dollars. Et en Suisse? *Page 23*

Pollution de l'air

L'agriculture: victime ou cause?

19

L'ozone occasionne des pertes aux cultures

23



Lessivage des nitrates l'agriculteur perd de l'argent

26

Tous les engrais

vendus sur le marché suisse sont contrôlés par la FAC Liebefeld. On peut donc se fier aux teneurs annoncées et planifier leur utilisation en conséquence. *Page 28*

Contrôle des engrais à la FAC au service des agriculteurs

28

Page de couverture

L'environnement et l'agriculture, plus que jamais confrontés l'un à l'autre. Photo: K. Wepfer

Mise en valeur des déchets les possibilités

30

Toute reproduction d'articles et d'illustrations ainsi que d'extraits ou coupures dépend d'une autorisation expresse de la rédaction ou de la FAC.

Editorial



Jean-Claude Piot,
directeur de l'Office fédéral
de l'agriculture,
3003 Berne

L'agriculture peut être nuisible à la qualité de l'environnement. Ce fait n'est pas nouveau pour les experts. Mais l'idée s'est-elle aussi imposée à notre paysannerie? Certes – du moins en principe.

Un grand nombre d'agriculteurs suisses considèrent comme possible, et même vraisemblable, que certaines formes d'exploitation agricole représentent un danger pour le sol et l'eau. C'est du moins la conclusion à laquelle est arrivée une étude effectuée dans le cadre du Programme national de recherche «Sol», publiée en 1988. Il est vrai que, selon ledit rapport, la plupart des agriculteurs considèrent que leur propre exploitation n'est pas responsable de la pollution de l'environnement. Faut-il y voir un contresens?

A vrai dire, non. Car l'étude en question révèle aussi que l'intérêt des agriculteurs à parfaire leurs connaissances en rapport avec les problèmes de la protection de l'environnement est considérable. De plus, un grand nombre d'entre eux seraient même disposés à effectuer un supplément de travail aux fins de ménager le milieu naturel, pour autant qu'ils ne subissent pas une perte de revenu. Ce sont là, sans contredit, des conditions qui ont leur importance en rapport avec une production respectueuse de l'environnement. Elles reflètent aussi les objectifs primordiaux de la politique agricole poursuivie par la Confédération. En effet, cette dernière s'efforce de promouvoir une agriculture capable d'assurer une production de bonne qualité, sans porter atteinte, pour autant, à l'environnement. La production dite intégrée y satisfait; pratiquée de manière réfléchie et ra-

tionnelle, elle représente la voie à suivre. Dans ce contexte, les facteurs de production tels que l'énergie, les engrais et les produits phytosanitaires sont utilisés au mieux, c'est-à-dire aussi parcimonieusement que possible.

Mais l'agriculture doit encore tenir compte d'autres objectifs. Par exemple, de la rentabilité et de la compétitivité. Même si la diversité des objectifs peut, en certaines situations, générer des conflits, l'agriculteur devrait être à même de juger par lui-même de la meilleure manière d'agir aux fins d'éviter de graves atteintes à l'environnement.

Les agriculteurs ne sauraient être considérés uniquement comme des pollueurs potentiels; ils sont, eux aussi, victimes de la dégradation qualitative de l'environnement. La présente brochure le met aussi en évidence. Dans l'ensemble, elle donne un excellent aperçu des problèmes qui existent entre l'agriculture et l'environnement. Elle traduit en même temps le souci des stations fédérales de recherches d'aider de leur mieux les agriculteurs à utiliser des méthodes appropriées, à les conseiller et à les encourager dans le sens voulu.

C'est à la Station fédérale de recherches en chimie agricole et sur l'hygiène de l'environnement (FAC), dirigée par le professeur von Ah, qu'il incombe de coordonner, en les supervisant, tous les travaux entrepris en matière d'écologie par les différentes stations fédérales. La brochure documente dans le détail la compétence et les efforts de la FAC dans ce domaine. Elle expose l'importance donnée par la recherche agronomique aux problèmes relatifs à l'environnement. A l'avenir, des connaissances précises concernant les rapports entre l'écologie et l'agriculture joueront un rôle de plus en plus important. Collaborant avec les services de vulgarisation, la science indiquera aux agriculteurs comment produire tout en ménageant la qualité du milieu vital.

J.C. Piot

Notre agriculture, une menace ou une protection pour l'environnement?

La question a été débattue lors d'un entretien avec J. von Ah, directeur de la Station fédérale de recherches de chimie agricole et d'hygiène du milieu naturel (FAC) et fera l'objet de divers articles dans la Revue UFA en 1988. L'enjeu ne peut se réduire à une réponse par oui ou non. Les différents aspects qui seront abordés devraient permettre d'y voir plus clair.

Revue UFA: *Quelle est la raison d'être de la FAC? Pouvez-vous esquisser des priorités dans les activités de votre Station?*



Markus Rediger
rédacteur
Revue UFA
3001 Berne

Prof. Dr Joseph von Ah: Notre Station est bientôt centenaire. Durant cette période, les priorités dans les activités ont passablement évolué. Le cadre actuel des recherches sur l'environnement et sa protection a été défini par le Conseil fédéral en décembre 1972. En bref, nos recherches s'appliquent aux relations entre l'agriculture et la protection des bases vitales:

l'air, le sol, l'eau (voir encadré).

Notre travail présente deux volets importants. D'une part la détermination de la charge, sur la production agricole (sols, cultures, animaux), des immissions atmosphériques et de l'usage de sous-produits. D'autre part la production agricole elle-même a également un impact sur l'environnement. A Liebefeld, nous nous occupons de tous les effets éventuellement défavorables de la fumure sur les sols et les eaux, ainsi que de la qualité de l'air en fonction des pertes d'azote provenant de l'élevage.

Deux domaines enfin sont en pleine expansion: la mise en place du projet national de surveillance des sols (NABO) ainsi que le contrôle des engrais du commerce et des boues d'épuration.



Le Prof. Dr. J. von Ah, FAC, lors de notre interview.

aussi par leurs propres procédés de production.

Revue UFA: *L'agriculteur peut-il bénéficier directement de prestations de la FAC? Lesquelles?*

J. von Ah: En plus de la connaissance de nos travaux, les agriculteurs peuvent faire effectuer des analyses de sol et d'engrais. Le contrôle des engrais dont nous sommes chargés pour les engrais du commerce, les boues d'épuration, les substances amélioratrices des sols, les adjuvants destinés aux engrais de ferme et aux sous-produits utilisés comme fertilisants et les produits de compostage renseigne sur leur efficacité et leurs éventuels effets secondaires défavorables. Nous recommandons sur l'emploi correct des fertilisants, en collabora-



Le Conseiller fédéral Furgler en discussion sur des problèmes d'engrais de ferme avec des visiteurs de la Suisse orientale et le chef de la section engrais et fumures.

Revue UFA: *Qu'advierait-il de l'agriculture si la FAC n'existait pas?*

J. von Ah: Les déterminations obtenues grâce aux travaux de la FAC ne seraient pas disponibles. Le bien-fondé de la qualification de «pollueurs de l'environnement» faite parfois aux agriculteurs ne pourrait être ni démenti ni confirmé. L'agriculture aurait de la peine à réfuter de fausses accusations. La contribution des agriculteurs au maintien d'un environnement vivant, à la sécurité de notre approvisionnement, à la configuration du paysage tomberait dans l'oubli. Les agriculteurs réaliseraient aussi difficilement les dangers auxquels sont exposées les bases de leur production, comme le sol et l'eau

tion avec les autres Stations fédérales. Un accent particulier est mis sur l'emploi des engrais de ferme, que nous souhaiterions voir utilisés encore mieux à propos, au bon moment, en quantités adéquates, complétés que modérément par des boues d'épuration et des engrais du commerce.

Revue UFA: *Qui détermine en fait les domaines d'activité de la FAC? L'environnement, les agriculteurs ou la Confédération?*

J. von Ah: Tous trois dans l'ordre cité. Notre programme de travail quadriennal comporte des projets à entreprendre à court terme (p. ex. les directives de fumure basées sur les analyses de sol). A moyen terme, nous étudions p. ex. l'action de l'ozone sur la culture des

champs. A long terme, nous cherchons entre autres à établir des relations entre les résultats des mesures du NABO et le maintien de la fertilité des sols. Des thèmes de recherches proviennent souvent aussi des contacts étroits que nos collaborateurs entretiennent avec les agriculteurs ou les services de vulgarisation.

Les programmes de travail sont soumis à une commission consultative, puis approuvés par l'Office fédéral de l'agriculture. L'Office fédéral charge aussi ses Stations de recherches d'émettre des avis de nature technique, conformément aux dispositions légales sur l'environnement. La FAC a une mission de coordination entre les Stations de recherches et d'au-

ont tout intérêt à une amélioration de la qualité de l'air.

Schweizerhalle démontra que le stockage de substances auxiliaires pour l'agriculture comporte des risques. Le trafic de ces substances requiert beaucoup de précautions.

De telles conclusions sont portées à la connaissance des agriculteurs. Par des appels téléphoniques alarmés, des lettres et des communiqués dans les médias, des catastrophes comme Tschernobyl et Schweizerhalle suscitent des demandes de renseignements et d'explications scientifiques. Des questions nous sont aussi fréquemment posées à propos de la pollution croissante et insidieuse de l'air et de l'eau, que nous constatons malheureusement

trées à problèmes sont partiellement déjà circonscrites, notamment celles qui accusent une teneur trop élevée en métaux lourds. Il incombe aux cantons de déterminer la fertilité de ces zones et de chercher à y porter remède en collaboration avec la Confédération (FAC et Office fédéral pour la protection de l'environnement).

Un **réseau national d'observation**, le **NABO**, est en cours d'installation pour la surveillance et l'interprétation de la pollution du sol par des substances dangereuses. En regard de la surface agricole utile totale de la Suisse, la surface menacée n'est pas (encore) très étendue. A ce jour, 50 des 100 stations de mesures prévues sont en fonction. Ces dernières

renseignent notamment sur les accumulations de cadmium, de cuivre, de nickel, de zinc et de plomb. Ces mesures – à part quelques exceptions – ne montrent jusqu'ici aucune valeur critique d'accumulation.

Quelle est la signification des modifications observées, p. ex. les valeurs plus élevées trouvées? Une réponse claire à la question d'interprétation de ces modifications de l'environnement exigera encore beaucoup de travail. On peut déjà affirmer aujourd'hui que l'air et l'eau peuvent s'épurer, que le sol atteint dans sa fertilité ne se laisse pas facilement restaurer. Un brusque accroissement des charges polluantes serait alarmant. Il est préférable d'éviter d'en arriver là.



Essai en plein champ servant à apprécier l'effet de l'ozone sur du blé de printemps.



De nombreux agriculteurs, écoliers, étudiants, conseillers et consommateurs visitent chaque année la Station de recherches. Le chef du service de conseil et d'information donne des explications sur des essais en plein champ.

tres institutions pour toutes les questions touchant à l'environnement.

Revue UFA: *Les activités de la FAC ont-elles été influencées par les récentes catastrophes comme Tschernobyl, Schweizerhalle et l'accroissement de la pollution de l'air et de l'eau?*

J. von Ah: La vulnérabilité de l'agriculture a été mise en évidence suite au rayonnement radio-actif d'après Tschernobyl. La situation créée constituait en quelque sorte un modèle pour l'examen des effets de substances toxiques sous forme gazeuse et de poussières transportées par l'air et les pluies sur les cultures et les sols. Chaque heure et chaque jour, toutes les années, l'agriculture est exposée aux effets des pollutions atmosphériques. Les agriculteurs

aujourd'hui en beaucoup d'endroits.

Revue UFA: *L'accroissement de la charge polluante de l'air, de l'eau et du sol par le milieu ambiant peut-elle se déterminer à court terme? Des données comparatives durant les années antérieures ne font-elles pas défaut, puisque personne ne se souciait alors de faire des mesures?*

J. von Ah: Comme je le disais tout à l'heure, les mesures d'un état et de ses variations sont tout à fait réalisables. Différentes études démontrent clairement l'ampleur de la pollution de l'air et de l'eau. La diminution de cette charge polluante grâce aux mesures prises en dehors et dans l'agriculture est également établie.

Pour le sol, la situation se présente comme suit: Les con-



Les analyses de sol servent aux conseils de fumure et aussi, à long terme, à la protection des sols contre les substances nuisibles.

Station fédérale de recherches de chimie agricole et d'hygiène du milieu naturel

Agriculture et environnement

Dans cette série exclusive, des auteurs compétents de la FAC Liebefeld-Berne publieront différents articles sur le thème général: agriculture et environnement.

Revue UFA: *Votre Station étudie les corrélations qui existent entre les plantes et l'environnement. Pouvez-vous confirmer les affirmations d'Albert Hofmann parues dans la Revue UFA 10/87, p. 13, selon lesquelles la mort des forêts pourrait s'étendre à celle des cultures agricoles, ce qui compromettrait les bases alimentaires de l'humanité?*

J. von Ah: Une brève réponse à cette question très complexe serait la suivante: il y a d'importantes différences entre l'«écosystème forêt» et l'«écosystème agriculture». Il n'est par conséquent pas tout à fait correct de tirer des conclusions valables pour l'agriculture à partir de la forêt. Les affirmations de Hofmann ne peuvent dès lors à ce jour être ni confirmées, ni démenties.

Est-il par ailleurs indispensable de donner une réponse à cette question? Dans tous les cas on sait déjà maintenant que les sols peuvent pâtir d'une charge en substances nuisibles. Il est également déjà connu depuis longtemps que les substances nuisibles provenant de l'air, en particulier l'ozone, peuvent causer des dégâts aux plantes.

Revue UFA: *Votre programme de travail comprend des projets de mise en valeur de déchets par l'agriculture. Est-il envisageable*



Le rédacteur de la Revue UFA en conversation avec le directeur de la FAC, J. von Ah.

que l'agriculture utilise encore davantage ces produits à l'avenir?

J. von Ah: Parmi les déchets

recyclables figurent en premier lieu les boues d'épuration. (Les engrais de ferme ne sont pas considérés comme des déchets.)

Qu'est-ce que la FAC?

Sept Stations de recherches dépendent de l'Office fédéral de l'agriculture. La Station de chimie agricole et d'hygiène du milieu naturel (FAC) de Liebefeld s'occupe particulièrement des bases vitales constituées par l'air, le sol et l'eau. — Voici quelques priori-

tés parmi les travaux de recherches et de conseils:
— influence de la pollution atmosphérique sur les plantes, les sols, l'eau et les animaux
— influence de procédés agricoles, particulièrement de la fumure, sur les plantes, les sols et l'eau

— mise en valeur des engrais de ferme; mise en valeur et élimination des substances organiques de déchets
— effet du rayonnement radioactif sur l'agriculture, notamment sur les sols, les plantes et les animaux domestiques

— mise en place et exécution du projet national de surveillance des sols (NABO)
— contrôle et autorisation d'emploi des fertilisants, des engrais du commerce et des boues d'épuration
— exécution d'analyses de sol, conseils de fumure.



La Station fédérale de recherches de chimie agricole et d'hygiène du milieu naturel (FAC) à Liebefeld est issue d'un Institut bernois.

Nous sommes d'avis que l'emploi raisonné de **boues analysées et conformes** est économiquement intéressant pour l'agriculture ainsi que pour le reste de la communauté, de même que sensé du point de vue écologique. Les alternatives à la mise en valeur par l'agriculture sont la simple élimination en décharge ou l'incinération. Des substances de valeur sont alors perdues. L'incinération charge en outre l'atmosphère, ce qui est discutable du point de vue écologique. L'agriculture est inévitablement atteinte par tous les procédés d'élimination.

Revue UFA: *Quelles sont vos relations avec l'agriculture biologique?*

J. von Ah: Notre programme de travail comprend une série de

déral s'est prononcé sur la question de conflits éventuels entre l'économie et l'écologie. La situation n'est pas telle que l'agriculture doit de toute façon s'incliner devant des impératifs écologiques. L'agriculture a en effet façonné notre culture et nos paysages depuis des siècles. Le premier objectif de la législation agricole vise à la sécurité d'approvisionnement en denrées alimentaires en périodes normales et de crise. Le mot d'ordre est donc «un développement parallèle de l'économie et de l'écologie». Les deux aspects sont d'égale importance, même si certaines oppositions peuvent apparaître. A titre d'exemple on peut citer la controverse entre la mise en valeur des sols ou le surdosage d'en-

ces questions semblent souvent davantage considérées par l'agriculture comme des contraintes que comme de réels problèmes à résoudre. Même si l'on parle aujourd'hui beaucoup d'environnement.

Si une vraie sensibilisation était plus développée, la Station n'emploierait pas autant de temps à lutter pour les effectifs de son personnel, à contrôler autant de prescriptions légales, à constater des défauts à tous les niveaux dans la législation sur l'environnement et à mesurer finalement une détérioration plutôt qu'une amélioration des conditions de vie.

Ce que j'évoque ici n'est pas spécifique à l'agriculture, mais concerne plutôt l'ensemble de la société. Nous considérons du

Station fédérale de recherches de chimie agricole et d'hygiène du milieu naturel

Agriculture et environnement

Dans cette série exclusive, des auteurs compétents de la FAC Liebefeld-Berne publieront différents articles sur le thème général: agriculture et environnement.

devoir de notre Station de soutenir efficacement les agriculteurs dans leurs efforts pour un environnement sain, mais aussi d'aplanir les difficultés qui se présentent par de meilleures relations.



L'effet du cadmium sur les plantes et la croissance des racines est testé sur le maïs.



Les procédés d'analyses chimiques ont fortement évolué ces dernières années. Il est aujourd'hui possible de détecter de très faibles quantités de substances indésirables ou toxiques dans l'air, l'eau, le sol ou les plantes.

projets qui intéressent l'agriculture biologique. L'essai DOC, que nous menons en collaboration avec l'Institut suisse d'agriculture biologique à Oberwil BL est particulièrement significatif. L'objectif de l'essai est de comparer la production quantitative et qualitative de grandes cultures selon les trois systèmes biologique-dynamique, biologique-organique et conventionnel, avec en plus une variante zéro. – La collaboration entre la Station et l'Institut est excellente.

Revue UFA: *L'économie et l'écologie représentent souvent des exigences contradictoires pour l'agriculteur. Laquelle doit primer?*

J. von Ah: Dans le 6^{ème} Rapport sur l'agriculture, le Conseil fé-

grais dans les régions sensibles du point de vue écologique. La recherche sur l'environnement agricole peut fournir une importante contribution pour un débat objectif dans des situations de conflit.

Revue UFA: *Quel problème considérez-vous comme le plus important pour votre Station en tant que directeur?*

J. von Ah: Je pense que le problème le plus important est le manque fréquent de vraie sensibilisation: le fait que le sol est menacé aux points de vue quantitatif et qualitatif, que la pollution de l'air peut nuire au sol, aux plantes, aux animaux et aux hommes, que certains procédés de production agricole peuvent porter préjudice à l'eau, au sol et à l'air – toutes



Les lysimètres de Liebefeld permettent de mesurer le lessivage de substances nutritives, comme les nitrates, sous différentes cultures.

Analysons les plantes

La plante est la base de l'alimentation animale et humaine; une plante saine est garante d'une production végétale de qualité; doublée d'un plan d'affouragement équilibré, elle est la clé d'un bon rendement en viande, lait, œufs, etc. Chaque paysan le sait.

Chaque agriculteur sait aussi que pour assurer la qualité il lui faut faire analyser régulièrement ses sols – conseils de fumure – et ses plantes pour



Raoul Ch. Daniel,
Ingénieur-chimiste,
docteur ès sciences

mettre en évidence une éventuelle carence ou, au contraire, une pollution indésirable. Ce qu'il ignore généralement, mais personne ne lui en fera le reproche, c'est comment se déroule cette analyse. Ce bref article a pour but de lui faire franchir le seuil du laboratoire et découvrir de quelle façon naissent les chiffres de son bulletin d'analyse.

Nous n'aborderons que l'aspect de la constitution minérale des plantes, laissant pour une autre occasion leur composition organique (cellulose, amidon, protéines, fibres, matière grasse, vitamines, etc.); de même, nous n'évoquerons pas l'analyse des sols.

Qu'allons-nous analyser?

Les éléments les plus importants, à savoir: phosphore (P), calcium (Ca), magnésium (Mg), potassium (K), fer (Fe), manganèse (Mn), cuivre (Cu), zinc (Zn), sans oublier l'azote (N) à cheval entre les domaines minéral et organique. Pourquoi ceux-là plutôt que d'autres, la nature en comporte pourtant 92? Ce sont les principaux du point de vue végétal (voir encart 1). Nous nous intéressons aussi aux métaux lourds – cadmium (Cd), chrome (Cr), mercure (Hg), nickel (Ni) et plomb (Pb), pour ne citer que les plus courants – indicateurs de pollution et que l'on retrouve aussi bien dans les «mauvaises»

boues d'épuration que dans les poussières et la pluie qui nous tombent du ciel.

Préparons l'échantillon

Le premier pas c'est à vous, amis paysans, de le faire et de le bien faire; de vous dépend la moitié de la réussite de l'analyse, même si vous ne vous en doutiez pas. Précisions; le **petit échantillon** que vous envoyez **doit représenter l'ensemble d'une grande quantité** du même pro-

duit, foin, paille, herbages, sol, etc. Dans notre jargon nous disons que l'échantillon doit être «représentatif». C'est à cette seule condition que les chiffres qui découleront de l'analyse auront une signification réelle. Si vous avez des doutes sur la façon de procéder au prélèvement, téléphonez-nous (031/598111), nous vous conseillons.

Prenons l'exemple d'un échantillon «représentatif» de



Pour les grandes séries d'analyses le spectromètre automatique de fluorescence de rayons X; il peut travailler jour et nuit quasiment sans surveillance.



L'échantillon à analyser doit être représentatif de l'ensemble de la récolte.

ray-gras. Arrivé chez nous il est séché, moulu et bien mélangé (homogénéisé). C'est à partir de ce produit que seront faites les analyses.

Pour la spectrométrie de fluorescence de rayons X (une **méthode** d'analyse purement **physique**) qui nécessite une poudre très fine, l'échantillon subira une 2^e mouture qui l'amènera à une finesse d'environ 0,02 à 0,1 (max.) mm. Il sera ensuite pastillé dans une presse avec une force de 20 tonnes. Cette tablette n'a plus qu'à être introduite dans le spectromètre de fluorescence de rayons X.

La **méthode chimique** est moins exigeante (en règle générale) et se satisfait de la poudre obtenue après la première mouture. Par contre la matière végétale n'est pas directement soluble dans l'eau ou les acides (vos plantes ne fondent pas à la pluie...!); or pour toute méthode chimique il faut un liquide, une «solution» disons-nous. Deux chemins s'ouvrent: la «calcination sèche» ou la «digestion acide».

La première consiste à brûler dans un four la matière organique de la plante; il ne subsiste alors que la partie minérale, les cendres. Celles-ci sont dissoutes dans un acide et on obtient la solution désirée.

La seconde implique un traitement à haute température (plus de 350 °C) et en présence d'acides sulfurique, nitrique, voire perchlorique. Il en résulte aussi une solution, mais dont le maniement est souvent beaucoup moins aisé dans les appareils modernes d'analyse.

A la FAC nous utilisons essentiellement la première technique.

Comment procéder à l'analyse?

Plusieurs méthodes s'offrent au chimiste selon la nature des éléments à déterminer et leur concentration dans l'échantillon.

La plus répandue actuellement est la spectrométrie d'absorption atomique en flamme air-acétylène, ou en four en gra-

élément de l'échantillon produit un rayonnement (dit de fluorescence). Il suffit d'analyser ce rayonnement pour connaître la composition de l'échantillon. Cette méthode a le grand avantage d'être beaucoup plus rapide que la précédente et de pouvoir fonctionner jour et nuit pratiquement sans surveillance. Une aubaine en

au laboratoire en travail de routine; des progrès importants permettent de dire qu'aujourd'hui elle a atteint le degré de maturité nécessaire. Sa mise en œuvre dans les prochains mois, notamment pour les analyses de métaux lourds dans les sols et les engrais du commerce, aura nécessité un suivi de plus de 10 ans.

Notre souci premier porte sur une amélioration constante de nos prestations, tant internes qu'externes. A cet effet les mesures de rationalisation (simplification des méthodes et des procédés) et d'automation (appareils travaillant «tout seul») représentent une part importante de nos travaux de développement. Mais ces deux concepts se sont fondus en un seul avec le temps et ont conduit à la notion «d'analyse intégrée»: l'analyse ne se fait plus seulement automatiquement, mais les résultats qu'elle livre sont traités directement par ordina-

Station fédérale de recherches de chimie agricole et d'hygiène du milieu naturel

Agriculture et environnement

Dans cette série exclusive, des auteurs compétents de la FAC Liebefeld-Berne publieront différents articles sur le thème général: agriculture et environnement.

Aperçu du rôle des principaux minéraux des plantes

Éléments majeurs

Azote, N: constituant des protéines, vitamines, enzymes, bases organiques.

Phosphore, P: nécessaire à la formation des graines, des semences, de l'amidon; participe à de nombreuses réactions enzymatiques.

Potassium, K: intervient dans de nombreuses réactions enzymatiques; participe avec P à la synthèse des protéines.

Calcium, Ca: joue un rôle dans la formation des membranes cellulaires.

Magnésium, Mg: constituant de la chlorophylle; active les enzymes.

Soufre, S: constituant des protéines, des vitamines, des enzymes.

Oligoéléments

Fer, Fe: joue un rôle dans la photosynthèse et dans de nombreuses réactions enzymatiques.

Manganèse, Mn: participe aux réactions enzymatiques de la respiration et à la synthèse des protéines; stimule la formation des hydrates de carbone.

Cuivre, Cu: intervient dans les phénomènes d'oxydation/respiration.

Zinc, Zn: favorise la formation de substances de croissance.

Bore, B: améliore le métabolisme des sucres/hydrates de carbone.

Molybdène, Mo: chez les légumineuses indispensable à la formation des nodules (fixation de l'azote atmosphérique); intervient dans la réduction des nitrates et la synthèse de la vitamine C.



Rationaliser, c'est simplifier les méthodes. Cette opération, extraction et pipettage manuel (à gauche), doit céder le pas à des méthodes plus rapides, ici spectromètre d'absorption atomique en four en graphite pour les oligo-éléments et les métaux lourds (à droite).

phite, principalement pour les métaux lourds.

La solution d'échantillon préparée précédemment trouve ici son emploi, elle est aspirée dans la flamme où chaque élément absorbe un rayonnement qui lui est propre et dont l'intensité est proportionnelle à sa concentration dans la solution; l'appareil pourra ainsi déterminer la teneur de l'élément considéré dans l'échantillon.

La spectrométrie de fluorescence de rayons X se prête particulièrement bien à l'analyse des solides. La tablette préparée tout à l'heure lui convient à merveille. Placée sous les rayons X de l'appareil, chaque

ces temps de restriction de personnel!

Qu'apportera le futur?

Le futur a déjà commencé... à la FAC depuis bien longtemps.

Suivre l'évolution des techniques est pour nous une tâche quotidienne. Le choix et la mise en œuvre de nouveaux matériels nécessitent plusieurs années de préparations, d'essais, de développements. A titre d'exemple: l'installation prochaine d'un spectromètre d'émission en plasma est à l'étude depuis les années septante. La méthode, nouvelle à l'époque, ne paraissait pas encore assez sûre pour être utilisée

Un gain de temps important est réalisé, de nombreuses erreurs de transcription peuvent être évitées, mais une surveillance très stricte des valeurs «en fin de chaîne» est indispensable. L'homme doit rester maître de la machine.

Chacun pour soi ou tous ensemble?

Pour conserver cette maîtrise de la paire «méthode-machine» il faut pouvoir la contrôler. Dans ce but divers institutions nationales ou internationales ont créé des «**étalons végétaux pour l'analyse chimique**». Ce sont des plantes qui ont été analysées par diverses méthodes

et répartis dans sept pays européens) qui met à disposition des chercheurs intéressés de tels étalons. Ce travail ne serait absolument pas réalisable seul; ici aussi **l'union fait la force**.

Ce n'est pas le seul domaine où des contacts internationaux permettent une réduction des coûts de la recherche. L'échange d'informations concernant l'appareillage analytique à utiliser, ou les expériences faites avec telle ou telle méthode conduit à des économies substantielles de travail et par conséquent de temps, de personnel et en fin de compte d'argent. Nous aussi sommes contribuables...!

L'agriculture fertilise-t-elle nos lacs?

Dans l'agriculture, les quantités épandues d'engrais de ferme, du commerce et provenant de résidus contiennent 10 fois plus de phosphates que les eaux d'égout de l'ensemble de la population. Il est donc nécessaire, pour préserver les eaux, d'exploiter ces quantités énormes avec le plus grand soin.

Le phosphore (symbole chimique = P) est un élément très important pour toutes les formes de vie. Il est indispensable aux hommes, animaux,



Dr Otto Furrer, vice-directeur, Station fédérale de recherches, Liebefeld

plantes et microorganismes. Il participe à de nombreux processus vitaux, la plupart du temps sous forme de phosphate (PO_4^{3-}). Lorsqu'un être vivant manque de phosphore, de graves troubles carenciels peuvent apparaître. Un excès peut aussi entraîner des dérangements. On peut en déduire pour la fertilisation et l'affouragement les conclusions suivantes:

- P: - Dosage correct
- Un manque est mauvais
- Un excès est dangereux

Le phosphore: un danger pour les lacs

Le phosphore est également un élément essentiel pour les algues. Plus même: le phosphate est généralement la substance limitant la croissance des algues dans les lacs (facteur limitant).

Chaque kilogramme de P soluble parvenant dans un lac provoque un supplément de production d'algues d'environ une tonne. Pendant la croissance de ces algues, quelque 150 kilogrammes d'oxygène (O_2) se forment à la surface du lac. Par contre, lors de la décomposi-

PHOTO DE J. DETTWILER OFE



Le «jus» du fumier est riche en phosphore. C'est pourquoi il faut faire en sorte qu'il se déverse dans la fosse à purin (construction d'une rigole), pour éviter à tout prix qu'il ne parvienne dans un ruisseau via un caniveau.

tion des algues mortes, 150 kilogrammes d'oxygène également sont utilisés au fond du lac. Si l'on soustrait cette quantité d'oxygène à 20 000 m^3 d'eau, on assiste à la dégradation d'une «bonne» eau ($10g O_2/m^3$) en eau morte ($2,5g O_2/m^3$).

1 kg de P dans un lac provoque:

- la formation de 1000 kg d'algues
- l'utilisation de 150 kg d'oxygène
- l'altération de 20 000 m^3 d'eau.

Du phosphore en surabondance

Au cours de ce siècle, la production de phosphore s'est accrue énormément. Parallèlement, l'utilisation de P dans les engrais, fourrages, produits de lessive, etc... a fortement augmenté; d'où une accumulation de phosphore dans le sol, les plantes, les fourrages, les engrais de ferme, les eaux d'égout, les boues d'épuration et les eaux.

Rationnel? On assiste à la détérioration de l'environnement due au gaspillage d'une matière première (P) dont les réserves ne suffisent que pour environ 200 ans.

Bilan du phosphore

L'agriculture helvétique «transforme» de grandes quantités de phosphore. Approximativement, on répand chaque année les quantités de P suivantes sur la surface agricole utile (SAU) de notre pays:

Engrais de ferme:	30 000 tonnes de P
Engrais du commerce:	20 000 tonnes de P
Boues d'épuration:	2 000 tonnes de P
Pluies:	1 000 tonnes de P

Au total, cela représente plus de 50 000 tonnes de P, environ 10 fois plus que ce que contient l'ensemble des eaux usées de la Suisse.

Des 50 000 tonnes de P apportées chaque année au sol,

seules quelque 30 000 tonnes sont absorbées par les plantes (4 000 tonnes dans les produits alimentaires, 26 000 tonnes dans les fourrages). Les 20 000 tonnes de phosphore restant sont emmagasinées dans le sol. Voilà pourquoi nos sols deviennent de plus en plus riches en P. On peut constater clairement ce phénomène lorsque l'on compare des échantillons de sol d'antan (1946-54, 4 000 échantillons) avec ceux d'aujourd'hui (1975-80, 16 000 échantillons) (fig. 2). Si, à l'époque, 83% des échantillons étaient encore pauvres en phosphore et 4% seulement trop riches, de nos jours, 60% sont trop riches.

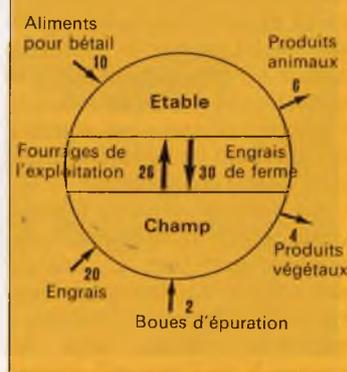
Engrais phosphatés dans le sac d'aliments

Par l'achat de fourrages du commerce, les agriculteurs helvétiques acquièrent environ 10 000 tonnes de P par année. Cela équivaut à la quantité de P qu'ils exportent par la vente de leurs produits (lait, viande, œufs = 6 000 tonnes de P; céréales, pommes de terre, etc... = 4 000 tonnes de P) (voir fig. 1). Les engrais phosphatés du commerce ne seraient pas nécessaires si les engrais de ferme pouvaient être répartis judicieusement sur l'ensemble de la Suisse. Dans de nombreuses régions, les apports de purin de porcs ou de boues d'épuration sont trop élevés.

Purin riche en phosphore

Jadis, on affirmait à raison: le purin est pauvre en phosphore et riche en potasse; le purin doit donc être complété avec des scories Thomas. Cela était valable à l'époque où l'on produisait encore du purin pauvre

Illustration 1: Bilan en phosphore de l'agriculture suisse. Estimation 1984. Chiffres: 1000 tonnes de P/Suisse correspondant environ au kg de P/ha de SAU.



Dans cette série exclusive, des auteurs compétents de la FAC Liebefeld-Berne publieront différents articles sur le thème général: agriculture et environnement.

en excréments solides. A l'heure actuelle, cela n'est plus le cas. Le lisier (purin complet) est riche en phosphore et en potasse. Le purin de porc est même très riche en phosphore.

Pour 100kg de potasse, on relève:

- environ 1 à 2kg de P dans le purin bovin pauvre en excréments solides,
- environ 10 à 20kg de P dans le purin bovin complet,
- environ 50 à 100kg de P dans le lisier de porc,
- environ 500 à 1000kg de P dans les boues d'épuration.

- Il n'est pas nécessaire de compléter le purin complet (lisier) avec du phosphore.
- Le purin de porc est un engrais très riche en P.

Trop de P dans les aliments du commerce

L'excédent en phosphore dans les exploitations d'élevage intensif est encore accentué par la concentration exagérée en phosphore des aliments du commerce. Cette remarque s'applique surtout aux aliments

destinés aux porcins et à la volaille à l'engrais. Ceux-ci contiennent souvent près de 8 grammes de P par kg, alors que 4 à 5 grammes seulement suffiraient. La farine de viande osseuse bon marché est très riche en P. Comme on en utilise de très grandes quantités dans les mélanges de fourrage, elle est souvent responsable de ce phénomène (tableau 1).

La teneur en P du purin de porc pourrait être diminuée de près de 50%. Au Centre de testage de Sempach (porcs à l'engrais), on est parvenu, en baissant la concentration de P de l'aliment de 7 à 5g de P/kg, à réduire la concentration en P du purin de 40% approximativement et, du même coup, à améliorer la mise en valeur du fourrage.

Un excédent de phosphore dans l'aliment est inemployé. Il constitue même un lest inutile et dévalorise l'aliment. Il faut:

- Exiger du fabricant des indications sur la teneur en P.
- Eviter d'acheter des aliments trop riches en P.

Le sol «retient» le phosphore

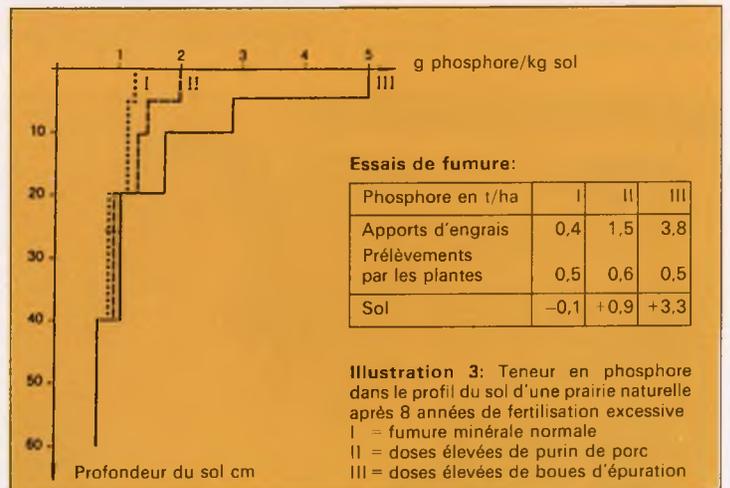
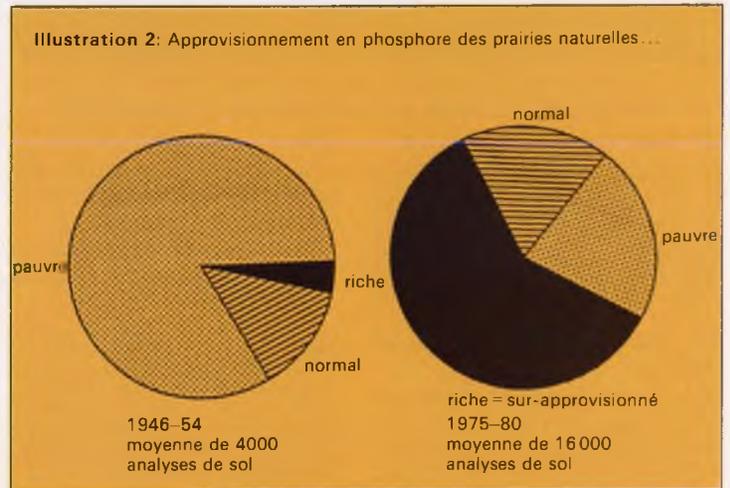
Dans les stations d'épuration, on recourt à des liaisons avec du fer, de l'aluminium ou du calcium pour précipiter le phosphore contenu dans les eaux usées et l'en extraire. Dans le sol, il existe de nombreuses liaisons en mesure de fixer fortement le phosphore. En conséquence, le phosphore s'accumule dans les couches supérieures du sol et le danger de percolation dans la nappe phréatique est pratiquement nul.

En guise d'illustration, la fig. 3 représente les teneurs en P dans le profil du sol au cours

d'un essai ayant pour objectif de comparer l'effet de doses élevées de purin de porc (II) et de boues d'épuration (III) à celui d'une fumure minérale normale (I = 50kg de P = 115kg de P₂O/ha et année). Dans la couche supérieure de 5cm du sol de cette prairie permanente, on a constaté une très forte accumulation de P. Par contre, à 20cm de profondeur déjà, presque aucune modification n'a été observée.

Eviter les pertes de P par écoulement

Nos sols sont capables de fixer de très grandes quantités de phosphate. C'est pourquoi le risque de lessivage du phosphate dans la nappe phréatique est faible. Lorsque du purin ou des boues d'épuration pénètrent le sol et sont ainsi mis en contact étroit avec celui-ci, le phosphate contenu dans ces amendements est fixé, retenu par le sol.



Prudence en présence de neige. On ne doit pas épandre le purin si le danger d'un éventuel écoulement en surface à la fonte des neiges existe.



Danger après maïs d'ensilage. Le sol est tassé si bien que le purin s'écoule à la surface. Sur cette prise de vue, on s'aperçoit que le purinage s'est effectué depuis la route latéralement au champ.



Semis sous couverture dans du maïs d'ensilage (essai). Le sol demeure perméable. Le risque d'écoulement superficiel est fortement réduit.

Concentration (mg P/m ³)	
Eau d'infiltration de sols minéraux	5-50
Eau de pluie	50-100
Écoulement superficiel	500-5000
Eau épurée (STEP)	500-5000

Ces chiffres montrent distinctement que

- le lessivage ne constitue pas un danger,
- des écoulements superficiels peuvent provoquer des pollutions très graves.

La loi sur la protection des eaux interdit d'épandre du pu-

rin en cas de risque d'écoulement superficiel et de déversement dans un cours d'eau.

L'écoulement superficiel se produit si l'apport de liquide

Tableau 1: Quantité de phosphore produite annuellement par une place de porc à l'engrais. Utilisation de 650 kg de fourrage. Accroissement de 200 kg.

P dans le fourrage (g P/kg)	4,5	8
Absorption de P dans le fourrage (kg/P)	2,9	5,2
Fixation de P (4,5 g P/kg)	0,9	0,9
P dans le purin	2,0	4,3

(pluie, fonte de neige, purin) à la surface du sol dépasse, pendant une période donnée, la quantité que le sol peut absorber. La percolation s'effectue rapidement en présence de sols meubles possédant une bonne structure, non sujets à l'engorgement, recouverts d'une couverture végétale, non tassés (pression des pneus) ou rendus impénétrables par une couche supérieure gelée.

Ne pas épandre le purin sur:

- sols saturés d'eau,
- sols trop compacts,
- des surfaces gelées,
- une couche de neige mouillée.

Une prudence particulière s'impose:

- dans les endroits en pente,
- par temps pluvieux,
- à proximité de cours d'eau.

Lors d'un écoulement superficiel, les particules du sol riches en phosphore de la couche supérieure peuvent être transportées jusque dans des eaux. Cela représente souvent d'importan-

tes quantités de phosphore, mais celles-ci n'influencent que peu la croissance des algues (le phosphore étant lié étroitement aux particules du sol). Ce qui est grave, c'est le déversement dans les eaux d'engrais de ferme ou du commerce riches en P dans lesquels le phosphate se présente sous une forme relativement soluble. Le purin joue ici un rôle particulier, car, faute d'espace de stockage suffisant, il faut parfois l'épandre dans des conditions défavorables.

Éviter l'écoulement superficiel

- Exploiter le sol en le ménageant, de façon à conserver une structure favorable permettant une bonne percolation du purin et des pluies.
- Construire des fosses à purin suffisamment volumineuses pour éviter d'épandre du purin dans des conditions défavorables.
- Produire du fumier à la place du purin lorsque les fosses à purin sont trop exiguës (exploitations de culture, en hiver).

Toutes les indications sont calculées en P
Conversion: 1 kg de P = 2,3 kg de P₂O₅



Les étapes principales lors des analyses de terre: sécher...



... tamiser...



... peser...



... et analyser le sol par un procédé automatique.

Valorisation des engrais de ferme et des déchets anthropogènes

Quantité et qualité sont souvent mises en opposition et les engrais de ferme ainsi que les engrais organiques à base de déchets anthropogènes n'y échappent pas. Entre ces deux groupes d'engrais existent des différences fondamentales dont les origines remontent à la provenance ainsi qu'aux modes de récolte et de préparation.

Engrais de ferme

Les excréments animaux sont utilisés depuis longtemps comme matière fertilisante pour les cultures: ils sont donc



Dr J.-M. Besson,
ing. agr. dipl. EPFZ,
Chef de la Section
Engrais et Fumure
FAC,
3097 Liebfeld

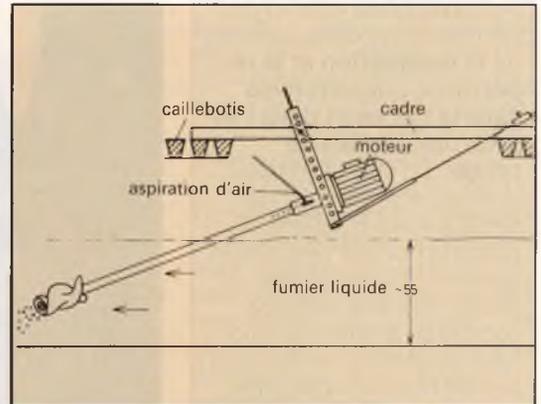
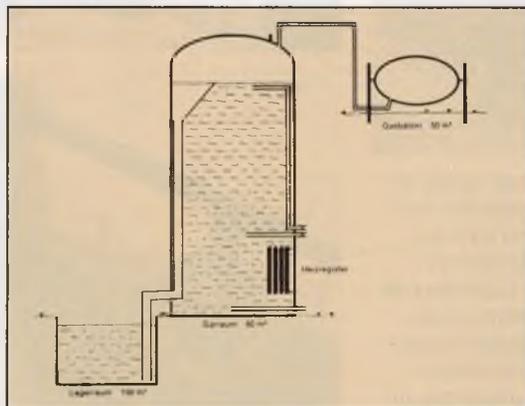
recyclés. Ces excréments doivent simplement être récoltés sous forme appropriée et entreposés de façon adéquate avant que l'agriculteur les applique correctement – **répartition quantitative judicieuse dans le temps et dans l'espace** – en tant qu'engrais de ferme (et non pas en tant que déchets de la production animale). Un traitement ou une préparation supplémentaire ne sont pas nécessaires, ils peuvent être directement épanchés après un stockage plus ou moins long. Les engrais de ferme couvrent environ les deux tiers des quantités d'éléments nutritifs qui sont utilisés en Suisse pour la fumure (figure 1). Cette moyenne grossière ne dit cependant rien sur la répartition spatiale de leur production et de leur utilisation quantitatives. Il est en effet connu que localement voire régionalement, la garde des animaux domestiques de rente a été intensifiée jusqu'à la production animale industrielle hors-sol. Il en résulte conséquemment une quantité d'engrais de ferme qui ne peut plus être valorisée de façon sensée en production végétale et

conformément à la sauvegarde de l'environnement.

Problèmes de quantité pas résolus

Une issue à ce problème quantitatif semblait se dessiner: si on prépare les engrais de ferme et en particulier le lisier, c'est-à-dire si on en améliore la qualité, on peut en appliquer de plus grandes quantités, voire les

quantités les plus grandes. Il s'agit dans ce cas d'une élimination et non plus d'une valorisation. On a développé des procédés appropriés, le plus souvent fort gourmands en investissements technologiques et/ou énergétiques: séparation des phases solide et liquide, dessiccation, aération, utilisation d'additifs, et, pour certains aspects, la méthanisation.



Du point de vue de la qualité des engrais de ferme, leur préparation n'est pas indispensable. Une récolte et un entreposage appropriés, mais surtout une capacité suffisante de stockage sont en revanche d'une nécessité primordiale. L'aération et la méthanisation des lisiers contribuent certes à diminuer les émissions de mauvaises odeurs et à homogénéiser le produit fini, en revanche ces préparations n'apportent aucune solution au problème des quantités excédentaires d'engrais de ferme.

Malheureusement, les milieux agricoles sont toujours et encore prisonniers de cette solution trompeuse: la préparation des engrais de ferme ne conduit manifestement pas à la possibilité tant souhaitée d'augmenter le dosage. L'aération et la méthanisation des lisiers, par exemple, résolvent au mieux quelques problèmes d'ordre qualitatif tels une diminution des émissions de mauvaises odeurs et une meilleure homogénéisation du produit fini. Les quantités d'éléments nutritifs à valoriser, en particulier P et K, restent cependant pratiquement inchangées.

Adapter les cheptels

Peut-on justifier l'extension de la production animale actuelle? Pour une valorisation des engrais de ferme conforme à la production végétale, la charge moyenne en bétail ne doit pas dépasser 3 UGB/ha et, selon les propriétés du sol, les conditions climatiques, l'altitude et la culture, cette limite doit être plus basse. L'air, les eaux, le sol et les plantes ne peuvent pas être chargés de façon illimitée et seule une limita-

Dans cette série exclusive, des auteurs compétents de la FAC Liebefeld-Berne publieront différents articles sur le thème général: agriculture et environnement.

tion conforme à la production végétale préserve l'environnement.

Quantité ou qualité

Pour ce qui est des excréments animaux, la situation se présente favorablement dans le sens où leur composition est relativement bien connue. On sait aussi comment traiter les engrais de ferme de façon à ce qu'ils soient valorisés judicieusement en production végétale et, de ce fait, sans encourir des risques pour l'environnement. Le problème n'est pas tant de nature qualitative que quantitative, surtout localement ou régionale-ment. Le **plan de fumure** est indispensable et celui-ci doit contenir des données précises sur la production et la répartition quantitatives dans le temps et dans l'espace des engrais de ferme. Si l'effectif en bétail se révèle trop élevé par rapport à la surface agricole disponible pour une valorisation conforme à la production végétale, il ne reste en fin de compte qu'à diminuer cet effectif en conséquence. Quant aux déchets anthropogènes, les aspects quantitatifs ne sont certes pas à négliger. Cependant, les problèmes qualitatifs sont manifestement de plus grande importance. On ne peut pas les résoudre en fin de processus de préparation mais seulement si celle-ci commence par le **tri à la source** des diverses substances à évacuer. Cette manière de procéder permet d'obtenir des matériaux bruts secondaires bien définis qui peuvent dès lors être recyclés sans risques pour l'environnement. On ne peut offrir à l'agriculture que des produits irréprochables pour préserver les sols d'une pollution sournoise.

Si les cheptels ne sont pas en proportion raisonnable avec la surface agricole utile disponible, on peut envisager le transport et l'installation de «banques d'engrais de ferme» pour les excédents. Ce transport devrait être cependant organisé à relativement grande échelle, car la prise en charge d'engrais de ferme par le voisin au moyen de contrats adéquats n'est souvent déjà plus possible. Lors d'un transport à distance plus grande, on pourrait utiliser les engrais de ferme dans les régions où l'on produit notamment des céréales et des légumineuses fourragères. La séparation des phases solide et liquide ainsi que la dessiccation entraîneraient une réduction des coûts de transport. Des études économiques préliminaires, dans lesquelles les investissements à consentir pour la préparation seraient à comparer à ceux pour le transport, devraient toutefois être réalisées. Si ce procédé s'avérait justifiable économiquement parlant, le serait-il du point de vue écologique?

La solution la plus raisonnable reste cependant l'**adaptation**

du nombre d'animaux à la surface agricole disponible, de façon à ce que leurs excréments puissent être valorisés de façon judicieuse en production végétale et conformément à la sauvegarde de l'environnement. Une production agricole diversifiée, décentralisée et basée sur l'exploitation familiale est nettement plus favorable à la poursuite de ce but que la production animale de masse qui s'avère être de plus en plus une voie sans issue.

Des déchets utilisés comme engrais

Au contraire des engrais de ferme, la qualité des déchets d'origine humaine engendre beaucoup plus de problèmes que la quantité. Les engrais organiques à base de ces déchets couvrent au plus 5% des éléments nutritifs utilisés pour la fumure en Suisse. Lors d'une diminution de l'emploi des engrais minéraux du commerce, on pourrait augmenter cette proportion. Partant de la quantité totale d'éléments nutritifs utilisés pour la fumure, on ne chargerait pas davantage l'environnement et on respecterait

encore mieux le principe de fumure suivant:

1° Utilisation des engrais de ferme propres à l'exploitation.
2° Si nécessaire, appoint d'éléments nutritifs par des engrais étrangers à l'exploitation:

Utilisation d'engrais de ferme provenant d'exploitations tierces.

Utilisation d'engrais organiques à base de déchets anthropogènes.

Utilisation d'engrais du commerce.

Préparation indispensable

La qualité des déchets d'origine humaine est, en revanche, beaucoup plus problématique: ces déchets représentent un mélange de matériaux et de substances les plus divers, qu'ils soient sous forme solide ou liquide. Leur préparation est donc indispensable avant qu'ils puissent être utilisés soit comme engrais soit comme amendements organiques en agriculture.

Trier les déchets à la source

Pour les matériaux solides, la situation se présente de façon



Les substances organiques récoltées de façon séparée d'origine végétale et/ou animale sont, parmi les déchets anthropogènes, des matériaux de base dignes de compostage. Pour que cette matière organique soit compostée entièrement et de façon uniforme, on doit la mélanger. Un compost produit de cette manière est de qualité irréprochable et il peut être utilisé sans risques en agriculture.





Toutes les boues d'épuration appliquées dans l'agriculture subissent le contrôle de qualité. Celles qui ne satisfont pas aux exigences de qualité requises par l'Ordonnance sur les boues d'épuration ne sont pas utilisées pour la fumure. Plus de 90% des STEP contrôlées produisent des boues d'épuration qui remplissent ces exigences. L'épandage doit toutefois se faire de façon appropriée: un jet à cette hauteur peut provoquer des pertes d'ammoniac non négligeables.

relativement favorable en ce sens que les divers produits peuvent être assez facilement séparés en fonction de leur origine et de leur utilisation. En outre, on rencontre de plus en

plus de compréhension à l'égard des procédés qui consistent à récolter séparément les déchets solides à la source, c'est-à-dire dans les ménages et les exploitations artisanales ou

industrielles. C'est en particulier le cas pour le papier, les textiles, le verre, les boîtes de conserve, l'aluminium, les batteries, etc. et ces matériaux peuvent en grande partie être réutilisés comme matériaux bruts secondaires. Les matières organiques d'origine végétale et animale peuvent être affinées soit individuellement soit en commun sous forme de **compost**.

La situation concernant les déchets anthropogènes liquides est tout autre. L'eau potable joue le plus souvent le rôle de moyen de transport (forte dilution). Le liquide est un mélange de produits les plus divers, depuis les excréments humains, en passant par les détergents, jusqu'aux peintures, solvants, etc. La plupart du temps, la séparation de ces produits à la source fait encore défaut. Aux déchets ménagers s'ajoutent ceux de l'industrie et de l'artisanat. Le plus souvent, les déchets liquides sont pris en charge par un seul système de canalisation qui transporte également les eaux de pluie et les eaux étrangères. Les déchets liquides fortement dilués arrivent enfin dans une station d'épuration des eaux

usées (STEP) où l'on tente de retenir et/ou dégrader le plus de substances possibles par voies mécaniques, biologiques et chimiques. Après cette séparation, la STEP fournit comme produit final la boue d'épuration qui n'est pas toujours de qualité irréprochable: le contrôle en est dès lors indispensable.

Pour une valorisation en agriculture, les matières solides organiques brutes d'origine végétale et animale doivent être préparées par compostage. Le compost peut être utilisé soit comme amendement organique, soit comme substrat ou encore comme engrais organique après adjonction d'éléments nutritifs minéraux.

L'origine détermine la qualité

Parmi les produits liquides après préparation, les boues d'épuration d'origine campagnarde avec peu d'industrie et d'artisanat, forment un groupe relativement inoffensif. La plupart du temps, elles peuvent être valorisées telles quelles en agriculture, pour autant qu'elles remplissent les exigences de qualité requises (Ordonnance sur les boues d'épuration du 8.4.1981). Mais elles peuvent aussi subir d'autres préparations subséquentes: déshydratation, dessiccation, granulation, compostage avec d'autres matériaux organiques sodides, etc.

Les boues d'épuration des régions industrielles et artisanales sont en revanche problématiques. Elles ne peuvent être valorisées en agriculture que si elles remplissent les exigences de qualité; elles sont de plus en plus déshydratées et/ou brûlées et mises en décharge.

Comparaison des engrais de ferme et des déchets

Engrais de ferme		Engrais organiques à base de déchets anthropogènes		
Provenance	Excréments des animaux domestiques de rente	Déchets d'origine humaine		
Quantité en kt (données 1986/87)	MS OS N P ₂ O ₅ K ₂ O > 3500 > 2500 156 65 181	Phase solide	Phase liquide	
		Ordure: 2500 kt à composter: 30% = 750 kt Actuellement on ne dispose pas de données satisfaisantes sur les teneurs en MS, OS et éléments nutritifs. Il serait donc osé d'estimer les quantités produites de compost et des substances nutritives qu'ils contiennent ainsi que les quantités utilisées en agriculture.	91% des STEP contrôlées produisent de bonnes boues d'épuration. 4 millions m ³ , dont env. 50% sont utilisés en agriculture, c.-à-d. en kt: MS OS N P ₂ O ₅ K ₂ O 125 60 5 8 faible Les boues d'épuration de mauvaise qualité ainsi que le reste: déshydratation, dessiccation, incinération, décharge.	
Récolte	Phase solide: fèces mélangée fèces + urine (+ urine) + litière + litière fumier complet (+ jus de fumier)	Phase liquide: urine séparée urine (+ fèces) (+ litière) + eau purin lisier	Le plus souvent mélangée déchets d'origine végétale déchets d'origine animale papier, verre, métaux, plastiques, textiles, etc.	Le plus souvent mélangée excréments humains, détergents, produits chimiques solvants, peintures, etc. + énormément d'eau comme moyen de transport
Préparation	<i>pas indispensable!</i> anaérobie fumier de stabulation libre «fumier froid» aérobie + anaérobie fumier en tas «fumier tempéré» aérobie compost de fumier «fumier chaud» «fumier noble»	<i>indispensable!</i> lisiers méthanisés purin/lisier stocké lisier aéré	<i>indispensable!</i> Séparation: — matériaux bruts secondaires Compostage (hygiénisation): — compost Incinération: — résidus de calcination — résidus fuligineux	<i>indispensable!</i> Epuration (= séparation): physique, chimique, biologique, hygiénique — eaux épurées — eaux de surface — boues d'épuration Déshydratation, chaulage, dessiccation, compostage, etc. Incinération: — résidus de calcination — résidus fuligineux
Utilisation d'additifs: préparations de compostage, additifs pour purin et lisier				
Utilisation	en tant que matière fertilisante (= engrais) en agriculture		si de qualité irréprochable des substances en tant qu'amendement ou matière fertilisante (= engrais) en agriculture	

Métaux lourds dans le sol: un danger pour la production végétale?

Chaque sol libère des métaux lourds (par ex. du cuivre, du zinc, du plomb, du nickel, du chrome, du cadmium) au cours de processus



Dr Heinz Hani, chimiste diplômé, FAC, Liebefeld-Berne

naturels. En fonction de la nature de la roche mère à partir de laquelle le sol s'est formé lors de processus de décomposition, ces teneurs naturelles peuvent varier fortement. Ainsi, on note des teneurs s'échelonnant de 1 à 20 mg/kg de sol pour le cuivre et de 3 à 50 pour le zinc (Kloke, 1980). Si l'on constate dans le sol des teneurs plus élevées, 3 causes entrent en question:

- **Apports dus à l'exploitation** (utilisation d'engrais, de produits phytosanitaires, en particulier le cuivre en viticulture).
- **Apports provenant de l'atmosphère** (circulation routière, incinération des ordures, industries de transformation des métaux).
- **Roches mères riches en métaux lourds** comme la serpentine (chrome, nickel) ou les minerais sulfureux (zinc, cadmium).

Dans les deux premiers cas, on parle de teneurs anthropogènes (dues aux activités humaines). Par contre, dans le dernier cas, il s'agit d'une augmentation de la teneur par voie naturelle. L'élaboration de méthodes permettant de faire la distinction entre les teneurs naturelles et anthropogènes est importante pour la pratique. La recherche de telles méthodes est facilitée par le fait que les métaux lourds d'origine naturelle sont fortement liés dans les cristaux. Pour cette raison, ils sont beaucoup moins solubles

que les métaux lourds amenés artificiellement au sol.

Apports de métaux lourds au cours de l'exploitation

Nous allons tenter dans ce qui suit de quantifier quelque peu les apports dus à l'utilisation d'engrais de ferme et du commerce ainsi que de compost et de boue d'épuration.

Une partie importante des apports dus aux engrais de ferme provient indirectement des additifs (en particulier du cuivre et du zinc) mélangés aux aliments. De crainte que n'apparaissent des symptômes de carence chez les animaux, on a parfois fortement exagéré les doses d'additifs. Les fabricants d'aliments devraient absolument être rendus attentifs aux problèmes d'accumulation dans le sol.

Une étude du «Programme national de recherche sur le sol» montre que, lors d'utilisation de purin de porc, les quantités maximales de cuivre et de zinc sont 2 fois resp. 1,5 fois plus grandes que celles autorisées par l'Ordonnance sur les boues d'épuration (2500 resp. 7500 g/ha et année). Cependant, les valeurs pour le purin de bovin et le fumier de poule se situent nettement au-dessous de ces charges maximales.

En ce qui concerne les engrais du commerce, les métaux lourds cadmium, chrome et vanadium jouent un rôle important. Le cadmium se rencontre dans le phosphate brut. Toutefois, il faut préciser que, selon la provenance, d'énormes différences de teneur (de 6 g à 590 g de cadmium par tonne de phosphate [P]) ont été observées. En conséquence, une dose de P de 40 kg peut amener de 0,24 à 23,6 g de cadmium par hectare (maximum autorisé par l'Ordonnance sur les boues d'épuration = 75 g/ha et année). Les

exigences de qualité prescrites dans l'Ordonnance sur les substances dangereuses (1986) limi-

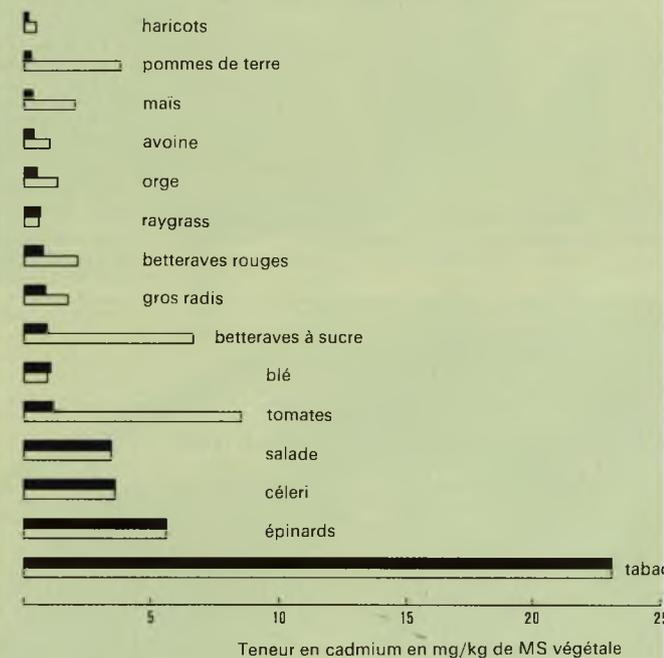
tent la teneur en cadmium à 50 g par tonne de P.

Les scories Thomas contiennent de grandes quantités de chrome et de vanadium. Rieder (1986) a observé au cours d'un essai avec une dose de 40 kg de phosphore sous forme de scories Thomas un apport de 660 g de chrome et de 2920 g de vanadium par tonne de sol. L'Ordonnance sur les boues d'épuration a fixé la dose maximale de chrome à 2500 g par tonne et année. Pour le vanadium, l'Ordonnance ne donne aucune valeur limite, ce qui empêche toute comparaison.



1) Parcelle de maïs endommagée en raison d'une charge élevée en zinc et en cuivre.

Illustration 1: Teneurs en cadmium de différentes cultures (subdivision en parties comestibles et feuilles) sur un sol faiblement acide chargé de cadmium (légèrement modifié, d'après Davis, R. D. et Carlton-Smith, Technical Report 140, Stevenage Laboratory, Water Research Centre, 1980)



Teneurs en cadmium de différentes plantes (division en parties consommées et feuilles) ayant poussé sur un sol légèrement acide chargé en cadmium.



Libérés par combustion, chaque année 4g de cadmium se déposent par ha de terres cultivées.

En ce qui concerne les **boues d'épuration**, les quantités maximales de métaux lourds dépendent des doses qu'il est permis d'épandre (au maximum 2,5 tonnes de matière sèche par année et hectare) et des teneurs limites en métaux lourds fixées dans l'Ordonnance sur les boues d'épuration. En raison de la baisse constante des teneurs en métaux lourds entre 1978 et 1983 ainsi que de la diminution des quantités épandues se situant en moyenne à 1 tonne de MS par ha et année, on n'épand que 10 à 20% du maximum possible.

Par contre, le **compost d'ordures** a dû fréquemment être considéré responsable de fortes augmentations des teneurs dans le sol. En présence de doses au moins 10 fois plus élevées que pour les boues d'épuration, on assiste sans s'étonner à des apports de métaux lourds en conséquence (également presque 10 fois plus élevés). Une utilisation sans problème de **compost** ne peut être envisagée que là où l'on dispose d'un matériel dont les teneurs en métaux lourds sont en moyenne 10 fois inférieures à celles des boues d'épuration. Le compost d'origine purement végétale et animale remplit en général cette exigence.

Ainsi, on ne peut utiliser du compost que si les substances ayant servi à sa fabrication ont été préalablement triées. La fabrication de compost à partir d'ordures non triées est déconseillée, car elle ne parvient pas à remplir les exigences de l'Ordonnance sur les substances dangereuses (1986).

Pour ce qui est du **compost de boues d'épuration** au sujet duquel des discussions animées ont eu lieu récemment, nous noterons uniquement qu'il s'agit d'un produit contenant des quantités d'éléments fertilisants et de métaux lourds similaires à celles des boues d'épuration (si l'on se base sur la MS bien entendu). La désignation d'engrais convient mieux à ce matériau que celle d'agent d'amélioration du sol.

Métaux lourds en provenance de l'air

Les processus de combustion (moteurs d'autos, fonderies, in-

cinération des ordures) s'accompagnent d'émissions de métaux fugitifs (plomb, cadmium, mercure et zinc) dans l'atmosphère. Peu à peu, ils se déposent sur le sol sous forme de fines particules. *Le tableau 1* présente les résultats obtenus par un groupe de travail interne de la Confédération visant à estimer la part des apports d'origine atmosphérique et provenant de l'exploitation (Office fédéral de la protection de l'environnement, 1984). Du fait que les plantes polluées par l'air via les racines ou directement sont ensuite consommées par les animaux et, en partie, à nouveau secrétées par ceux-ci, la teneur en cadmium des engrais de ferme peut être considérée comme un indice du degré général de pollution.

Effets sur les plantes

Certains métaux lourds (par ex. le cuivre et le zinc) sont des oligo-éléments, c'est-à-dire des éléments nécessaires, en faible concentration, à la croissance des plantes. D'autres métaux lourds, comme le plomb, le cadmium et le mercure, n'ont par contre aucun effet positif. **En présence de concentrations trop élevées, tous les métaux lourds – oligo-éléments ou non – ont des conséquences néfastes.**

La concentration en métaux lourds solubles, donc actifs, dépend des caractéristiques du sol. Les sols neutres faiblement alcalins (pH entre 6,5 et 7,5), contenant suffisamment d'argile, d'humus et d'oxydes, retiennent beaucoup plus les métaux lourds que les sols sableux acides. Donc sur ces derniers, les plantes sont beaucoup plus

sensibles aux métaux lourds: elles sont endommagées en présence de concentrations beaucoup plus faibles que sur des sols à pouvoir de rétention élevé.

Mais les différentes cultures n'ont pas la même capacité d'absorption des métaux lourds du sol. L'illustration 1 souligne les différences énormes d'absorption du cadmium par divers végétaux cultivés sur un sol faiblement acide «chargé» de cadmium.

Les photos 1 et 2 donnent une idée de la phytotoxicité du cuivre et du zinc sur maïs et betteraves rouges dans un champ trop riche en ces éléments. A titre de comparaison, l'illustration 3 montre des betteraves rouges sur sol non pollué.

La répartition des métaux lourds dans le profil du sol de parcelles endommagées est représentée sur l'illustration 2. Ce qui est particulièrement frappant, c'est l'augmentation de la teneur en zinc soluble jusqu'à une profondeur de 60 cm (surface rouge). Ce comportement du zinc contraste avec celui du cuivre (surface verte) dont la solubilité ne se distingue que dans les 20 cm supérieurs par rapport à celle du sous-sol. On peut donc en déduire une mobilité supérieure du zinc et par la même occasion une plus grande

Tableau 1: Apports annuels moyens de cadmium dans des sols exploités par l'agriculture en Suisse

Provenance	g/ha et année
Atmosphère	4
Engrais de ferme	2
Engrais du commerce	2
Boues d'épuration	1,7
Compost	0,5



3) Betteraves rouges hors de la surface polluée.

2) Betteraves rouges endommagées par une charge élevée en zinc et en cuivre.

Station fédérale de recherches de chimie agricole et d'hygiène du milieu naturel

Agriculture et environnement

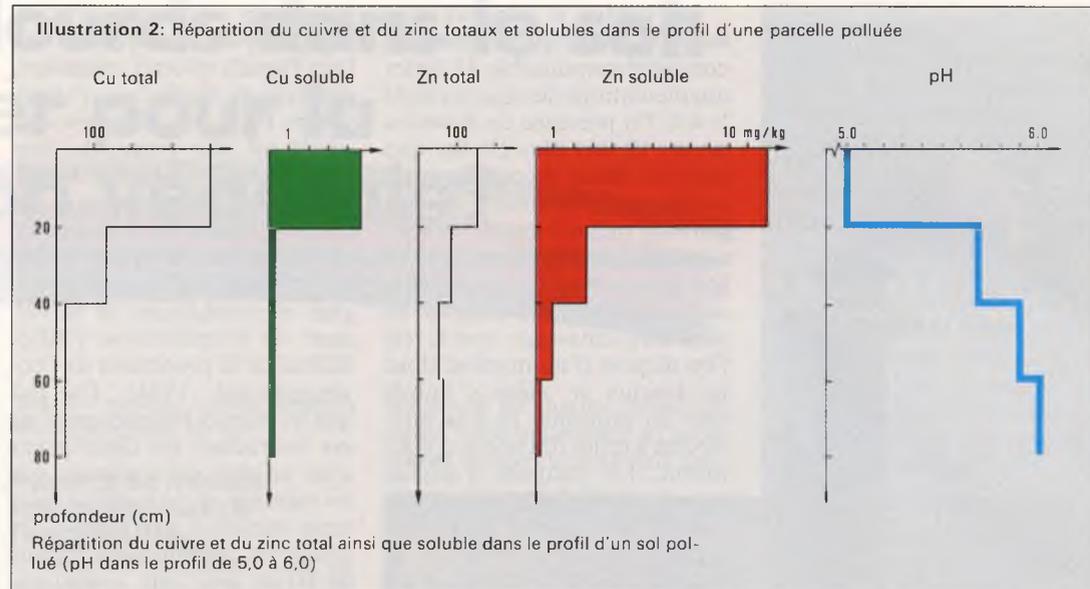
Dans cette série exclusive, des auteurs compétents de la FAC Liebefeld-Berne publieront différents articles sur le thème général: agriculture et environnement.

disponibilité pour les plantes. Les dégâts sur les végétaux proviennent donc principalement de la solubilité élevée du zinc en raison du pH bas (ligne bleue). En effet, la teneur en zinc de la couche supérieure du sol dépasse d'un facteur de plus de 20 la valeur indicative (0,5 mg/kg) donnée dans l'Ordonnance sur les polluants du sol (1986).

Mesures et perspectives

La part des surfaces endommagées de la manière décrite plus haut ne devrait pas être trop grande en Suisse. Toutefois, actuellement, aucune étude approfondie n'étaye cette affirmation de façon indiscutable.

Différentes dispositions légales pour réduire les apports de



substances nocives dans le sol indiquent le bon chemin à court et moyen terme. Parmi celles-ci, citons les plus importantes qui sont: l'Ordonnance sur les boues d'épuration (1981), l'Ordonnance sur les substances dangereuses (1986) et l'Ordonnance sur la protection de l'air (1986). A long terme cependant, les efforts permettant une importante réduction à la source des substances nocives devront encore être considéra-

blement intensifiés. Dans tous les cas, il vaut mieux prévenir qu'assainir ultérieurement (chaulage, dilution avec de la terre non contaminée, remplacement du sol). C'est la seule voie permettant de préserver la fécondité de nos sols pour les générations futures.

Remerciements: Nous tenons à remercier Mad. Knecht, FAT, pour l'élaboration des graphiques. Nous exprimons également notre gratitude envers M.P. Jaggi de l'école d'agriculture de Muri AG de nous avoir confié les illustrations 2 à 4.

Bibliographie:
Office fédéral de l'environnement
Cadmium in der Schweiz. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 32 (1984)
Desaulles, A./Candinas, A./Schneider, M.: Bericht über die Belastung der Böden mit Schadstoffen in der Schweiz Pilotprojekt 3. Nationales Forschungsprogramm «Boden» (1984)
Ender, R.: Schwermetallbilanzen vor Lysimeterböden. Marburger Geographische Schriften, Heft 102 (1986)
Kloke, A.: Richtwerte 80. Mitt. VDLUFA, 1-3 (1980)
Mellanby, K.: Effect of heavy metal pollution on plants. Pollution Monitoring Series, Vol. 2, 52 (1980)



La pesée des sols avant l'extraction doit être faite avec le plus grand soin.



La détermination de la matière sèche des plantes est une base importante pour la suite des travaux analytiques.



Les travaux en chambre climatisée prendront probablement de l'importance dans l'étude de questions essentielles sous des conditions contrôlées.



La préparation soignée du matériel végétal est une condition indispensable à l'obtention de résultats d'analyse utilisables.

L'agriculture est-elle concernée par la pollution de l'air?

La catégorie des nourrissons, petits enfants, personnes âgées, asthmatiques et sportifs est la plus affectée par la pollution de l'air, surtout en périodes de brouillard. Les pluies acides ont pratiquement anéanti toute vie dans certains lacs (p. ex. en Scandinavie, dans le Haut-Tessin). Une relation au moins partielle a été établie entre la pollution de l'air et la «mort des forêts».

L'agriculture est-elle aussi touchée par la pollution atmosphérique? Participe-t-elle elle-même à la pollution de l'air?



Appareil de mesure des substances polluantes de l'air au champ: émetteur d'un spectromètre optique d'absorption spécifique (mesure de O_3 , NO_2 , etc.).

Acôté de l'eau et du sol, l'air constitue un milieu indispensable à la vie. Les hommes, les animaux, les plantes et la plupart des micro-



Dr Franz X. Stadelmann, licencié en sciences et en biologie, chef de section hygiène de l'air et écologie végétale, Station fédérale de recherches de Liebfeld BE

organismes étoufferaient sans air, sans oxygène (O_2). Aucune production agricole ne serait possible sans air. Des échanges de substances comme O_2 , le gaz carbonique (CO_2), l'eau (H_2O), etc. entre l'agriculture et l'atmosphère (air) se chiffrent en tonnes par hectare (ha) et par an. **Plus du 40 % de la matière sèche (MS) végétale provient de l'air.** Les plantes cultivées utilisent le CO_2 et d'autres gaz atmosphériques comme le dioxyde de soufre (SO_2), les oxydes d'azote (NO , NO_2), l'ammoniac (NH_3), qu'elles prélèvent par les stomates de leurs feuilles et transforment pour constituer leurs propres combinaisons organiques comme l'amidon, la cellulose, les protéines. Beaucoup d'autres substances provenant indirectement de l'air, p. ex. l'eau, sont prélevées par les plantes. **En plus de sols fertiles, l'agriculture a besoin d'air fertile pour produire des aliments à base de végétaux sains.**

Pollution de l'air

Les substances dont les teneurs dans l'air dépassent le niveau naturel sont désignées comme des impuretés. **La présence d'impuretés dans l'air, appelée pollution atmosphérique, peut avoir des origines naturelles** (éruption volcanique, éclair, processus de décomposition biologique) **ou provenir d'activités humaines.** En Suisse, la plupart des impuretés atmosphériques proviennent des activités humaines. Les principales sources en sont le trafic des automobiles et des camions, l'industrie et les ménages. La combustion de combustibles fossiles (produits pétroliers, charbon, etc.) par les véhicules à moteur, dans les ménages et l'industrie, la combustion de déchets industriels

L'air pur

Au cours de son histoire, la Terre s'est entourée d'une enveloppe d'air d'une épaisseur d'environ 10 km. **L'air naturellement pur** se compose de 78,10 % vol. d'azote (N), 20,90 % vol. de O_2 , 0,94 % vol. de gaz rares, 0,03 % vol. de CO_2 , 0,01 % vol. d'hydrogène (H_2), de plus de traces de monoxyde de carbone (CO), d'ozone (O_3), d'oxydes d'azote (NO_x), de NH_3 , de méthane (CH_4), ainsi que d'autres substances organiques et inorganiques. La composition de la couche atmosphérique s'est à peine modifiée jusqu'au début de l'ère industrielle au siècle dernier.



Dégâts aigus dus au fluor (nécroses) sur des feuilles d'abricotiers dans le voisinage d'une usine d'aluminium.

et ménagers dans les stations d'incinération des ordures, l'émission de substances polluantes par les processus industriels ont considérablement accru la pollution atmosphérique depuis les années cinquante. Ainsi, les émissions de NO_x par exemple, ont passé d'environ 8000 t N en 1950 à environ 60000 t N en 1988, proportionnellement à l'accroissement constant du nombre de véhicules automobiles en Suisse.

Le tableau 1 énumère les composants de l'air qui jouent un rôle vis-à-vis de l'agriculture. Le lieu d'où émane une substance nocive se nomme **source d'émission**, le lieu où elle se dépose, le **lieu de dépôt**. Quand la substance se dépose sous la même forme qu'elle a été émise (p. ex. SO_2 , HF) elle s'appelle une **substance polluante primaire**. Quand la substance polluante primaire se transforme dans l'air en une autre substance, elle prend le nom de **substance (polluante) secondaire**. Ainsi, le SO_4^{2-} des pluies acides provient p. ex. du SO_2 . De même des substances comme O_3 , qui ont des précurseurs, s'appellent des substances polluantes secondaires.

On dispose aujourd'hui de différents appareils de mesure pour déterminer la quantité et la nature des substances contenues dans l'air (photo). Les plus importantes substances

Station fédérale de recherches de chimie agricole et d'hygiène du milieu naturel

Agriculture et environnement

Dans cette série exclusive, des auteurs compétents de la FAC Liebefeld-Berne publieront différents articles sur le thème général: agriculture et environnement.

étrangères de l'atmosphère sont détectées dans le cadre du réseau national de contrôle de l'air (NABEL), actuellement mis en place.

La pollution de l'air montre de fortes variations dans l'espace et le temps. Des métaux lourds comme le plomb (Pb), le cadmium (Cd) et le zinc (Zn) se déposent surtout localement à proximité des industries métallurgiques, des stations d'incinération des ordures, des autoroutes, etc., les «immissions» de HF se rencontrent principalement au voisinage des usines d'aluminium. O₃ peut se trouver sur tout le territoire en haute concentra-

tion, particulièrement à la campagne. SO₂ se trouve en plus haute concentration dans l'air en hiver qu'en été, par contre les teneurs en O₃ sont plus élevées l'été que l'hiver. Les teneurs en O₃ sont généralement plus élevées le jour que la nuit. Il est important de connaître ces variations spatio-temporelles pour évaluer les risques.

L'agriculture peut tirer profit de la pollution atmosphérique.

Toutes les substances étrangères dans l'air ne présentent pas nécessairement un danger pour l'agriculture. **La même substance contenue dans l'atmosphère peut être utile ou nuisible selon les conditions.** L'action d'une substance contenue dans l'air dépend de sa nature et de sa charge polluante, ainsi que de la tolérance des cultures et des sols. La charge polluante d'une substance se détermine par la quantité de substance (concentration) et sa dose (concentration × temps). Certaines substances contenues dans l'air sont toujours nocives, comme

PHOTO: F. CONTAT



Les substances polluantes de l'air émises par une station d'incinération des ordures (métaux lourds, composés organiques dangereux) peuvent nuire aux sols, aux cultures et aux animaux domestiques.

Cd, Pb et O₃. D'autres, comme Zn, NO, NO₂, NH₃ et SO₂ sont utiles en petites quantités et nuisibles à fortes doses. Les gaz NO, NO₂ et NH₃ peuvent ainsi constituer une fumure azotée des plantes, le gaz SO₂ une fumure soufrée, tant qu'ils ne se trouvent qu'en faible concentration dans l'air; ces gaz sont par contre toxiques pour les plantes à forte concentration.

Comme le montre le schéma 1, de nombreuses substances nutritives contenues dans l'air sont utilisées par l'agriculture sous forme gazeuse, par aérosols ou avec les précipitations. **Les substances nutritives de l'air constituent donc une fumure pour l'agriculture** (tableau 2). La production d'1 kg de matière sèche (MS) végétale emploie environ 1,4 kg de CO₂ de l'air, ce qui correspond à une quantité de CO₂ contenue dans 2400 m³ d'air. Une production de betterave sucrière de 20 t MS / ha (15 t MS

de racines + 5 t MS feuilles) requiert ainsi en 28 t de CO₂ de l'air. Leurs décompositions rapides, les matières organiques rendent par minéralisation le CO₂ à l'atmosphère plus de la libération naturelle de CO₂ et de sa fixation par les plantes, la combustion des combustibles fossiles et le déboisement des forêts tropicales produisent un excès de CO₂ de telle sorte que la teneur en CO₂ de l'air s'accroît continuellement, ce qui pourrait entraîner des changements climatiques à l'échelle planétaire.

L'agriculture épure l'air et produit de l'oxygène

Beaucoup de substances polluantes de l'air comme NO_x, O₃, des composés organiques cancérigènes et des métaux lourds (Cd, Hg = mercure) menacent la santé des hommes et des animaux. **Les forêts, capables de produire de grandes quantités**

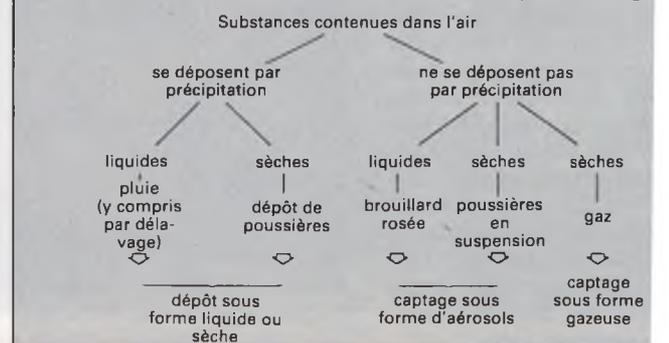


Dans les déterminations en laboratoire, l'activité de l'homme est centrale.



Equipement d'une station moderne de mesure des substances toxiques de l'air placée au champ.

Schéma 1: Vue d'ensemble des différentes formes de dépôt des substances contenues dans l'air (substances utiles et nuisibles) (d'après Grünhage)



Station fédérale de recherches de chimie agricole et d'hygiène du milieu naturel

Agriculture et environnement

Dans cette série exclusive des auteurs compétents de la FAC Liebefeld-Berne publieront différents articles sur le thème général: agriculture et environnement.

substances polluantes de l'air, grâce à la grande surface de leurs feuilles, **l'agriculture représente en Suisse le plus important facteur d'épuration de l'air.** Les cultures des champs et les sols captent d'importantes quantités de substances gazeuses de l'air comme NO, NO₂, NH₃, SO₂, ainsi que les substances en suspension dans les aérosols, décomposant O₃ et beaucoup de substances organiques polluantes de l'atmosphère et contribuent à une diminution des substances polluantes dans les précipitations. L'immobilisation annuelle par ha correspond à environ 3 à 6 g de Cd, 50 à 150 g de Pb

L'air – un bien précieux

L'air est un bien vital précieux, au même titre que le sol et l'eau, qu'il convient de ménager au mieux. Pour produire des aliments de haute valeur, l'agriculteur doit pouvoir disposer d'air pur et fertile. La pollution de l'air est aujourd'hui un sérieux problème pour l'agriculture. L'agriculteur est à la fois victime et générateur de la pollution de l'air. L'air pollué conduit à des baisses de rendement et porte préjudice aux sols.

L'agriculteur a tout intérêt à soutenir les mesures visant au maintien de la pureté de l'air, dans les domaines de la circulation automobile, de l'industrie et des ménages. Il doit également s'engager à contribuer directement à une amélioration de l'air, en réduisant au maximum les émanations nocives provenant de l'élevage ainsi que de l'emploi des engrais de ferme.

(plomb), 1 à 2 kg de Zn et 15 kg de Cl (chlore). **Les cultures participent aussi à la compensation du déficit en O₂ en Suisse.** La production de 1 kg de MS végétale s'accompagne de la libération d'environ 1 kg d'O₂, ce qui correspond à la quantité contenue dans 3,33 m³ d'air. La production de 20 t MS par des betteraves sucrières, par exemple, libère simultanément environ 20 t d'O₂ dans l'atmosphère. La production nette d'O₂ par la production végétale suisse se situerait entre 7 et 10 millions de t par an.

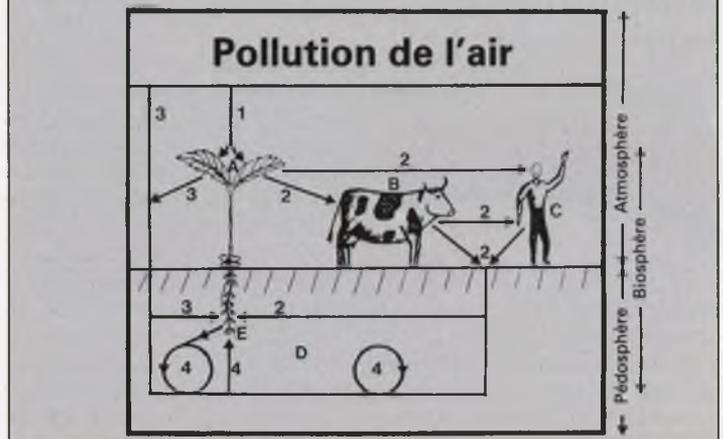
L'agriculture est aussi victime de la pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique agit de manière prépondérante sur la production agricole selon 4 voies (1 à 4) et en 5 endroits (A à E), comme cela apparaît dans le schéma 2:

1. **Les substances polluantes de l'air, spécialement sous forme gazeuse comme O₃, HF, SO₂, NO et NO₂,** peuvent pénétrer dans la plante par les organes aériens (A), spécialement par les stomates des feuilles, s'accumuler sous une forme combinée à l'intérieur du végétal et/ou nuire au métabolisme, **au rendement et à la qualité des cultures.** Cette action directe des substances gazeuses s'avère, avec le recul dont on dispose aujourd'hui, comme la cause principale de la chute des rendements causés par la pollution atmosphérique en Suisse. **L'action des gaz polluants peut se manifester de manière aiguë ou chronique.** Les dégâts aigus qui se manifestent p. ex. par des modifications visibles du feuillage (nécroses) ou des pertes de feuilles, proviennent de hautes concentrations durant une brève période. Des nécroses foliaires dues au fluor peuvent ainsi apparaître par exemple dans le voisinage des usines d'aluminium (photo). Des concentrations moyennes de gaz polluant pendant des durées prolongées entraînent des dégâts chroniques, qui peuvent se manifester par des pertes de rendement, sans que des symptômes soient visibles sur la plante. C'est par exemple le cas avec O₃ (voir l'article de Jürg Fuhrer, Revue UFA 7-8/88).

2. **Les substances polluantes**

Schéma 2: Influence de la pollution atmosphérique sur la production agricole: voies d'action (1 à 4) et lieux d'action (A à E). 1 à 4 = voies d'action (explications dans le texte). A = organes végétaux aériens (parties de la plante au-dessus du sol, feuilles). B = animal. C = homme. D = sol. E = organes végétaux souterrains (racines).



de l'air peuvent se déposer à la surface des plantes et s'accumuler partiellement à l'intérieur. Ces substances polluantes, dont les plantes sont porteuses, peuvent nuire à la santé de l'animal (B) et de l'homme (C) qui les consomment, s'accumuler dans le corps ou en être (en grande partie) excrétées et retourner dans le sol (D) sous forme d'excréments animaux et humains par les engrais de ferme ou les boues d'épuration, où elles peuvent être prélevées par les racines des plantes ou d'autres organes souterrains (E) et les influencer. La contamination de la surface des végétaux par des substances polluantes provenant de l'air doit être considérée comme une perte de qualité des produits agricoles. *Cette voie d'action concerne surtout: Pb (dépôt le long des routes), Cd, Hg, F, Cl, des composés organiques polluants comme les polychlorobiphényles (PCB), les atomes radioactifs comme le iode 131,*

le césium 134 et 137, le strontium 89 et 90 (après l'accident de Tchernobyl). Cette voie d'action touche avant tout l'agriculture dans le voisinage immédiat des sources d'émission comme les stations d'incinération des ordures, les routes et autoroutes et certaines fabrications industrielles.

3. **Des substances polluantes provenant de l'air** comme les métaux lourds et des composés organiques nocifs peuvent se déposer directement sur le sol, être délavés ou emportés par le vent des parties aériennes des plantes ou parvenir dans le sol par le support de restes de récolte (p. ex. feuilles de betteraves, fanes de pommes de terre) et agir à nouveau sur les plantes par l'intermédiaire des racines. Dans les cas extrêmes, p. ex. dans le voisinage d'usines de zingage, des cultures de dicotylédones (p. ex. betteraves) peuvent accuser des baisses de rendement en sol acide ou les plantes montrer des teneurs



De nombreuses industries émettent des substances nuisibles qui constituent une charge polluante pour l'agriculture.

Agriculture et environnement

Dans cette série exclusive, des auteurs compétents de la FAC Liebefeld-Berne publieront différents articles sur le thème général: agriculture et environnement.

trop élevées en substances nocives.

4. **Les substances polluantes de l'air** qui parviennent directement ou indirectement dans le sol à partir de l'atmosphère peuvent modifier les propriétés biologiques, chimiques et physiques du sol de telle manière que le bon fonctionnement des racines en est entravé, ce qui se répercute sur la production agricole. Ces modifications peuvent porter sur la disponibilité des éléments nutritifs, des variations du pH du sol, une diminution de la quantité et de la qualité de l'humus.

L'agriculture source de pollution atmosphérique

Les principales substances problématiques émises dans l'air par l'agriculture sont représentées par des poussières, du méthane, du gaz hilarant (N_2O) et de l'ammoniac. La quantité de méthane émise annuellement par l'agriculture suisse est évaluée à environ 100 000 t. Le tableau 3 montre que la part des oxydes d'azote (NO_x) émis par l'agriculture est très faible, mais que l'agriculture doit être considérée comme le principal producteur de N_2O et NH_3 . Il est présumé que le N_2O , à côté d'autres gaz comme le chlorofluorocarbène (CFC) peuvent participer à la destruction de la couche protectrice d'ozone de la stratosphère. NH_3 contribue directement ou indirectement (par transformation en ammonium dans l'air ou passage d'ammonium en nitrate dans le sol) à l'apport de fumures azotées excessives aux forêts. La question de savoir si et dans quelle mesure cette fumure azotée exagérée participe à la «mort

Quelques recommandations à l'intention de l'agriculteur pour abaisser les pertes de NH_3

- diluer le purin avant de l'épandre (une basse teneur en MS implique de faibles pertes de NH_3)
- renoncer à épandre du purin par temps sec et chaud, spécialement sur les sols neutres à alcalins, riches en chaux et sans couverture végétale (les pertes de NH_3 sont particulièrement élevées en été par temps sec!)
- utiliser des épanduses à engrais qui placent les engrais de ferme et du commerce le plus directement possible sur ou dans le sol
- apporter les doses requises par la culture, si possible de manière fractionnée, durant la croissance ou juste avant le semis ou la plantation
- incorporer purin, lisier, fumier et boues d'épuration le plus rapidement possible par un travail superficiel du sol
- en sols alcalins, riches en chaux, utiliser des engrais organiques ou nitriques au lieu d'engrais ammoniacaux (NH_4^+ , NH_3)
- accorder le nombre des animaux à la surface agricole utile et aux besoins des plantes (le cas échéant, réduire le nombre des animaux)
- disposer d'une capacité de stockage suffisante pour les engrais de ferme.

restiers, des eaux et des excréments humains ou des animaux domestiques et sauvages. Comme le montre le tableau 4, presque 90 % du NH_3 émis par l'agriculture provient de l'élevage, particulièrement des bovins. Le NH_3 provenant de l'élevage parvient de quatre façons différentes dans l'atmosphère:

- par les excréments liquides (urines) et solides
- par l'entreposage et la préparation (p. ex. l'aération) des engrais de ferme (purin, fumier)
- lors de l'épandage des engrais de ferme (photo 5)
- par la surface du sol, notamment après l'apport d'engrais de ferme.

Les pertes de NH_3 par l'agriculture sont considérables. Il s'évapore environ 3 fois plus d'azote ammoniacal dans l'air que ne se perd d'azote nitrique dans les eaux souterraines. Si l'agriculture suisse devait acheter sous forme d'engrais du commerce les quelque 45 000 t d'azote ammoniacal vaporisé, elle devrait payer pour cela plus de 60 millions de francs. Il vaudrait par conséquent la peine, ne serait-ce que pour des raisons économiques, de maintenir les pertes de NH_3 au niveau le plus bas.

des forêts» fait actuellement l'objet de recherches dans les milieux scientifiques.

Selon des estimations personnelles, environ 88 % du NH_3 émis dans l'air en Suisse provient de l'agriculture, les 12 % restants de l'industrie, du trafic automobile, des sols fo-

Tableau 1: Substances polluantes qui jouent un rôle pour l'agriculture

Substances contenues dans l'air (substances polluantes)	primaire/secondaire	Forme	Origine
Ozone (O_3)	secondaire	gaz	transformation dans l'atmosphère (produit par les gaz d'échappement des voitures)
Dioxyde de soufre (SO_2)	primaire	gaz	combustibles fossiles (chauffage des maisons, industrie)
Monoxyde d'azote (NO)	primaire	gaz	combustions, gaz d'échappement des voitures, production naturelle
Dioxyde d'azote (NO_2)	primaire et secondaire	gaz	combustions à haute température (p. ex. moteurs d'auto) ou provient d'émissions de NO, de l'industrie, de la fabrication des engrais
Acide fluorhydrique (HF)	primaire	gaz ou particules	superphosphate, industrie de l'aluminium
Ethylène (C_2H_4)	primaire	gaz	combustions, gaz d'échappement des voitures, production naturelle
Nitrate de peroxyacétyle (PAN)	secondaire	gaz	transformation dans l'atmosphère (provient de NO_2 et d'hydrocarbures des gaz d'échappement des voitures)
Acide chlorhydrique (HCl)	primaire	gaz	combustion de matières synthétiques
Métaux lourds (cadmium, plomb, zinc, etc.)	primaire	particules/dépôt avec précipitations	combustions, processus industriels
Ammoniac (NH_3)	primaire	gaz	agriculture, production naturelle
Sulfates (SO_4^{2-})	secondaire	aérosols/précipitations	transformation dans l'atmosphère à partir de SO_2
Nitrates (NO_3)	secondaire	aérosols/précipitations	transformation dans l'atmosphère à partir de NO_2
Gaz carbonique (CO_2)	primaire	gaz	combustions, production naturelle

Tableau 2: Apports annuels moyens de substances nutritives utiles aux plantes cultivées, en provenance de l'air (estimation)

Substances nutritives	Apports (kg/ha SAU)
Gaz carbonique (CO_2)	10 000-30 000
Azote (N)	30-60 (sans liaison N_2)
Phosphore (P)	~1
Potassium (K)	~1
Calcium (Ca)	10
Magnésium (Mg)	1,5 à 2
Soufre (S)	20 à 60

Tableau 3: Emanations annuelles (sans N_2) de différents gaz azotés dans l'atmosphère en Suisse (estimation 1985)

Gaz N	Emanation totale	dont provenant de l'agriculture	
		en valeur absolue	part de l'émission totale
Ammoniac (NH_3)	50 000 t N	45 000 t N	90,0 %
Gaz hilarant (N_2O)	30 000 t N	22 000 t N	73,0 %
Oxydes d'azote (NO_x)	57 000 t N	2 000 t N	3,5 %

Tableau 4: Emanations annuelles de N dans l'air sous forme d'ammoniac (NH_3) par différentes sources agricoles en Suisse (estimation 1985)

Source-(NH_3)	Emanation kg N- NH_3 /ha SAU	%
Engrais minéraux N	3,66	9,4
Pertes naturelles du sol/des déchets de récolte	0,86	2,2
Bétail bovin	29,28	75,3
Porcs	2,94	7,6
Poules	1,04	2,7
Chevaux	0,36	0,9
Moutons	0,68	1,8
Autres animaux domestiques	0,04	0,1
Totaux	38,86	100

Les effets de l'ozone sur les plantes cultivées

L'année dernière, la valeur limite des émanations d'ozone, qui selon l'Ordonnance sur la protection de l'air ne devrait pas être dépassée plus d'une fois par année, a été dépassée 40 fois sur le Plateau! Cela démontre l'urgence du problème de l'ozone. Sans parler des dégâts engendrés aux plantes cultivées qui, aux USA, sont estimés à plusieurs milliards de dollars par année – et chez nous?

Le smog estival menace la production végétale!

Il est périmé de croire que l'on ne rencontre de l'air vicié que dans les villes, au bord des



Prof. Dr. J. Fuhrer, biologiste, FAC, Liebefeld, Berne

autoroutes ou à proximité d'installations industrielles. A la suite d'émanations de substances toxiques provenant de la circulation et de l'industrie, il se forme dans l'air des substances secondaires qui se répartissent au-dessus de vastes régions. La formation de telles substances est activée par le soleil et la chaleur. En présence de conditions extrêmes, on parle de *smog estival* par opposition au *smog hivernal* causé, en hiver, par les gaz de chauffage et de la circulation. De ce fait, ce dernier se rencontre surtout dans les régions à forte concentration. L'une des substances nocives principales du smog estival se présente sous forme d'un gaz non pollué: il s'agit de l'ozone. De nombreux indices portent à croire que la concentration en ozone a au moins doublé pendant les 100 dernières années. L'air propre contient environ 20 à 40 millièmes de gramme d'ozone par m³. Au cas où l'air est pollué par des hydrocarbures et de grandes quantités d'oxyde d'azote (provenant principalement de

gaz d'échappement de la circulation), la concentration d'ozone augmente, à la suite de réactions chimiques compliquées, pour atteindre 5 à 8 fois la concentration naturelle. Relativement aux autres composants de l'air, cette concentration est encore très faible. Toutefois, vu son énorme toxicité pour les plantes, l'ozone est une substance nocive importante. *Chaque augmentation de la concentration en ozone au-dessus de son niveau naturel constitue un danger pour les plantes!*

En raison de sa dépendance de la chaleur et d'un rayonnement solaire intensif, la charge en ozone la plus élevée se rencontre aux environs de midi durant les chaudes journées d'été. Les vallées sont particulièrement menacées. L'air vicié y demeure plus longtemps. Dans ces endroits, la concentration en ozone suit une courbe journalière et annuelle typique représentée de façon générale dans la figure 1. Pendant la nuit, la formation d'ozone s'arrête. Au contraire, on assiste à la destruction de celui-ci. En conséquence, les

concentrations sont faibles. En altitude, le comportement chimique de l'ozone est quelque peu différent, ce qui explique les différences concernant la courbe de concentration en ozone par rapport à la plaine (voir fig. 1).

L'ozone est nocif pour les plantes

L'ozone est un gaz qui pénètre dans les feuilles au cours de la journée de la même façon que l'élément nutritif dioxyde de carbone (CO₂), c'est-à-dire par les stomates. Le nombre et la grandeur de ces stomates (voir photo) – qui sont les vraies «portes» des feuilles – déterminent la quantité d'ozone pouvant pénétrer dans la feuille. Les plantes dotées de nombreux stomates de grande taille sont les plus menacées. L'exemple suivant le démontre: 5 variétés de trèfle blanc ont été examinées en ce qui concerne leur sensibilité à l'ozone. Les variétés Ladino, California et Sacramento se sont avérées extrêmement sensibles, alors que les variétés Sonja, Alban et Milkanova ont supporté plus d'ozone. Les

deux variétés sensibles présentaient une perméabilité élevée des feuilles pour l'ozone, tandis que celle des feuilles des variétés résistantes était plus faible, de sorte que moins d'ozone pouvait pénétrer dans celles-ci. Il est intéressant de relever que, pour les variétés sensibles, des concentrations en ozone similaires à celles survenant souvent en été sur le Plateau suisse suffisent à provoquer des dégâts.

Ceci a pu être démontré aussi bien au cours d'expériences que d'essais en plein champ. *La plus faible concentration provoquant des dégâts se situe à un niveau similaire à celui de la valeur limite pour les émissions d'ozone prescrite dans l'Ordonnance fédérale sur la protection de l'air (OPAIR).* Cette valeur a été fixée à 120 µ/m³ (valeur moyenne pour une demi-heure



1) Photo de la surface nettoyée d'une feuille (agrandie 700 fois) avec stomates ouverts. C'est par ces ouvertures que l'ozone nocif pénètre dans les plantes.

Tableau 1: Sensibilité relative des plantes cultivées à l'égard de l'ozone

Très sensibles	Epinard	Carotte
Oignon	Trèfle violet	Persil
Avoine	Trèfle blanc	Pois
Sarrasin	Blé	Féverole
Orge	Vigne	Mais
Tomate	Mais sucré	
Luzerne	Dactyle	Moins sensibles
Tabac	Fléole des prés	Céleri
Haricot	Sensibles	Betterave
Radis	Choux	Fraisier
Seigle	Navette	Laitue pommée
Pomme de terre	Endive	Moutarde
	Courge	

qui ne doit être dépassée qu'une fois par année au plus). En 1987, cette valeur a été dépassée environ 40 fois sur le Plateau!

A l'heure actuelle, on ne sait pas encore suffisamment quelles sont les cultures et les variétés les plus sensibles cultivées en Suisse. Pour procéder à une classification des cultures selon leur sensibilité à l'ozone, on ne dispose que de résultats d'essais effectués à l'étranger (tableau 1). Dans

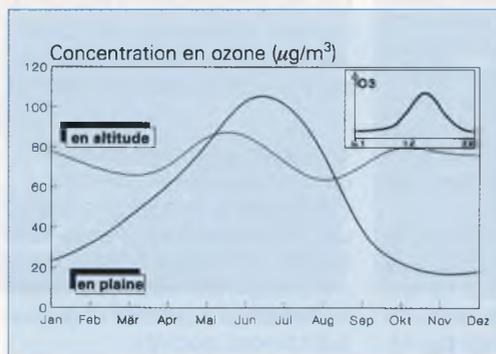


Illustration 1: Courbe de la concentration moyenne en ozone (moyennes mensuelles) au cours d'une année, en plaine (p. ex. Plateau suisse) ou en altitude (plus de 1000 m au-dessus de la mer). **Petit graphique:** Courbe de la concentration en ozone (moyennes horaires) pendant une journée dans le Plateau.

Station fédérale de recherches de chimie agricole et d'hygiène du milieu naturel

Agriculture et environnement

Dans cette série exclusive, des auteurs compétents de la FAC Liebefeld-Berne publieront différents articles sur le thème général: agriculture et environnement.

des associations de plantes pérennes, les différences de résistance à l'égard de l'ozone de diverses plantes peuvent provoquer le remplacement des espèces sensibles par des espèces résistantes.

Pertes de rendement dues à l'ozone

Une fois qu'il a pénétré dans les feuilles, l'ozone occasionne, en très faible quantité déjà, des dégâts aux constituants sensibles des cellules végétales. A la suite de concentrations maxima élevées, des taches distinctement visibles apparaissent sur les feuilles des plantes sensibles, comme le trèfle blanc (voir illustration 2). Cependant, ce phénomène



2) Dégâts causés par l'ozone à du trèfle blanc dans un champ près d'Oeschberg (BE) en été 1987.

est plutôt rare. Dans la plupart des cas, les effets de l'ozone demeurent invisibles. Seules des expériences scientifiques onéreuses permettent de les mettre en évidence. Les principaux dommages dus à l'ozone sont:

- La diminution de la croissance et du rendement
- Le raccourcissement de la durée de vie
- La diminution de la résistance contre d'autres stress, tels le manque d'eau, les infections fongiques, le froid, etc.

On n'a pas encore pu déterminer clairement jusqu'à quel point des altérations de la ré-

colte peuvent se produire. L'ozone agit en freinant la transformation par les végétaux du dioxyde de carbone (CO₂) contenu dans l'air en substances végétales grâce à l'énergie solaire. Il entrave également la répartition de ces substances dans les différentes parties de la plante. Les substances formées dans les feuilles à l'aide de la lumière solaire (photosynthèse) sont transportées, dans les céréales par exemple, de la feuille la plus élevée, en grande partie vers les grains. Si cet apport fait défaut, on assiste à une diminution du rendement en grains. Une autre partie de ces substances est amenée aux racines et leur sert de nourriture. Si cet approvisionnement en nourriture diminue, les racines se développent moins bien. Cela signifie entre autres que leur pouvoir d'absorption de l'eau et des éléments nutritifs ainsi que leur résistance à la verse baissent.

En raison de leur signification politico-économique, les pertes de rendement constituent le centre d'intérêt. Au cours des 5 à 10 dernières années, elles ont été étudiées intensivement, aux Etats-Unis surtout où l'on a déjà relevé, il y a plus de 40 ans, les pertes de rendement causées par l'ozone. C'est pourquoi on dispose de bonnes connaissances en ce qui concerne les pertes dans les cultures et les variétés américaines. Malheureusement, on ne peut pas transposer directement ces connaissances à la Suisse. Chez nous, on cultive d'autres plantes et d'autres variétés. De plus, on utilise d'autres techniques culturales. En outre, les conditions pour les cultures diffèrent beaucoup d'un endroit à l'autre. L'illustration 2 représente la diminution du rendement de diverses cultures avec une charge en ozone croissante révélée dans des études américaines. Celles-ci ont démontré que le maïs réagit beaucoup moins à l'ozone que le soja par exemple. Au total, les pertes de rendement dues à l'ozone aux Etats-Unis ont été estimées à plusieurs milliards de dollars par an.

En vue d'obtenir des informations concernant l'effet de l'ozone sur les cultures de notre pays, la FAC effectue des essais depuis 2 ans (voir fig. 3).



3) Prise de vue de l'installation de production de gaz en plein champ de la FAC à Oeschberg (BE). Celle-ci sert à l'étude de l'effet de l'ozone sur du blé d'été (Albis).

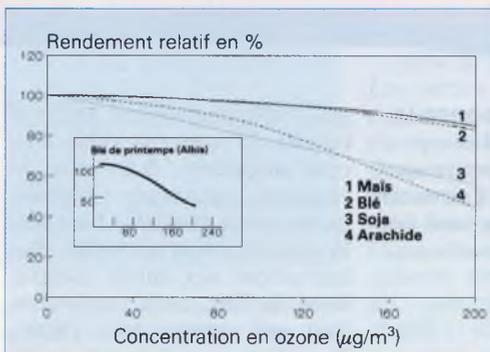


Illustration 2: Relation entre la charge saisonnière en ozone (moyenne de la concentration en ozone d'avril à septembre, mesurée pendant 7 heures par jour) et le rendement relatif de diverses plantes cultivées aux Etats-Unis. Petit graphique: Relation entre le rendement en grains du blé de printemps (Albis) la charge estivale en ozone à Oeschberg (BE) (Résultat provisoire).

Les plantes poussent dans des cabines sous forme de cylindres ouverts en haut. On les appelle «cabines open-top» (fig. 4). Un ventilateur souffle de l'air dans les cabines et assure un changement d'air rapide. Ainsi, on crée à l'intérieur des cabines un climat semblable à celui régnant à l'extérieur. A l'aide de filtres, le courant d'air peut être au besoin appauvri ou enrichi en ozone. Il en résulte différents traitements à l'ozone. Des appareils de mesure enregistrent constamment la concentration en ozone ainsi que de nombreux autres paramètres. L'essai de la FAC, premier et unique de ce type effectué en Suisse, a commencé en 1986 et s'achèvera en 1988. A Oeschberg (BE), emplacement choisi pour l'essai, on a soumis du blé de printemps (Albis) à 4 charges différentes en ozone. Après 1988, d'autres essais de ce type sont prévus en collabo-

ration avec des services de recherches étrangers.

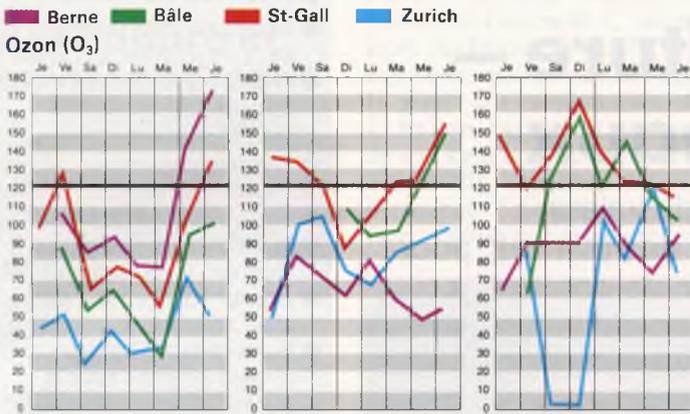
Dans l'illustration 3 (p. graphique), on a estimé, sur base des résultats des années 1986 et 1987, la relation entre la concentration en ozone et le rendement en grains.

A ce propos, il faut souligner qu'avec une diminution de 50% de la charge actuelle d'ozone (ce qui correspondrait à retourner au niveau naturel sans pollution), on peut attendre un accroissement du rendement en grains d'environ 10%. Cela reflète la perte de rendement pour cette culture dans le Plateau suisse ca-

4) Cabine à gaz «open-top» ouverte pour blé de printemps. Cette cabine représente une des 16 installations d'essai de la FAC. A l'intérieur de celle-ci, on aperçoit les installations de surveillance du climat et des substances nocives.



Figure 3: Les quantités d'ozone mesurées



Période de mesure: jeudi 2 juin à jeudi 23 juin. Les valeurs journalières moyennes, resp. les valeurs horaires maximales en microgrammes par mètre cube sont utilisées. Valeur limite fixée par l'Ordonnance sur la protection de l'air (OPA): 120 microgramme d'ozone par mètre cube. Selon l'OPA, cette valeur limite ne devrait être dépassée lors d'une seule journée, resp. pendant une seule heure par année. Stations de mesure: à Berne Brunneggshalde (Laboratoire de la ville de Berne), à Bâle, St. Johann (Service de l'hygiène de l'air des deux Bâle), à St-Gall, Stuelegg (Service de la protection de l'air du canton de St-Gall), à Zurich, Stampfenbachstrasse (Inspectorat de la santé publique de la ville de Zurich).

des différences de rendement oscillant entre 5 et 15 pour cent.

Un problème à long terme

La pollution de l'air par l'ozone ne concerne pas que l'agriculture, mais aussi la sylviculture, notre santé et d'autres domaines. L'agriculteur à lui seul n'est pas en mesure de résoudre ce problème. Au contraire, à l'avenir, la réduction drastique des émissions de substances favorisant la formation d'ozone doit être l'objectif commun des politiques de la protection de l'air de tous les pays européens. Réalistement, cet objectif ne peut toutefois être atteint qu'à moyen ou à long terme. L'introduction du catalyseur sur les véhicules à moteur pourrait être un premier pas dans cette direction. Mais les expériences en provenance des Etats-Unis accumulées pendant ces 10 dernières années tempèrent l'optimisme à ce sujet. Malgré le catalyseur, la concentration d'ozone dans ce pays n'a que faiblement baissé. D'autres mesures visant à diminuer les émissions seront nécessaires. Entre-

Qu'apportera la recherche à l'avenir?

Les connaissances actuelles concernant les effets de l'ozone sur nos plantes cultivées sont restreintes. Toutefois, les premiers essais ont démontré l'importance du problème. Celui-ci mérite d'être étudié intensivement à l'avenir. La recherche va tenter de répondre entre autres aux questions importantes suivantes: 1. Quelles sont les cultures et les variétés particulièrement sensibles? 2. Quelles sont les régions les plus menacées? 3. Etendue des pertes de rendement totales pour des exploitations de diverses régions de culture. 4. Quelles sont les répercussions économiques des pertes de rendement et des diminutions de la qualité provoquées par l'ozone en Suisse?

sée par l'augmentation de la concentration en ozone. Cette différence varie probablement selon la culture et la région. De même, les conditions et les techniques culturales propres à un endroit peuvent aussi in-

fluencer le résultat. Sur la base d'expériences faites à l'étranger et de mesures de l'ozone effectuées en Suisse, on peut déduire grossièrement que, pour de nombreuses régions de la Suisse, il faut s'attendre à

temps, la FAC s'efforce, par le biais d'une recherche systématique, de montrer à quel point une réduction des émissions est urgente.



Equipement d'une installation de gazage au champ. Récolte des parcelles témoin lors de l'étude de l'effet de l'ozone.



La récolte est pesée avant la préparation pour déterminer le rendement, puis elle est hachée.



Au champ, les plantes sont exposées à différentes nuisances.



Les essais exigent généralement beaucoup de travail manuel. Une équipe lors de la récolte des pommes de terre.

Perte pour l'agriculture – pollution pour les eaux

Le nitrate est une combinaison azotée de grande valeur, fondamentale et nécessaire pour la croissance des plantes, pour la vie en général. Toutefois, jusqu'à aujourd'hui, de nombreux phénomènes sont encore inconnus. Au contraire, dans les eaux, particulièrement dans l'eau potable mais aussi dans les légumes, l'enrichissement en nitrates n'est pas souhaitable, des teneurs en nitrates trop élevées peuvent être néfastes pour l'homme et les animaux.

Pour la plupart des plantes cultivées, le nitrate est la source d'azote la plus impor-



Werner Stauffer
Albrecht Siegenthaler
Station fédérale de recherches de Liebefeld BE

dans l'ordre de grandeur suivant:

- Prairies 5–10 kg
- Terres cultivées avec peu de jachère 10–50 kg
- Terres cultivées avec beaucoup de jachère 100–300 kg

Les pertes de nitrates dépendent particulièrement

- du mode d'exploitation
- de la teneur en azote du sol
- du type de sol

- des précipitations
- des eaux d'infiltration
- de la fumure

Les sols superficiels, perméables à l'eau et les précipitations abondantes favorisent le lessivage de l'azote. Une utilisation intensive de ces terres est inévitablement liée à des pertes élevées en azote.

Le risque de lessivage augmente si l'intervalle entre les apports d'engrais et les périodes de prélèvement d'élé-

Pour empêcher les pertes de nitrates

- Maintenir constamment de la végétation sur le sol
- Prendre absolument en compte l'azote des engrais de ferme
- Adapter la quantité d'azote aux besoins
- Fractionner les apports
- Estimer ou mesurer les réserves d'azote du sol
- Choisir une forme d'engrais adaptée
- Fumure sur la ligne pour le maïs (engrais pour la plante, pas pour le sol)
- Prendre en considération les conseils de la vulgarisation.

Attention: Avant une culture à développement lent comme les betteraves ou le maïs, il faut récolter la culture dérobée avant le labour. Dans ce cas, l'apport d'azote au semis sera réduit (libération d'azote par les résidus de feuilles et de racines).

ments nutritifs par les plantes est grand, ainsi qu'avec l'emploi croissant d'engrais de ferme (surtout lorsque la période d'épandage est mal choisie).

La figure 1 montre les pertes de nitrates occasionnées par différents modes d'exploitation. Une jachère de longue

tante. Elle permet la production de protéines de valeur.

Pertes de nitrates

Selon le mode d'exploitation et l'état actuel des connaissances, les pertes se situent

Bases légales pour la protection des eaux

- Loi sur la protection des eaux (en révision)
- Ordonnance sur les substances étrangères et les composants (OSEC)
- Ordonnance sur les substances (art 32 restrictions)

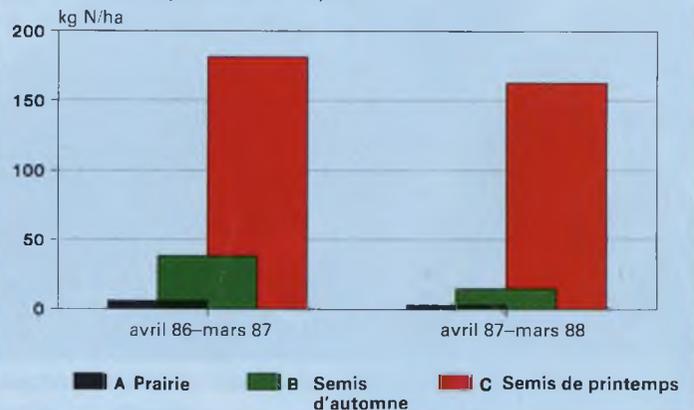


Semis de maïs dans un mélange trèfle-raygras. Les lignes de maïs sont préparées avec une fraise travaillant par ligne. Entre les lignes, le mulch est travaillé avec un appareil spécial. Essai pratique de U. Bucher, Grossaffoltern.

Illustration 1: Pertes de nitrates en relation avec les techniques culturales

A = Prairie		(semis: 30.7.85)
B = Cultures semées en automne	1985/86 blé d'automne	(semis: 17.10.85) (récolte: 7. 8.86)
	1986/87 colza	(semis: 3. 9.86) (récolte: 21. 7.87)
	1987/88 triticale	(semis: 30. 9.87)
C = Semis de printemps avec jachère hivernale		
	1986 blé de printemps	(semis: 14. 4.86)
	1987 maïs d'ensilage	(semis: 7. 5.87) (récolte: 5.10.87)
	1988 orge de printemps	(semis: 5. 4.88)

L'engrais a été apporté selon les directives des stations fédérales de recherches avec une part de 40 m³ de purin.

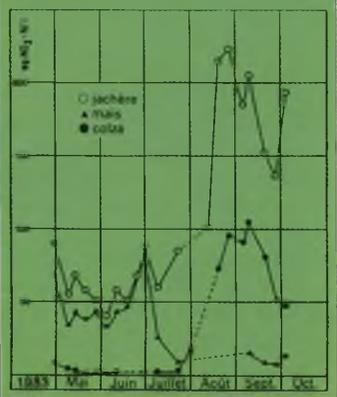


Agriculture et environnement

Dans cette série exclusive, des auteurs compétents de la FAC Liebefeld-Berne publient différents articles sur le thème général: agriculture et environnement.

durée sans aucune culture intercalaire avant un semis de printemps entraîne de grandes pertes de nitrates dans la nappe phréatique. D'autres effets négatifs peuvent également apparaître comme le tassement du sol, l'érosion ou la destruction de la structure du sol.

Illustration 2: Concentration en azote (N mg/l) présent sous forme de nitrates dans l'eau du sol à 75 cm sous différentes cultures.



Conséquences chiffrées du lessivage des nitrates

Il n'est pas possible d'empêcher totalement le lessivage des nitrates. Même dans les prairies permanentes, les pertes s'élèvent à environ 10 kg d'azote par hectare et par an. Les pertes de nitrates représentées à la figure 1 entraînent les pertes financières suivantes:

A Prairie

8 kg N/ha à Fr. 1.60 correspond à 28 kg de nitrate d'ammoniaque **Fr. 13.-**

B Cultures semées en automne
30 kg N/ha à Fr. 1.60

correspond à 107 kg de nitrate d'ammoniaque **Fr. 48.-**

C Semis de printemps avec jachère hivernale

170 kg N/ha à Fr. 1.60 correspond à 607 kg de nitrate d'ammoniaque **Fr. 275.-**

Par la mise en place d'une culture intercalaire qui passe l'hiver, on peut réduire les pertes de l'exemple C au niveau de l'exemple B. Si l'on calcule les pertes de l'exemple B pour une exploitation de 15 ha, on parvient à un total de 450 kg d'azote d'une valeur de Fr. 720.- environ. Ici, les pertes par l'écoulement de surface, l'érosion également ré-

duite (dans les champs en végétation), les pertes d'ammoniacque sous forme gazeuse ainsi que les frais d'épandage ne sont pas pris en compte.

Par contre, les nombreux effets positifs de la végétation sur la structure, la biologie et l'état général d'un sol ne sont pas évalués et jugés en termes financiers.



Essai de culture du maïs pour réduire les pertes de nitrates (Rütti) parcelle 3 avec du seigle semé en laissant les lignes libres (voir schéma), à gauche.

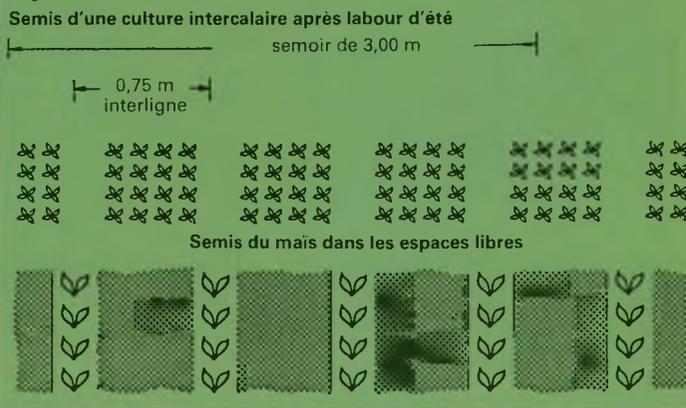
1) Maïs conventionnel 2) Maïs avec sous-semis 3) Maïs dans le seigle (photo)

Fumure: 1) selon les normes 2) selon les normes, premier apport d'azote réduit 3) apports de purin 2 fois 50 m³ et fumure de couverture minérale.



Plantes de maïs dans un mélange annuel trèfle-raygras (voir ill. 3).

Illustration 3: Schéma du procédé de semis dans les espaces libres d'une culture intercalaire passant l'hiver avec semis de maïs au printemps (selon Jäger, Einbeck)



Agriculture et environnement

Dans cette série exclusive, des auteurs compétents de la FAC Liebefeld-Berne ont publié différents articles sur le thème général: agriculture et environnement.

La série agriculture et environnement nous a accompagnés tout au long de l'année 1988. Les thèmes suivants ont été traités:

- Notre agriculture, une menace ou une protection pour l'environnement?
- Analysons les plantes
- L'agriculture fertilise-t-elle nos lacs?
- Valorisation des engrais de ferme et des déchets anthropogènes
- Métaux lourds dans le sol: un danger pour la production végétale?
- L'agriculture est-elle concernée par la pollution de l'air?
- Les effets de l'ozone sur les plantes cultivées
- Lessivage des nitrates. Perte pour l'agriculture - pollution pour les eaux
- Le contrôle des engrais au service de l'agriculture
- Recyclage des déchets, l'agriculture est-elle concernée?

Un tiré-à-part de cette série d'articles paraîtra début 1989. Vous pouvez d'ores et déjà réserver un exemplaire à l'aide du coupon ci-dessous.

Oui, je désire recevoir un tiré-à-part de la série

Agriculture et environnement

Nom: _____

Prénom: _____

Adresse: _____

NPA/Lieu: _____

Prière d'écrire lisiblement et de renvoyer à: Revue UFA, case postale 8572, 3001 Berne



Le contrôle des engrais au service de l'agriculture

Le Service de contrôle des engrais passe passablement inaperçu vis-à-vis de l'extérieur. Cela provient surtout du fait qu'il ne procède pas à des recherches scientifiques spectaculaires. Sa mission et ses activités sont par conséquent relativement peu connues.

Le contrôle des engrais relève des articles 71 à 76 de la loi du 3 octobre 1951 sur l'agriculture et des arrêtés qui en découlent (l'ordonnance du



René A. Bonjour,
Ing. agr. EPF
Section engrais et
fumure, FAC, 3097
Liebefeld-Berne

4 février 1955 sur le commerce des matières auxiliaires de l'agriculture et le livre des engrais du 26 mai 1972), de l'ordonnance sur les boues d'épuration du 8 avril 1981 et de l'ordonnance du 9 juin 1986 sur les substances nocives pour l'environnement.

Dans toutes ces tâches (voici encadré), le contrôle des engrais s'appuie sur le travail consciencieux du laboratoire des engrais et sur les dosages précis obtenus au moyen d'appareils très sensibles de la section de chimie analytique.

Les diverses tâches du Service de contrôle des engrais se-

ront présentées ci-après par quelques exemples.

Contrôle de qualité

150 à 200 échantillons d'engrais nous sont envoyés chaque année pour contrôler leurs qualités. Pour une partie d'entre eux, l'emballage est aussi examiné.

80 % déclaré pour une teneur réelle de 26 %!

Comme les cultures spéciales requièrent beaucoup de matière organique pour améliorer le sol, quelques produits utilisés dans ce but ont été examinés ce printemps. L'un d'eux attirera particulièrement notre attention à cause de sa teneur de 80 % en substances organiques déclarée (et par conséquent garantie). L'analyse de ce produit n'indiqua une teneur en matière organique que de 26 %. Cette invraisemblable différence provenait de ce que la teneur en matière organique mentionnée sur l'emballage se rapportait à la matière sèche du produit, sans que cela ne fût mentionné. Comme une telle indication in-

Les principales tâches du Service de contrôle des engrais:

- contrôle de la concordance entre la désignation sur l'emballage et les propriétés du produit (qualité)
- examen des demandes d'autorisation de mise sur le marché de nouveaux engrais ou produits d'amélioration du sol
- contrôle des boues d'épuration
- renseignements

duit l'acheteur en erreur sur la teneur réelle du produit, nous sommes intervenus auprès de l'importateur pour qu'il corrige rapidement la déclaration illégale et trompeuse sur l'emballage.

A côté de tels cas extrêmes isolés, nous constatons généralement une bonne concordance entre la teneur garantie indiquée sur l'emballage et les teneurs obtenues par l'analyse de contrôle.

90 nouveaux engrais par année

Environ 90 nouveaux engrais et produits d'amélioration du sol nous sont annoncés chaque année en vue de leur introduction sur le marché. Nous parvenons encore en plus environ 50 demandes d'autorisation pour la mise en vente de nouveaux produits, dont une trentaine reçoivent une autorisation provisoire et une dizaine définitive.

Contrôle des boues d'épuration

En plus de toutes les autres analyses, la capacité du laboratoire de la FAC limite à 500 le nombre d'échantillons de boues d'épuration qui peuvent être contrôlés annuellement. Ces analyses permettent de contrôler pratiquement toutes les boues utilisées en agriculture. Pour les quelque 900 stations d'épuration (STEP) des eaux usées en service en Suisse, ce contrôle approfondi n'est rendu possible que pour les raisons suivantes:

- près de 300 stations d'épuration sont contrôlées par des autorités cantonales compétentes ou par des laboratoires privés, d'ailleurs tenus de nous communiquer tous leurs résultats d'analyses
- un nombre croissant de stations d'épuration ne peuvent plus valoriser leurs boues dans l'agriculture: soit parce que leur qualité est insuffisante, soit que leurs boues ne sont simplement plus demandées. Nous n'analysons plus les boues de telles stations
- comme nous contrôlons avant tout les boues des grandes et moyennes sta-



Chaque année, 90 nouveaux engrais ou amendements pour le sol nous sont annoncés pour analyse.

Station fédérale de recherches de chimie agricole et d'hygiène du milieu naturel

Agriculture et environnement

Dans cette série exclusive, des auteurs compétents de la FAC Liebefeld-Berne publieront différents articles sur le thème général: agriculture et environnement.

PHOTO: K. WEPFER



La FAC garantit à l'agriculteur suisse que le contenu du sac correspond à l'étiquette en effectuant en permanence des analyses de contrôle.

tions d'épuration (plus de 2000 habitants raccordés), la plus grande partie des boues produites sont ainsi analysées, comme cela ressort de la figure 2.

Pour cette dernière raison, près de 100 % des boues mises en valeur par l'agriculture sont contrôlées régulièrement, avec quatre analyses ou davantage par année.

Les résultats du contrôle des boues d'épuration sont représentés graphiquement dans la figure 3.

Les stations d'épuration en service en Suisse produisent

65 % de boues de bonne qualité. Cela représente 91 pour cent des stations contrôlées. 6 pour cent des stations en service produisent des boues de qualité insuffisante. 29 pour cent des stations d'épuration ne sont pas contrôlées, parce que ce sont de petites installations, ou parce qu'elles ne li-

vrent pas de boues à l'agriculture.

On peut enfin encore mentionner que les boues réputées bonnes ne contiennent en moyenne que la moitié de la teneur maxima en métaux lourds admise par l'ordonnance sur les boues d'épuration.

Renseignements

La part la plus importante des conseils prodigués par le Service de contrôle des engrais concerne les stations d'épuration et l'utilisation de leurs boues par l'agriculture. Des renseignements sont aussi sollicités par des marchands d'engrais et des personnes privées. Les informations souhaitées touchent aux engrais et aux dispositions légales en vigueur relatives au commerce des matières auxiliaires.

Conclusion

Le contrôle des engrais constitue une tâche importante exigée par la loi. L'agriculture doit en effet pouvoir disposer d'engrais et de substances auxiliaires de bonne qualité, sans indications équivoques. Le contrôle de la qualité des boues d'épuration relève du même souci, selon les exigences de l'ordonnance sur les boues d'épuration. On a ainsi l'assurance que seules des boues de qualité irréprochable sont utilisées comme matière fertilisante et mises en valeur par l'agriculture.

Figure 1: Rapport entre la grandeur des STEP et la quantité de boues d'épuration produites

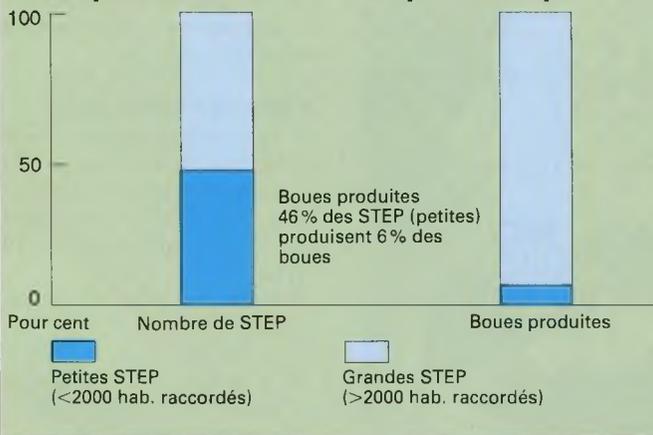
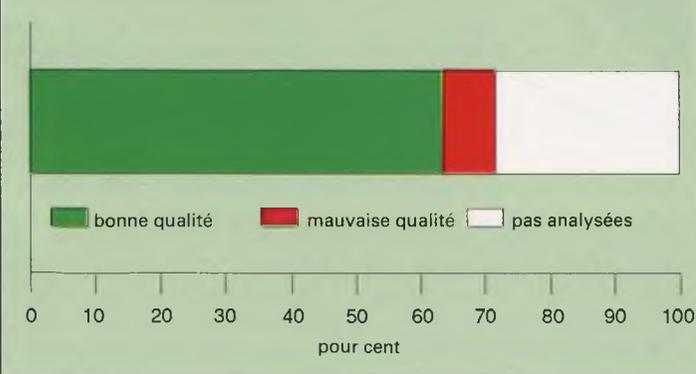


Figure 2: Qualité des boues produites dans les STEP en 1986



Je veux ma propre Revue UFA

Envoyez-moi s.v.p. les documents détaillés pour la commande, afin que je dispose bientôt de ma propre Revue UFA.

A retourner à:
Revue UFA, édition,
case postale 8572, 3001 Berne

Nom _____

Prénom _____

Adresse _____

NPA _____ Lieu _____



Recyclage des déchets – l'agriculture est-elle concernée?

La Suisse produit annuellement environ 10 millions de tonnes de déchets. Si on s'avisait de faire disparaître cette énorme masse en un seul endroit, par exemple dans le lac de Baldegg, celui-ci serait entièrement comblé par nos déchets en l'espace de 10 ans. De nombreux déchets de périodes antérieures, dont nous croyions nous être définitivement débarrassés, ressurent parfois inopinément.

Et la quantité de déchets ne cesse de croître! Notre existence en est réellement menacée!



Toni Candinas, ing. agr. Station fédérale de recherches en chimie agricole et sur l'hygiène de l'environnement, 3097 Liebefeld-Berne

Bien que les êtres vivant sur la Terre aient toujours produit des déchets depuis des millions d'années, l'amoncellement des déchets de notre civilisation n'est devenu vraiment préoccupant que depuis relativement peu de temps. Un système imbriqué très complexe s'est instauré au cours de la longue histoire de notre planète entre les producteurs (plantes vertes), les consommateurs (animaux, homme) et les agents de décomposition (micro-organismes, champignons). Tous les êtres vivants sont ainsi devenus en quelque sorte dépendants les uns des autres, les déchets des uns servant de nourriture à d'autres. De cette manière, les substances nutritives s'échangent en un cycle perpétuel, animé par l'énergie solaire. Les montagnes de déchets relèvent d'un phénomène récent.

Comment en est-on arrivé là?

Un problème de quantité: La maîtrise de nouvelles énergies ces dernières décennies a permis de multiplier plusieurs fois la production et la con-



Allons-nous laisser les immondices nous ensevelir?

sommation de nombreuses matières et biens. La vitesse de recyclage de ces substances a été élevée, ce qui en a entraîné des concentrations plus fortes qu'à l'état «naturel»: p. ex.

l'extraction accrue de phosphore entraîne davantage de phosphore dans le sol, dans l'eau, dans les plantes...

Un problème de qualité: De très nombreuses substances de

composition chimique nouvelle trouvent déjà un usage courant. Et des centaines de nouvelles s'y ajoutent chaque année. Plusieurs d'entre elles ne se décomposent que très difficilement ou pas du tout dans les cycles naturels: p. ex. les sacs en plastique ne sont pas détruits dans les tas de compost. De plus ces substances ne s'emploient la plupart du temps pas isolément. Un appareil de radio, une automobile, une habitation moderne se composent d'une quantité de substances diverses. L'élimination ultérieure de ces déchets se heurte à de grandes difficultés.

Problème de la répartition:

La population se concentre de plus en plus dans des centres urbains. Les déchets s'accumulent dès lors en ces lieux.

Problème d'élimination:

La question des cycles naturels a été évoquée. Nous produisons, utilisons et éliminons des matières. Nous ne réintroduisons plus à les réintroduire tous dans des cycles naturels. Les gisements de matières premières deviennent toujours plus rares et les montagnes de déchets sont l'aboutissement de ce flux de matières.

Il est pourtant impensable de poursuivre indéfiniment dans cette voie.

Le rôle de l'agriculture

L'agriculture pourrait jouer un rôle important dans la maîtrise du problème des déchets. Sur le plan général, il est universellement admis que l'on devrait:

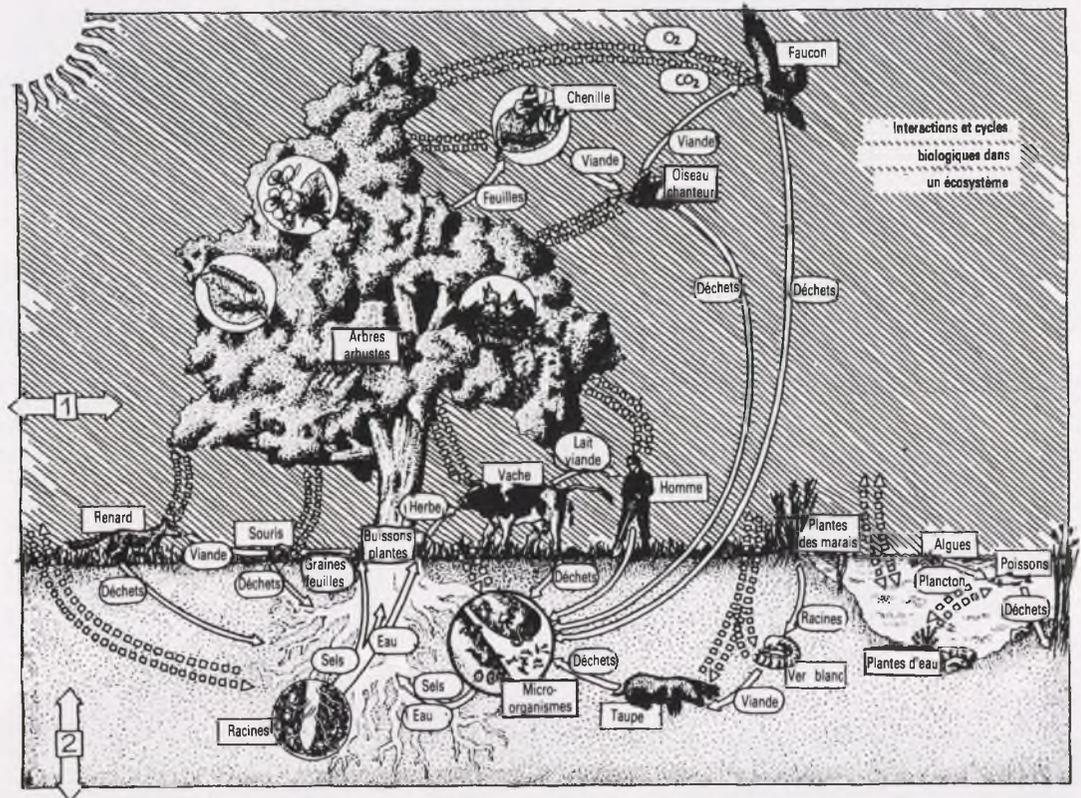
1. réduire la quantité de déchets
2. recycler les déchets (toutes les fois que c'est possible):
 - dans l'industrie (verre, papier, métaux...)
 - dans l'agriculture (engrais, amendements)
3. en tirer de l'énergie
4. les déposer en décharge contrôlée (seulement comme dernière alternative).

L'agriculture peut effectivement grandement contribuer à réduire la montagne des déchets et à reconduire les matières dans leur cycle naturel. Une part substantielle à très élevée des deux catégories de déchets – les boues d'épuration et les ordures ménagères – pourraient être réutilisées.

Les conditions d'acceptation appartiennent évidem-

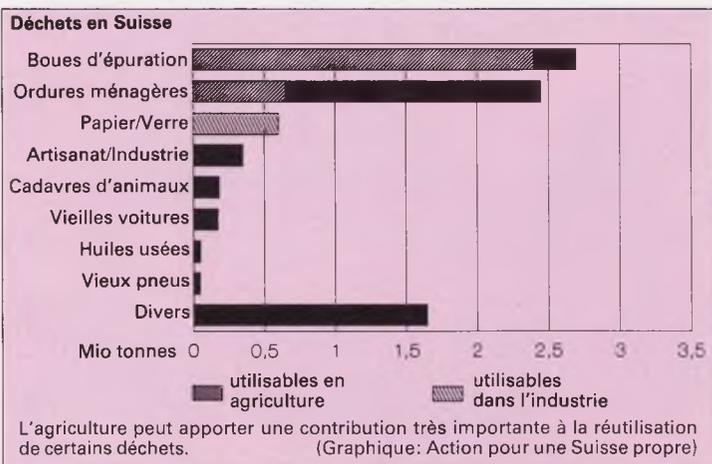
ment à l'agriculture seule. L'industrie de récupération met déjà avec raison des conditions, en demandant p.ex. que le verre de récupération soit assorti par couleur ou que le papier soit séparé du reste des déchets. L'agriculture pourrait tout aussi bien avoir des exigences, du moment que l'utilisation qu'elle ferait des déchets aurait des conséquences prolongées jusqu'aux consommateurs, notamment concernant:

- une **bonne qualité** (teneur élevée en substances utiles, teneur minimum en substances nocives, composition irréprochable du point de vue hygiénique)
- un **contrôle de la qualité** (prélèvements réguliers d'échantillons et analyses de tous les composants)
- un **service de vulgarisation** développé (afin d'éviter des erreurs d'utilisation, des conseils destinés surtout à la population non agricole)
- des moyens nécessaires donnés à la **recherche** (pour trouver rapidement une so-



Où passent les déchets?

Chaque année, sur toute la terre, des milliards de tonnes de déchets organiques sont produits. La plupart font partie d'un cycle complet et sont parfaitement réutilisés: les excréments d'un être vivant sont des matières premières et de la nourriture pour un autre. Modèle pour un recyclage des déchets écologique. (Dessin: Action pour une Suisse propre)



lution aux problèmes qui pourraient surgir).

Ces exigences sont déjà en grande partie conférées par des lois fédérales (ordonnances sur les boues d'épuration sur les matières auxiliaires de l'agriculture); il faut dès lors veiller à l'observation rigoureuse de ces directives.

Dans ces conditions, chacun y trouvera son avantage. L'agriculture bénéficiera d'engrais et d'amendements gratuits, sous forme de boues d'épuration et de compost (tabl. 1 et 2), d'une valeur en

équivalent engrais du commerce de plus de 20 mio. Fr. L'économie ainsi réalisée, en évitant l'élimination pure et simple, se chiffrera à au moins 50 mio. Fr. Le bénéfice permettra aussi d'investir davantage dans les domaines de la recherche et de la vulgarisation.

D'un point de vue écologique, l'avantage de quitter l'ornière production - consommation - élimination pour s'orienter vers le recyclage rapprochera aussi de conditions plus naturelles.

Tableau 1: Substances nutritives utiles aux plantes provenant de déchets et des engrais minéraux, Suisse 1988

	N	P	K	MO
Boues d'épuration (total)	10	7	0,5	100
Compost (total)	1	0,3	0,7	40
Engrais minéraux	70	18	55	—

Tableau 2: Comparaison des teneurs en éléments nutritifs¹ des boues d'épuration avec le purin (en kg/m²) et du compost avec le fumier (en kg/tonne)

	MO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
Boues d'épuration	30	2,8	4,5	0,2	5	0,5
Purin complet bovin (dilué 1:1)	50	2,5	1	3,5	1,3	0,3
Compost ²	180	5	3,5	4	80	3
Fumier	170	5	3	6	5	1,2

¹ Les teneurs mentionnées ici proviennent de valeurs calculées. De grandes variations peuvent se présenter suivant les cas.
² Compost composé de déchets ménagers et de déchets de jardin, végétaux (et animaux).



Si l'agriculture reprend les déchets et les met...
 ...en valeur, elle doit pouvoir fixer ses conditions.

