



HAL
open science

Equipements en production végétale et réduction des pollutions

J.C. Ignazi, B. Cheze, J.L. Verrel

► **To cite this version:**

J.C. Ignazi, B. Cheze, J.L. Verrel. Equipements en production végétale et réduction des pollutions. Cemagref Editions, pp.95, 1995, 2-85362-405-6. hal-02574662

HAL Id: hal-02574662

<https://hal.inrae.fr/hal-02574662>

Submitted on 19 Apr 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

PUB000001246

Équipements en production végétale et réduction des pollutions

Actes du colloque



CEMAGREF

1^{er} mars 1995 - Paris

CENA 20

Équipements en production végétale et réduction des pollutions

Actes du colloque
Paris - 1^{er} mars 1995

Dans la même collection aux éditions du Cemagref

(prix TTC)

- Recherche et société, 10 ans d'expérience du Cemagref, oct. 1991, Paris, ISBN 2-85362-256-8, 1991, 204 p. - **200 F**

Équipements agricoles et alimentaires

- Pastiques et environnement, 1994, ISBN 2-85362-396-4, 52 p. - **100 F**
- Maîtrise et prévention des pollutions dues aux élevages, *SIMA 94*, Paris, ISBN 2-85362-349-1, 148 p. - **200 F**
- La conduite autonome des engins agricoles, *SIMA 92*, Paris, ISBN 2-85362-266-5, 1993, 152 p. - **200 F**
- L'application de l'analyse d'images dans l'agro-industrie. De la production à la transformation des produits agricoles, 28 sept. 1994, Montpellier, ISBN 2-85362-372-6, 144 p. - **180 F**
- Use of on-machine vision systems for the agricultural and bio-industries. Systèmes de vision embarqués pour l'agriculture et l'industrie agro-alimentaire, sept. 1991, Montpellier, ISBN 2-85362-279-7, 1992, 176 p. - **200 F**
- Du concept de BVRE à celui de zone atelier dans les recherches menées en eaux continentales, 1994, Paris, ISBN 2-85362-400-5, 228 p. - **200 F**

Équipement pour l'eau et l'environnement

- Workshop on subsurface drainage simulation models. Atelier sur les modèles de simulation du drainage, 4-5 sept. 1993, La Haye, ISBN 2-85362-338-6, 1993, 338 p. - **150 F**
- Drainage agricole, fév. 1990, Le Caire, ISBN 2-85362-220-7, 1991, 340 p. - **220 F**

Gestion des milieux aquatiques

- ACIPENSER, colloque international sur l'esturgeon, oct. 1989, Bordeaux, ISBN 2-85362-208-8, 1991, 520 p. - **350 F**

- Measures for success. Metrology and instrumentation in aquaculture management. Mesures pour le succès. Métrologie et instrumentation appliquées à la gestion en aquaculture, *Aquaculture Bordeaux 94*, ISBN 2-85362-373-4, 328 p. - **275 F**

- Atelier international sur les bases biologiques de l'aquaculture des siluriformes. International workshop on the biological bases for aquaculture of siluriformes, 1994, Montpellier, ISBN 2-85362-365-3, 194 p. - **150 F**

- Dysfonctionnements biologiques dans les stations d'épuration en boues activées, 21 oct. 1994, Lyon, ISBN 2-85362-381-5, 82 p. - **200 F**

- Congrès international sur le traitement des effluents vinicoles. International specialized conference on winery wastewaters, 20 - 24 juin 1994, Narbonne / Epernay, ISBN 2-85362-366-1, 296 p. - **200 F**

Gestion des territoires

- Quelle mécanisation pour la forêt de demain ?, *SIMA 93*, Paris, ISBN 2-85362-324-6, 1993, 192 p. - **200 F**
- Ressources naturelles et développement montagnard, *SAM 92*, Grenoble, ISBN 2-85362-310-6, 1993, 154 p. - **200 F**
- Montagne = Qualité ?, *SAM 92*, Grenoble, ISBN 2-85362-332-7, 1993, 68 p. - **150 F**
- Territoires ruraux et développement. Quel rôle pour la recherche, 28 avril 1994, Paris, ISBN 2-85362-367-X, 246 p. - **170 F**
- Thermal remote sensing of the energy and water balance over vegetation in conjunction with other sensors. Télédétection infrarouge thermique des échanges énergétiques et hydriques de la végétation en combinaison avec d'autres capteurs, sept. 1993, La Londe Les Maures, ISBN 2-85362-371-8, 330 p. - **275 F**

Actes du colloque **Équipements en production végétale et réduction des pollutions**, 1^{er} mars 1995.
Coordination de l'édition : J. Clément - Suivi d'édition : V. Goulette - Maquette de couverture : F. Cédra -
Mise en page : G. Suluja.

Impression et façonnage : imprimerie Louis Jean, 05003 Gap - Diffusion : Cemagref-Dicova, BP 22, 92162 Antony Cedex - Diffusion aux libraires : TEC et DOC Lavoisier, 19 rue de Provigny, 94236 Cachan Cedex (c) Cemagref, ISBN 2-85362-405-6, dépôt légal : 1^{er} trimestre 1995 - **Prix : 150 F**

Colloque

Équipements en production végétale et réduction des pollutions

Paris, 1^{er} mars 1995
SIMA, Villepinte

Présidence :

Jean-Claude IGNAZI
Président du COMIFER

Coordination scientifique :

Bernard CHEZE
Cemagref, Adjoint au chef du département
Équipements agricoles et alimentaires

Jean-Louis VERREL
Cemagref, Délégué à l'Environnement

Avant-propos

Edgar Pisani, dans un entretien relaté dans la revue *Natures-Sciences-Sociétés* (vol. 1, n° 4, 1993, p. 336) souligne que "nous n'avons plus aujourd'hui globalement besoin d'une recherche qui fasse des miracles technologiques, même si cela reste vrai dans certains secteurs, nous avons besoin d'une recherche qui nous aide à rétablir des équilibres rompus".

Ces "équilibres rompus", en particulier dans le milieu naturel, ont montré la limite d'une activité humaine trop peu soucieuse de la conservation de son patrimoine. Mais des évolutions significatives sont apparues récemment. Prévenir et maîtriser les pollutions qui sont engendrées par des pratiques agricoles pas assez respectueuses de l'environnement constitue maintenant une préoccupation majeure des pouvoirs publics, non seulement en France, mais dans toute l'Europe.

En 1994, un premier colloque organisé par le Cemagref a abordé les pollutions dues aux élevages. Les mouvements de concentration et d'intensification de certains élevages ont dépassé la capacité naturelle de la zone géographique proche à "absorber" les charges polluantes rejetées. Plusieurs propositions d'amélioration de cette situation ont été présentées, tant par les chercheurs que par les organisations professionnelles agricoles.

Un deuxième volet devrait évidemment traiter des autres sources de pollution qui constituent les usages mal maîtrisés des engrais minéraux et des produits phyto-sanitaires. Certes, réduire les quantités peut déjà contribuer à réduire la pollution. Pour les engrais, c'est accepter cependant plus de risques, tant au niveau économique qu'à celui de la qualité technologique de la récolte. Pour les produits phyto-sanitaires, les risques sont encore plus diversifiés ; phénomènes de résistance aux molécules actives, de perte en quantité et en valeur marchande, voire, pour les plantations, de leur disparition.

Le mot d'"équilibre" prend ici toute sa valeur. L'approche de la maîtrise des pollutions nécessite, au départ, une bonne connaissance du système biologique sur lequel on va intervenir.

Cette approche système apparaît bien au travers de la multidisciplinarité des équipes de recherche européennes qui ont été associées sur ces thèmes.

Et, sans jamais être le mieux placé pour parler de la fertilisation minérale, des maladies des plantes ou des mauvaises herbes, on constate cependant le rôle intégrateur du chercheur en génie des équipements (une des "spécialités" du Cemagref) pour doter les acteurs de terrain d'outils technologiques mieux adaptés à une agriculture de plus en plus précise : on applique la dose nécessaire dans la seule zone à traiter.

Prendre en compte la grande variabilité des sols et des plantes, et faire l'application en temps réel, sans augmenter le temps de chantier nécessite de nouveaux équipements, plus "intelligents" et rapides en exécution. Dans d'autres secteurs, beaucoup d'évolutions techniques vont dans le même sens : améliorer la précision des équipements, tout en facilitant le travail de l'opérateur (ergonomie).

Plusieurs exemples de ces démarches sont montrés dans ce colloque, par l'ensemble des partenaires concernés par la filière équipement.

Bien d'autres recherches sont menées sur le terrain de la génétique, de la physiologie (aptitude des plantes à assimiler l'azote, résistance aux maladies,...), mais ceci est une autre histoire... ou un autre colloque !

Sommaire

Les traitements phytosanitaires, évolution des normes et règlements	
A. Miralles, P. Villeroy	9
La gestion et la valorisation des emballages de produits phytosanitaires après utilisation	
D. Gorges	17
La contribution du matériel à la réduction des contaminations de l'environnement	
M. Morel	21
Les pratiques des agriculteurs et les propositions pour une meilleure conception des équipements, des produits et de leur mise en œuvre	
R. Delouée	25
La récupération des films plastiques agricoles	
F. Gaillard, J. Gratraud	29
La simplification du travail du sol et réduction des pollutions	
G. Thevenet	43
L'interaction engrais/épandeur : de la pratique de terrain à la modélisation	
M. Rousselet, P. Zwaenepoel	55
Les nouveaux concepts d'application localisée	
J.-M. Roger, J.-M. Le Bars	71
Note de synthèse bibliographique	
N. Delherbe	83

Les traitements phytosanitaires, évolution des normes et règlements

André Miralles

Cemagref, division Génie des Équipements agricoles et alimentaires
361, rue J.-F Breton, B.P. 5095, 34033 Montpellier Cedex 1
Tél. 67 04 63 00 - Fax 67 63 57 95

Pierre Villeroy

*Président du Groupe technique d'applications et de manipulation
des produits phytosanitaires du CORPEN*
18, rue des Fauvettes, 92260 Fontenay aux Roses

Résumé - Le présent article présente les principales législations européennes et françaises concernant les techniques d'application et les appareils de traitement des cultures. Il établit une comparaison des législations de certains Etats membres de la Communauté européenne.

Abstract - *The attached document gives the main regulations in Europe and in France concerning application techniques and equipments to treat crops. It gives a comparison of the regulations in some member countries of the European Union.*

Introduction

Les traitements phytosanitaires constituent un des itinéraires techniques afin d'obtenir des cultures dans un état sanitaire correct. Les produits de traitement peuvent être appliqués sur une végétation sous forme généralisée, on parle alors de traitement généralisé ou de couverture, ou sous forme localisée pour atteindre un ennemi situé dans une partie de la plante.

De ce fait, les appareils sont adaptés à la morphologie de la culture et/ou de la cible à atteindre. La qualité de la répartition du produit sur la cible et la pénétration du produit dans le végétal sont les facteurs essentiels que doit rechercher l'agriculteur pour garantir un effet biologique maximum. En outre, cette optimisation est essentielle pour réduire l'impact des produits phytosanitaires sur l'environnement.

Ces dernières années, cette préoccupation environnementale a incité d'une part, les agriculteurs à mieux travailler et les constructeurs de matériel à vendre du matériel plus performant et, d'autre part, les pouvoirs publics (nationaux ou européens) à mettre en place des législations permettant de préserver le milieu naturel.

Législations existantes

La législation concernant les appareils de traitements peut se classer en trois rubriques : la sécurité des machines vis-à-vis des opérateurs, la technique d'application et la formation.

Sécurité des machines

La conformité des machines est définie par la Directive européenne 89/392 CEE dont l'application est obligatoire depuis le 1^{er} janvier 1995 (1). Elle concerne tous les matériels agricoles et, en particulier, les pulvérisateurs. Deux autres directives ont complété ce texte de base (1).

Le matériel de traitement a fait l'objet de travaux particuliers qui se sont concrétisés par la rédaction d'un projet de norme (2) qui est actuellement soumis au vote des six mois. Ce texte donne présomption aux directives évoquées ci-dessus mais son champ d'application est plus restreint.

Ce projet de norme précise les exigences de fabrication auxquelles doit répondre le matériel. Il définit en particulier celles concernant les éléments pivotants et le relevage des rampes de pulvérisation, les caractéristiques des cuves, les dimensions de l'indicateur de pression, les critères assurant un fonctionnement correct du dispositif de décharge de pression, les protections liées à l'existence d'un ventilateur, la conception du circuit hydraulique et introduit la nécessité de disposer, sur le pulvérisateur, d'une cuve supplémentaire de 15 l pour permettre à l'opérateur de se rincer en cas d'éclaboussures. En outre, la notice d'instructions doit préciser un certain nombre de points techniques ou de procédure permettant d'assurer le bon fonctionnement du pulvérisateur.

Technique d'application

La seule réglementation européenne concernant la technique d'application est un accord partiel, conclu au sein du Comité des ministres, relatif à l'épandage des pesticides par voie aérienne (3).

Cette résolution fixe notamment la procédure qui doit être suivie avant toute intervention : information des autorités compétentes et des riverains

(apiculteurs et public), niveau de qualification du personnel, conditions d'utilisation du terrain d'aviation opérationnel et du point d'eau, exécution du traitement - en particulier aucun traitement ne doit être fait par vent latéral de plus de 5 m/s -, le contenu du rapport de fin de vol et, enfin, l'élimination des résidus.

En France, l'arrêté du 25 février 1975 (4) définit les conditions d'application des produits phytosanitaires. Il est spécifié, à l'article 2, que toutes les précautions doivent être mise en œuvre par l'opérateur pour éviter l'entraînement des produits quelle que soit l'évolution des conditions météorologiques durant le traitement. Cette disposition doit protéger les habitations, les parcs, les jardins, les points d'eau, les bassins d'élevages (piscicultures, etc.), le littoral maritime, les lacs, les cours d'eau, les canaux de navigation, d'irrigation et de drainage, les ruches, les réserves de chasse, les parcs nationaux, et de façon générale, toute propriété ou bien appartenant à des tiers.

Les articles 5, 6 et 7 introduisent des dispositions concernant le traitement aérien. Ils définissent l'obligation, d'une part, d'informer à l'avance le chef de la circonscription phytosanitaire, d'autre part, de signaler et d'interdire l'accès des terrains d'atterrissage et des zones d'application aux animaux domestiques et aux personnes étrangères aux traitements, et enfin, de doter les opérateurs de dispositifs de sécurité appropriés au traitement à réaliser.

Enfin, cet arrêté fixe des dispositions particulières concernant la protection des abeilles ou tout autre insecte pollinisateur (article 8) et celles à la destruction des emballages (incinération ou enfouissement sous 30 cm). Ces dernières dispositions régissant la destruction des emballages ont été modifiées par le décret du 13 juillet 1994.

L'arrêté de 1975 a été revu dernièrement et fera prochainement l'objet d'une publication au Journal officiel. Les modifications majeures concernent la procédure de déclaration d'intervention auprès des autorités pour les traitements aériens et l'obligation d'établir un rapport d'intervention dans un délai déterminé après le traitement. Bien que non prévu dans l'arrêté, cette dernière disposition était déjà en application conformément à l'exigence de la circulaire DUFRENE (5).

Par ailleurs, bien qu'aucune législation ne définisse le contrôle des appareils en parc, la chambre d'Agriculture de la Somme a organisé durant les deux dernières années des campagnes avec le soutien financier du Conseil régional de Picardie et de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. Dans le passé, d'autres actions de contrôle des pulvérisateurs

avaient été effectuées souvent sur l'initiative des constructeurs ou des firmes agropharmaceutiques dans un but de sensibilisation des agriculteurs.

Formation

Le volet formation a été partiellement abordé par la loi n° 92-533 du 17 juin 1992 (6) dont la date d'entrée en vigueur est prévue pour le 1^{er} janvier 1996 et son décret d'application n° 94-863 du 5 octobre 1994 (7). A cette date, les distributeurs de produits phytosanitaires et les prestataires de services réalisant des applications, à titre payant, de ces produits devront être détenteur d'un agrément. Son obtention est subordonnée à :

- la présence d'un employé permanent titulaire d'un certificat de qualification professionnelle,
- la souscription d'une police d'assurance couvrant la responsabilité professionnelle.

Le certificat de qualification professionnelle sera délivré par les directeurs régionaux de l'agriculture et de la forêt, pour une durée de cinq ans renouvelable, aux candidats répondants à l'une des conditions suivantes :

- être titulaire d'un diplôme reconnu,
- faire valider l'expérience professionnelle par des jurys régionaux,
- justifier de la réussite à des épreuves mises en place au niveau des régions.

L'arrêté d'application listant les diplômes reconnus et celui de la composition du Conseil national d'agrément professionnel, entité en charge de superviser le bon fonctionnement du dispositif, ont été élaborés et devraient être publiés au Journal officiel prochainement.

Législations et tendances chez nos voisins européens

Sous la pression des préoccupations environnementales, les pouvoirs publics ont mis en place des législations afin d'améliorer l'application des produits phytosanitaires. Ces textes concernent les trois notions fondamentales :

- l'agrément des appareils neufs avant leur mise sur le marché,
- le contrôle périodique des appareils en parc,
- la formation des opérateurs.

Agrément du matériel

En Allemagne, le ministère en charge de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt a délégué au Biologische bundesanstalt für land- und forstwirtschaft (BBA), l'application de la loi du 15 septembre 1986 (8) en ce qui concerne la technique d'application.

Cet organisme a défini des conditions générales et des critères de performances auxquels doivent répondre les nouveaux appareils mis sur le marché. Tout appareil répondant à ces exigences est inscrit sur une liste et peut être rayé si, suite à un contrôle, il ne répond plus aux conditions d'agrément.

La Suède a imposé depuis le 1^{er} Juillet 1991, un agrément obligatoire des pulvérisateurs avant leur mise sur le marché.

La Generalitat de catalunya en Espagne a assujetti, depuis 1985, l'obtention de crédit à des taux préférentiels à l'agrément préalable de l'Estacion de maquinaria agricola de Lleida. Des critères de performances minimales sont définis dans le texte réglementaire (9).

La Belgique ne dispose pas de réglementations sur ce point. Un règlement-type (10) définissant un cahier des charges des principaux composants et des fonctions essentielles du pulvérisateur est en cours de rédaction et devrait entrer en vigueur dans les années à venir.

Contrôle du matériel

L'Allemagne dispose également d'une législation relative au contrôle du matériel. Ces contrôles, effectués volontairement pendant une vingtaine d'années, ont été rendus obligatoires depuis le 1^{er} juillet 1993 (11). Ils concernent des fonctions essentielles de la machine : état de la pompe et du manomètre et qualité de la répartition transversale. Ces contrôles sont généralement effectués par des marchands/réparateurs agréés et la fréquence imposée par la loi est de deux ans.

En Suède, le contrôle du matériel en parc est de nature volontaire pour l'instant .

En Hollande, un projet de décret existe (12). Il interdit à tout entrepreneur d'utiliser un matériel n'ayant pas obtenu un certificat de vérification, certificat dont la validité est limitée à deux ans. La date d'entrée en vigueur de ce décret sera le 1^{er} avril 1996. Les critères définissant les exigences et le niveau de performance des matériels seront définis par le Stichting kwaliteitseisen landbouwtechniek de wageningen.

En Belgique, différentes actions ont été réalisées depuis 1991 dans les régions flamande et wallonne (10). En 1993, un groupe de travail a été constitué afin de mettre en place le contrôle du matériel et de définir un équipement de mesure spécifique. Une législation pourrait être publiée pour rendre le contrôle obligatoire en 1996.

Certains pays, bien que ne disposant pas de législation imposant le contrôle du matériel, ont déjà effectué des campagnes de sensibilisation en ce sens.

En Irlande, des campagnes ont été effectuées en 1991 et 1992 sur des appareils opérant en production betteravière. Cette action a été sponsorisée par Du Pont et Interchem.

En Suisse, l'Institut agricole et l'Association fribourgeoise pour l'équipement technique de l'agriculture a aussi procédé à des contrôles depuis 1989 avec une fréquence de trois ans.

Formation

La Grande-Bretagne a, depuis 1985, instauré une législation (13) qui s'apparente davantage à un code de bonne conduite. Elle impose, aux utilisateurs de produits phytosanitaires, d'être détenteur d'un certificat qui est obtenu après une formation sanctionnée par un examen. Cette formation comporte un module de base complété par des modules spécifiques au matériel d'application ou au type de traitement.

En Espagne, un permis de traitement est nécessaire depuis le 8 mars 1994 (14). Ce permis, d'une durée de dix ans, est obtenu par validation d'unités effectuées au cours de la scolarité ou d'un examen des connaissances.

Outre ces législations ou initiatives déjà existantes, certains pays, comme le Danemark, étudient des propositions de loi afin d'améliorer la qualité du travail et de réduire les atteintes à l'environnement et aux opérateurs.

Actuellement, une norme européenne est à l'étude pour assurer une meilleure protection de l'environnement. Cette norme doit intégrer l'ensemble des exigences et des performances des matériels de traitement des cultures.

Conclusion

Actuellement, les législations nationales et européennes concernant la technique d'application sont en évolution rapide. De nouveaux textes devraient être publiés dans les années à venir.

Le principal danger de cette évolution est la divergence qu'il peut exister au niveau des différentes législations nationales soit au niveau des objectifs soit au niveau des performances imposées au matériel :

- en effet, la Grande-Bretagne privilégie la formation technique des opérateurs alors que les autres pays européens privilégient, ou ont tendance à privilégier, tantôt l'agrément du matériel mis sur le marché (Suède et Belgique), tantôt le contrôle du matériel (Hollande, Belgique, Irlande et Suisse) ou tantôt les deux (Allemagne). L'Espagne a un comportement plus cohérent puisqu'une formation des opérateurs est nécessaire, ainsi qu'un agrément du matériel.
- des distinctions notables sont à observer dans le choix des critères d'évaluation des performances. En particulier, il est possible de citer l'exigence allemande de tester la distribution transversale de la pulvérisation sous rampe alors que ce paramètre n'est pas pris en compte dans les initiatives belges et françaises.

Aussi, une harmonisation des législations semble indispensable sur les trois volets que sont l'agrément du matériel avant sa mise sur le marché, le contrôle périodique des appareils et la formation des opérateurs.

Au niveau européen, un rapport (15) a été établi en avril 1994, par un organisme hollandais (Centre for agricultural and environment) inventoriant les risques de l'utilisation des pesticides, les solutions envisageables et la réglementation.

Enfin, deux organisations agricoles européennes ont formulé récemment des propositions pour une directive concernant l'utilisation des produits phytosanitaires respectueuse de l'environnement. Il est en particulier proposé que les trois volets énumérés ci-dessus fassent l'objet d'une réglementation.

Références bibliographiques

- (1) Directive n° 89/392/CEE, Directive du Conseil du 14 juin 1989 concernant le rapprochement des législations des Etats membres relatives aux machines, JO des Communautés Européennes du 26 juin 1989.
Directive n° 91/368/CEE, Directive du Conseil du 20 juin 1991 modifiant la directive 89/392/CEE concernant le rapprochement des législations des Etats membres relatives aux machines, JO des Communautés Européennes du 22 juillet 1991.
Directive n° 93/44/CEE, Directive du Conseil du 14 juin 1993 modifiant la directive 89/392/CEE concernant le rapprochement des législations des Etats membres relatives aux machines, JO des Communautés Européennes du 19 juillet 1993.
- (2) Pr EN 907 - Exigences de sécurité pour le matériel agricole et forestier - Pulvérisateurs et distributeurs d'engrais liquides.
- (3) Résolution AP (85) 5 - Relative à l'épandage aérien des pesticides - Comité des ministres du 20 juin 1985.
- (4) Arrêté du 25 février 1975 - Dispositions relatives à l'application des produits antiparasitaires à usage agricole - JO du 07 mars 1975.
- (5) Circulaire DQ/SPV/G84/n° 8002 - Application de produits antiparasitaires à usage agricole par voie aérienne.
- (6) Loi n° 92-533 du 17 juin 1992 - Relative à la distribution et à l'application par des prestataires de services des produits antiparasitaires à usage agricole et des produits assimilés - JO du 18 juin 1992.
- (7) Décret n° 94-863 du 5 octobre 1994 portant application de la loi n° 92-533 du 17 juin 1992 relative à la distribution et à l'application par des prestataires de services des produits antiparasitaires à usage agricole et des produits assimilés - JO du 07 octobre 1994.
- (8) BGBL I, S. 1505-1519 Vom 15 September 1986, Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz - PflSchG).
- (9) Orden n° 627 del 31 de octubre de 1985, Departament d'Agricultura, Ramaderia y Pesca Generalitat de Catalunya, DOGC de 18 de desembre de 1985.
- (10) Projet de règlement type pour pulvérisateurs.
- (11) Erste Verordnumb zur Änderung der Pflanzenschutzmittelverordnung Vom 11 Juni 1992
- (12) Projet de décret relatif à l'utilisation des appareils de distribution de substances phytosanitaires.
- (13) Food & environmental protection act 1985 - Control of pesticides regulations 1986, National Proficiency Tests Council.
- (14) Orden n° 6076 del 8 de marzo de 1994 por la que se establece la normativa reguladora de la homologacion de cursos de capacitacion para realizar tratamientos con plaguidas, Ministerio de la presidencia BOE n° 63 del 15 de marzo 1994.
- (15) **REUS J.A.W.A., WECKSELEC H.J., PAK G.A.**, April 1994, Towards a future EC pesticide policy, Centre for Agricultural and Environment (CLM), CLM 149 1994.
- (16) **MOSTADE O.**, Décembre 1993, Législations internationales dans le domaine de l'application des produits phytosanitaires, Rapport interne.

La gestion et la valorisation des emballages de produits phytosanitaires après utilisation

Didier Gorges

*Président du groupe emballage de l'Union des industries
de la protection des plantes (UIPP)*

Rhône-Poulenc Agro-France

55, avenue René Cassin, 69337 Lyon Cedex 09

Tél. 72 20 43 21 - Fax 72 20 43 83

Conception de l'emballage

Les emballages intelligents

Ces emballages répondent à des critères sévères (cahier des charges international Gifap) en apportant une réponse aux principaux besoins :

- Vidangeabilité maximum supérieure à 99,99 % après rinçage.
- Normalisation des goulots (utilisation d'équipements standards de rinçage).
- Large goulot de \varnothing 63 "anti glou-glou".
- Poignée pincée - Absence de produit dans la poignée.
- Bidon non porteur avec une réduction du poids combiné à des caisses transport facile à recycler.

Méthodes de rinçage/outil de rinçage

Pourquoi rincer ?

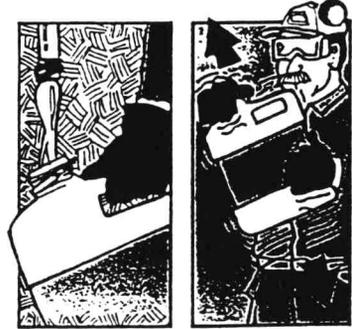
En rinçant les emballages immédiatement après leur vidange et en ajoutant l'eau de rinçage à la bouillie dans le pulvérisateur, vous utilisez pratiquement tout le produit acheté. Propres, ces emballages minimisent non seulement les risques pour les utilisateurs, la faune et l'environnement, mais contribuent aussi à une bonne pratique agricole en simplifiant la collecte et l'élimination des emballages vides.

Les méthodes de rinçage

Il y a trois méthodes de rinçage et de nettoyage des emballages

1 - Le triple rinçage (figure 1)

- Laisser vidanger pendant 30 s.
- Ajouter de l'eau au 1/4 du volume.
- Replacer le bouchon et secouer.
- Visser le contenu dans le pulvérisateur.
- Répéter trois fois la manipulation.



2 - Le rinçage sous pression (figure 2)

Le système de rinçage sous pression projette de l'eau à 3 bars. Certains systèmes percent l'emballage empêchant ainsi leur réutilisation éventuelle.

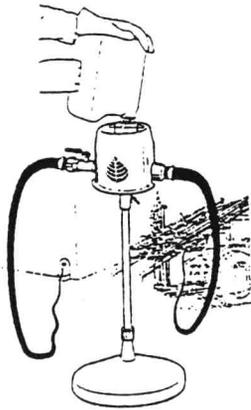


Figure 2



Figure 1 (Source des figures Rhône-Poulenc)

3 - Le rinçage intégré (figure 3)

Les équipements de rinçage montés sur le pulvérisateur rincent les emballages plus rapidement et plus efficacement que les deux systèmes précédents.

Ils sont aussi beaucoup plus sûrs. L'alimentation se fait en eau claire sous pression 3 bars. Le refoulement s'effectue dans l'incorporeur ou directement dans le réservoir de pulvérisation.

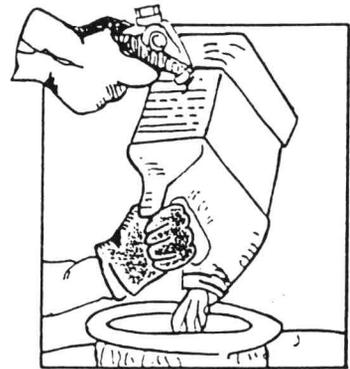


Figure 3

Les résultats des expériences menées

Rincer les emballages

Les résultats des expériences menées par les différents organismes internationaux d'essais démontrent que le concept de "l'emballage intelligent" et du rinçage permettent d'obtenir un résidu de produit phyto dans le bidon < 0,01 % du volume initial. Grâce à cette responsabilisation des agriculteurs, le gouvernement français a officiellement reconnu que rincés, les déchets d'emballages ayant contenu des produits phytosanitaires n'étaient pas des déchets dangereux et peuvent être éliminés dans les mêmes conditions que les déchets ménagers. Cette possibilité est recommandée au titre de l'article L 373.3 du code des communes.

Les différentes options en matière de collecte (figures 4 et 5) :

- Utilisation du système de collecte ménagère de la commune ⁽¹⁾.
- Utilisation d'un système de collecte sélective par une société spécialisée.
- Mise en place d'un réseau de point de collecte.

(1) D'autre part, le rinçage est obligatoire pour que les déchets d'emballage des produits de protection des plantes soient considérés comme des déchets banals ce qui leur ouvre la voie de la collecte ménagère et d'une valorisation optimale.

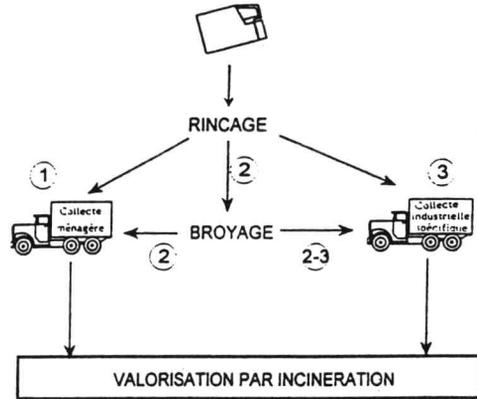


Figure 4 - Schéma récapitulatif des circuits de collecte et de valorisation étudiés ou expérimentés à l'étranger

- ① Pays-Bas, Suède, Royaume-Uni, Suisse : ②③ Canada
- ③ États-Unis (programme expérimental)
Japon (emballage en verre)

0,025 f / emballage *	3->6 f / emballage **
-----------------------	-----------------------

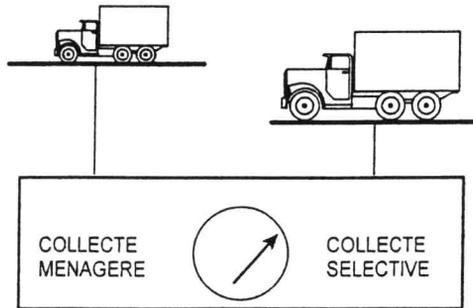


Figure 5 - Coût comparé des collectes sélectives et de valorisation étudiées ou expérimentées à l'étranger

* Source : Droit de grille ECO-EMBALLAGE (France)
 **Source : CRCP Protection Institute of Canada (CPIC)
 # 4 F (1 \$ can 1992 : 1,25 \$ can 1993)
 AGRICULTURAL CONTAINER RESEARCH COUNCIL (ACRC)
 # 3 F pour les bidons de 5 litres
 # 6 F pour les bidons de 10 litres (opération pilote)

Les différentes options en matière de valorisation

- Le réemploi (système de navettes).
- Le recyclage visant à l'obtention de matériaux réutilisables.
- L'incinération avec récupération d'énergie :
 - par des installations municipales
 - par des installations externes agréées (cimenteries).

Banaliser les déchets d'emballage des produits de protection des plantes

Le rinçage

En pratiquant le rinçage, vous utilisez quasiment tout le produit acheté. Propres, ces emballages minimisent les risques pour l'utilisateur et contribuent aussi à une bonne pratique agricole en simplifiant la collecte et l'élimination des emballages vides.

La valorisation énergétique

Le polyéthylène, dont 78% des bidons sont composés, génère lors de son incinération une énergie approximativement deux fois supérieure à celle du charbon. L'incinération avec récupération d'énergie représente donc un moyen intéressant d'économie des ressources naturelles d'énergie.

Les déchets d'emballages des produits de protection des plantes représentent donc une source d'énergie pour les industries consommatrices d'énergie comme les cimenteries, les industries thermiques, les centrales thermiques.

D'autre part, les techniques actuelles permettent une combustion du polyéthylène plus propre que celle du pétrole, du charbon ou du bois.

Le développement des recherches / autres domaines de valorisation

Dans un souci permanent d'optimiser la valorisation, de nouvelles techniques comme l'hydrogénésation, la co-combustion pour la dispersion de particules micro-broyées sont étudiées et de nouvelles voies pour la matière recyclée sont recherchées (revêtement d'autoroute, piquets et autres objets plastiques comme de nouveaux bidons).

Création d'un ACRCC (Agricultural Container Research Council)

La création d'une association française de recherche pour le développement de nouvelles voies viables de collecte et d'élimination des bidons rincés est envisagée dans un avenir proche.

Cette association sera un effort de coopération entre les producteurs, les sociétés d'emballage et les distributeurs des produits de protection des plantes pour que la valorisation des bidons soit une réalité.

La contribution du matériel à la réduction des contaminations de l'environnement

Michel Morel

*Président de la Commission environnement
du SYGMA*

Tecnoma Technologies

54, rue Marcel Paul, BP 195, 51206 Epernay

Tél. 26 51 99 99 - Fax 26 51 83 51

Résumé - Les progrès techniques apportés aux matériels agricoles ont pour but d'en améliorer les performances en réduisant le coût et l'énergie consommée. Parmi l'amélioration des performances, la maîtrise des quantités appliquées de semence traitée, de fertilisants minéraux ou animaux, sous forme liquide ou solide et de produit de protection des plantes, constitue l'un des progrès majeur. A ce critère, s'ajoute la recherche de réduction des effets secondaires indésirables de ces opérations : réduction des quantités résiduelles, de la dérive...

Abstract - *The technical progress observed on farm equipment concern the performances improvement but also cost and energy consumption reduction. One of the main progress is the capacity of controlling more accurately the rate applied for protected seed, for mineral or natural fertilizers on liquid or solid form, and for plant protection chemicals. In addition, secondary effects such as residual quantities, drift, a.s.o., are now taken into account to reduce contamination risks, not only during but before and after the application itself..*

Introduction

Conduire une culture pour qu'elle exprime son potentiel quantitatif et qualitatif exige l'usage de matériels performants. En effet, chaque opération de son itinéraire technique doit être conduite avec rigueur et précision en veillant à réduire au minimum les effets secondaires néfastes à l'égard de l'environnement. La connaissance plus précise des besoins des plantes comme du comportement du milieu constitue une aide précieuse pour les constructeurs.

Structure du sol

Sans entrer dans le détail du choix des opérations et matériels en fonction du sol et de la météorologie du moment, il faut retenir la préoccupation générale de respect de la structure du sol. L'augmentation de poids des machines et des tracteurs s'accompagne du développement de moyens de réduction de la pression au sol :

- développement de bogies et d'essieux à trois roues (tridem) sur bennes et épandeurs,
- élargissement de l'usage de roues jumelées et surtout de pneus basse pression sur tracteurs et outils,
- la configuration des automotrices de récolte (céréales, maïs, betteraves...) prend cette préoccupation en compte dans la répartition des masses et le choix des dimensions des roues. De plus, le passage d'une automotrice en conditions de faible portance provoquera des dégradations réduites par rapport à un chantier décomposé.

L'objectif de cette évolution consiste à éviter les tassements, compactages et autres dégradations physiques qui freineront largement le développement de la culture suivante. En effet, les zones perturbées seront l'objet de semis et levées irréguliers, de développements freinés par des sols asphyxiés. Ainsi, les apports de fertilisants ou produits de protection des plantes ne pourront être valorisés comme sur le reste de la parcelle. Toutes ces déperditions constituent une forme de contamination qui peut être éliminée par un choix judicieux d'équipements.

Fertilisation

L'apport d'éléments fertilisants au cours du cycle d'une culture est un facteur d'amélioration de l'équilibre qualité / quantité. Si, pendant longtemps, l'appréciation de la régularité d'épandage était plutôt subjective : coloration de la culture, verse, etc., aujourd'hui, la détermination précise des besoins exige une grande rigueur des apports.

Les analyses du sol, la méthode des bilans permettent désormais de connaître avec précision les quantités à apporter et le calendrier. De plus, un ajustement peut être entrepris en cours de végétation avec des outils de diagnostic tels que JUBIL (INRA - ITCF) capables d'indiquer le besoin éventuel de la culture.

Fort de ces connaissances, il importe que le matériel d'épandage assure une maîtrise des quantités épandues ainsi qu'une répartition transversale régulière.

Les épandeurs d'engrais font preuve d'une amélioration sensible des systèmes de contrôle des quantités épandues. La forme des trémies assure un écoulement régulier de l'engrais tout au long de l'épandage et, la vidange est totale.

Pour réguler avec précision le débit instantané, les épandeurs tractés, mais également certains modèles portés, disposent d'un système DPA⁽¹⁾ capable d'assurer une quantité constante à l'hectare malgré les variations de vitesse du tracteur.

Par ailleurs, qu'il s'agisse d'épandeurs d'engrais, de fumier ou de lisier, des consoles informatives permettent à l'opérateur de connaître en permanence les performances effectives et même d'intervenir en cours d'épandage pour ajuster les quantités épandues.

La régularité de la répartition transversale constitue l'autre critère de qualité d'un épandage, d'autant plus facile à respecter que le produit épandu est stable. La position et la forme des disques ou hérissons permettent d'obtenir une régularité de répartition qui évite les sur ou sous-dosages à l'unité de surface.

L'une des médailles d'Or du SIMA 95 récompense un système qui va parfaitement dans ce sens en veillant à ce que la répartition soit symétrique par rapport à l'axe de déplacement et en autorisant des variations de largeur pour s'ajuster à la surface à toucher en évitant les croisements, donc les sur-dosages.

Protection des cultures

Les pulvérisateurs, depuis vingt ou trente ans, ont fait l'objet de progrès techniques visant à améliorer la précision des volumes épandus et la qualité de la répartition sur la cible. La motivation était essentiellement technique.

Ces progrès concernent essentiellement la précision des systèmes de régulation et la qualité des buses. Ces progrès ont permis, dans certains cas, de réduire les doses de produits commerciaux dans des rapports pouvant atteindre 1/5 voire 1/8.

Associés à l'augmentation de la taille des pulvérisateurs, donc à leur capacité de travail journalier, ils permettent la mise en œuvre de programmes très ciblés qui doivent être appliqués au meilleur moment pour la meilleure efficacité. Ils offrent ainsi le moyen de valoriser la technicité de l'agriculteur et de produire au meilleur coût.

(1) DPA : Débit proportionnel à l'avancement.

C'est aussi le moyen d'appliquer la dose minimum pour l'efficacité maximum en réduisant le risque de contamination de l'environnement.

En parallèle, la réduction des volumes morts, l'optimisation des circuits, la généralisation des antigouttes, des réservoirs de rinçage contribuent à réduire les risques de contamination "secondaires".

Conclusion

Les progrès acquis sur les machines produites actuellement permettent de maîtriser les quantités et la répartition des produits épandus.

Leur vulgarisation serait encore plus rapide avec la généralisation d'indicateur de vitesse réelle sur les tracteurs ...

Bien que la généralisation des traces de passage ultérieur soit effectuée au semis, il arrive de voir des champs "zébrés" ou des bandes versées qui traduisent certaines imperfections de mise en œuvre des matériels performants.

Demain, les progrès viendront peut-être d'un ajustement des doses à partir de la cartographie parcellaire, mais il faudra quand même et heureusement, le savoir-faire de l'agriculteur pour la décision de mise en œuvre.

Les pratiques des agriculteurs et les propositions pour une meilleure conception des équipements, des produits et de leur mise en œuvre

René Delouée

Agence de l'eau Seine-Normandie - Service agriculture

51, rue Salvador Allendé - 92027 Nanterre Cedex

Tél. (1) 41 20 16 00 - Fax (1) 41 20 16 09

Deux grands types de pollutions d'origine agricole

On distingue, d'une part, celles qui proviennent d'excès d'éléments qui participent aux cycles d'alimentation des végétaux tels le phosphore, l'azote et leurs dérivés, phosphates, nitrates, nitrites et ammonium, et d'autre part, celles qui proviennent de molécules parfaitement exogènes qui ne participent en rien à l'alimentation des végétaux ou de la microflore du sol.

Les premiers se maîtrisent essentiellement par la gestion de l'espace, et en particulier des sols cultivés, en passant par l'aménagement rural. La gestion des fertilisants est le premier volet de cette action. C'est toute la filière des gestions élémentaires qu'il convient d'optimiser pour maîtriser l'azote.

S'équiper et gérer les équipements

L'Agence de l'eau Seine-Normandie a cherché à bien connaître :

- les besoins globaux d'une culture,
- les périodes où les besoins des cultures s'expriment, où les manques engendrent des baisses de rendement, dans des reliquats post-cultureaux plus élevés,
- les potentialités de production des sols cultivés, liées à la pédologie et aux contraintes climatiques,

- les rythmes avec lesquels le sol minéralise l'azote ; l'azote de la matière organique constitutive du sol, l'azote provenant des résidus de la culture précédente et l'azote "mis en réserve" dans la rhizosphère lors de la croissance des racines avant que les parties aériennes croissent pour atteindre les phases d'accumulation, racinaires ou fruitières,
- et à formaliser ces démarches, voire à les modéliser, pour donner aux agriculteurs les moyens d'une meilleure gestion, au plus près, des cultures et des fertilisants.

Mais cette gestion exige bien des équipements :

- réservoirs d'engrais liquides,
- silos à engrais solides,
- matériels de manutention,
- épandeur pour solides et liquides,
- systèmes de régulation et de mesure,
- matériels de prise d'échantillon de sols (tarières,...),
- filière analytique des sols (analyses rapides et préparation des échantillons).

Dans tous ces domaines, l'agence a investi pour mettre au point de nouveaux itinéraires culturaux, tester leur efficacité en terme de protection des eaux et améliorer l'ensemble des filières tant matérielles que procédurales.

Un domaine particulier est celui des élevages pour lesquels on doit, à la fois, équiper les bâtiments et leurs annexes pour intégrer la protection de l'eau dans la conception même des équipements, et aussi, réaménager toute la gestion des déjections et des autres effluents pour qu'ils ne soient plus considérés comme des "déchets dont on se débarrasse" mais comme des produits qui ont une richesse qu'on doit valoriser.

Le Programme interministériel de maîtrise des pollutions d'origine agricole (PIMPOA), dont on peut regretter qu'il ait tant tardé, l'élargissement des installations classées aux élevages, dont on peut déplorer la tardiveté, sont conçus pour pouvoir faire prendre en charge, par la collectivité et surtout par les consommateurs d'eau, les charges de réorganisation et de rééquipement des installations d'élevage.

Les phytosanitaires posent des problèmes tout à fait différents. L'origine des pollutions constatées est davantage dans ce qui accompagne la détention et la manipulation des produits, que dans leur présence sur les "cibles" visées.

Dans ce domaine trois groupes de préconisations sont à considérer :

- modification de la présentation des produits,
- modification de la conception des matériels,
- modification des procédures d'application.

En effet, une partie importante des causes de pollution est liée à l'adhérence des produits sur les parois des récipients, à leur "piégeage" dans des emballages mal conçus et à des conditionnements dans lesquels il reste toujours des fonds car leurs formes et leurs volumes correspondent peu aux usages et aux volumes des pulvérisateurs. De plus, ils sont difficilement rinçables.

On pourrait croire que ces modifications de présentation vont augmenter le prix des formulations. Cela ne devrait pas être le cas, car les prix des spécialités commerciales ne dépendent pas de la forme du produit mais de la concurrence qui règne sur le créneau d'application. En clair, on devrait évoluer vers des granulés dispersibles, des liquides ensachés dans des films hydrosolubles et des tablettes effervescentes (pour favoriser la mise en solution), ce qui éliminerait les risques liés aux emballages.

Les emballages de granulés devraient être dans un matériau incinérable sans créer de problème (polypropylène, polyéthylène...), à poignée pleine ou "pincée" pour que le produit ne puisse y entrer, à paroi surfacée intérieurement, à col standardisé, d'un diamètre suffisant pour être facilement rinçables (à l'eau claire réintroduite dans la cuve du pulvérisateur). Les indications portées sur l'emballage devraient permettre :

- de les classer dans le stockage à la ferme en fonction, non seulement de l'usage, mais aussi du risque créé,
- d'identifier les précautions de mise en œuvre,
- de préciser les conditions d'emploi,
- d'informer sur les conduites à tenir en cas d'autocontaminations internes ou externes.

Il devrait en être de même pour les suremballages des produits effervescents ou sous sachets hydrosolubles. Néanmoins, chacune de ces fractions devrait comporter une indication du volume de bouillie préparable avec une unité (exemple : ce sachet = 30 litres ou ce sachet = 200 litres).

C'est au niveau des matériels que les plus gros progrès, et aussi les plus coûteux, sont à faire. On pourra distinguer, les progrès à court terme, permettant d'obvier aux plus gros inconvénients et les améliorations à moyen terme génératrices, à la fois, d'une plus grande sécurité de l'utilisateur et du milieu, et d'économies substantielles.

Plus simplement, les nouvelles conceptions devraient prendre en compte les exigences suivantes :

- n'avoir que de l'eau propre dans la cuve principale du pulvérisateur,
- disposer d'un système d'incorporation dans une mini-cuve auxiliaire comportant un système de vidange sûr et d'une évacuation des produits de rinçage (automatique en fin de cycle) par les rampes du pulvérisateur,
- disposer des systèmes de régulation et de contrôle permettant de bien connaître, non seulement les quantités épandues mais aussi les "restant" à épandre pour adapter le programme de travail.

On peut, dès aujourd'hui, à partir des matériels existants, concevoir des "kits d'adaptation" pour faire évoluer rapidement la qualité d'un parc dont l'âge moyen (7 à 8 ans) impose, d'abord, la rénovation avant le renouvellement.

Parmi les améliorations, il convient de placer les postes de remplissage pour éviter les débordements et les retours de bouillie dans le milieu ou le réseau d'eau, les postes de récupération et d'élimination des bouillies. Mais devant les coûts de mise en place et de gestion de ces derniers postes, il conviendrait dans un premier temps, que l'agriculteur dispose de données précises sur l'utilisation différée des bouillies préparées pour éviter les rejets "spontanés" dans les chemins, les fossés et, quelquefois, les rivières.

Tant pour les fertilisants de synthèse ou de ferme que pour les phytosanitaires, il reste bien du chemin à faire pour que l'exploitation agricole dispose enfin, d'outils adaptés pour qu'elle gère à la fois les cultures, des élevages et des territoires mais qu'elle protège, en même temps, le site qu'elle exploite, notamment l'eau. Cela veut dire que, maintenant, tous les concepteurs d'équipements, tous les installateurs, devront prendre en compte les trois dimensions de leurs réalisations :

- être performant pour la finalité première de l'équipement,
- prendre en compte la protection du milieu, et de l'utilisateur dans sa conception *et lors de sa réalisation*,
- concevoir en fonction des moyens et des procédures de gestion pour s'assurer de la pérennité des systèmes et des équipements mis en place : *la gestion prime la création*.

Les moyens d'intervention dont l'homme dispose sur le milieu, lui imposent une nouvelle contrainte : respecter celui-ci.

La récupération des films plastiques agricoles

François Gaillard

Cemagref, division Technologie du machinisme agricole
Domaine des Palaquins, 03150 Varennes-sur-Allier
Tél. 70 45 03 12 - Fax 70 45 19 46

Jean Graud

*Cemagref, division Génie des équipements agricoles
et alimentaires*
361, rue J.-F. Breton, BP 5095, 34033 Montpellier Cedex 1
Tél. 67 04 63 00 - Fax 67 63 57 95

Résumé - L'élimination des films et bâches usagés est préoccupante dans les zones où l'agriculture les utilise intensément.

En France, les déchets plastiques sont soumis aux mêmes règles que les autres déchets. Actuellement, le système d'élimination n'est pas déterminé pour les films plastiques agricoles. En Europe, des pays mettent en place un système de type Eco-Emballage, et d'autres privilégient l'élimination par le détenteur du déchet.

La plus grande partie des films agricoles peuvent être valorisés, soit par incinération, soit par recyclage matière. Mais, pour cela, des efforts techniques importants sont à faire. Quoi qu'il en soit, l'élimination correcte des films aura un coût significatif pour l'agriculteur.

L'élimination des films plastiques agricoles et leur valorisation (15 % des films agricoles sont recyclés actuellement), nécessitent une organisation collective où tous les intervenants de la chaîne doivent agir en étroite collaboration.

Abstract - *The elimination of worn plastic films is a very important problem in regions where agriculture use them intensively. In France, the plastic waste are submitted to the same rules as the other domestic wastes. But, in France, the elimination system is not yet chosen for plastic films used in agriculture ; it may be green point or elimination by the waste owner. At present time, Great Brittain and Holland are setting up a system like the green point. In Spain and Italy, the elimination system is similar to the elimination by the waste owner.*

In France, at least, greater part of agricultural film can be recycled in an incinerator or by polyethylene recycling. For this purpose, the worn film have to be as clean as possible (mechanical film harvesting and washing need to be improved).

Elimination of plastic film in an agricultural région requires a collective organization, from the farmer to the polyethylene recycling manufacturer.

Now, correct elimination of plastic films will be more expensive for the farmer. For polyethylene recycling manufacturer, profitability depends on the offer price of pure polyethylene pellets.

At present time, 15 % of worn plastic films used in agriculture are eliminated by polyethylene recycling. We hope that, all the present tests and designs, will help for the choice of a recycling system, which might become compulsory.

Introduction

L'agriculture française utilise 5 % de la consommation nationale de plastique. Elle en consomme 180 000 t, dont 60 000 t de films polyéthylène (annexe 1). Il y a 58 % de films épais (ensilage, couverture de serre et bâtiments d'élevage), et 42 % de films minces (paillage, semi-forçage, étirable...). La consommation de films et bâches plastiques par l'agriculture est stationnaire depuis plusieurs années.

Les films plastiques font partie intégrante des techniques de production, comme l'ensilage classique ou l'enrubannage des balles. Ils permettent aussi des gains de productivité indéniables, comme le paillage et le semi-forçage.

Après leur utilisation, ces films provoquent une pollution visuelle, surtout dans les zones où leur usage est intensif, l'élevage et l'horticulture particulièrement. Comment les éliminer ?

Ainsi, un hectare de melon nécessite 650 kg/ha de films P.E. (polyéthylène). Le Languedoc produit 44 000 t de melons sur 2 000 ha (15 % de la production nationale), en utilisant 1000 t de films. Dans ces zones de production, l'écobuage est sévèrement réglementé, et il est interdit d'utiliser cette voie d'élimination. Aussi, assiste-t-on à l'envahissement des décharges. Ainsi, dans une zone d'intervention d'un SIVOM de l'Hérault, 2 000 m³ de films ont été mis en décharge en dix mois.

Pour aborder correctement la chaîne de l'élimination, il faut d'abord appréhender le contexte réglementaire des déchets et connaître les différentes filières d'élimination des films avec leurs contraintes. Puis, nous ferons le point sur les chaînes d'élimination elles-mêmes, celles qui fonctionnent ou sont testées comme opérations pilotes, celles en projet ou qui sont possibles.

Le contexte réglementaire

Le contexte réglementaire français

Si de nombreuses incertitudes planent quant au sort des plastiques agricoles usagés, plusieurs points sont clairement établis par la réglementation.

D'une part, le stockage et le brûlage en bout de parcelle sont fortement réglementés (Code forestier, lois installations classées, droit de police du maire ou du préfet) et la plupart du temps interdits.

D'autre part, les déchets plastiques ne font pas l'objet d'une réglementation particulière.

Leur élimination est donc soumise aux mêmes prescriptions réglementaires que les autres déchets en particuliers la loi du 13 juillet 1992, relative à "l'élimination des déchets et aux installations classées pour l'environnement" (annexe 2).

Ce texte :

- rappelle le principe de la loi de 1975 sur les déchets : le dernier détenteur du déchet (donc l'exploitant agricole) est responsable matériellement, et financièrement, de l'élimination des plastiques usagés, dans des conditions respectueuses de l'environnement.
- restreint progressivement à l'horizon 2002 la mise en décharge aux seuls déchets ultimes (déchets inertes non susceptibles d'être valorisés ou recyclés).

En France, il y a deux systèmes d'élimination pour les Déchets Industriels Banaux :

- ECO-Emballage : le déchet est taxé à l'achat, et on bénéficie des services de cette S.A. pour l'élimination.
- le détenteur du déchet est directement impliqué dans son élimination.

A ce jour, pour les films plastiques, aucune décision n'est prise.

Le contexte réglementaire européen

Actuellement, en Grande-Bretagne et aux Pays-Bas, des dispositions se prennent pour l'élimination des films d'ensilage. Elles s'apparentent au système "ECO-Emballage". Par contre, en Italie et en Espagne, la législation locale ou l'usage, privilégient l'élimination du déchet par le détenteur.

Les filières d'élimination des films usagés

Caractéristiques générales de ces films

La quasi-totalité des films utilisés sont en polyéthylène. C'est un atout pour le recyclage matière où les mélanges de matières différentes sont limités (5 % max. de PVC dans du PE, par exemple). Cependant, dans certaines zones maraîchères, on trouve encore des films en PVC (polychlorure de vinyle) couvrant les petits tunnels, et des bâches non tissées en PP (polypropylène).

Ces films sont dispersés géographiquement. Il est nécessaire de réaliser une collecte, de les stocker, et de les transporter. La collecte est le plus souvent organisée par les collectivités, dans des dépôts ouverts aux agriculteurs. Le transport, actuellement réalisé sur des distances importantes au vu de l'éloignement des sites de retraitement (Aveyron, Haute-Loire, Maine-et-Loire), est estimé à 200 FHT par tonne transportée.

L'élimination des films est saisonnière. Cela impose leur stockage, constitué sur quelques mois, avant leur transport.

Après leur utilisation ces films sont plus ou moins souillés. Cela est important pour leur destination future. Le déchet de film est constitué de plastique, mais aussi de terre, de produits végétaux, et d'eau dans des proportions non négligeables.

Cette souillure est définie par le taux d'impureté :

$$\text{taux d'impuretés (\%)} = \frac{\text{masse de terre, de débris et d'eau}}{\text{masse totale de plastique "sale" récolté}}$$

Le taux d'impuretés dépend de l'épaisseur du film (la quantité de débris végétaux et terre retenus est proportionnelle à la surface), de l'utilisation (un film de semi-forçage, moins en contact avec le sol qu'un film de paillage, est plus propre), des conditions d'enlèvement (un film ramassé par temps pluvieux contient plus de terre et d'eau).

L'incinération

Le PE est un bon combustible ; la combustion de 1 kg de PE fournit 45 000 kJ (pouvoir calorifique inférieur), c'est l'équivalent de la combustion de 1 kg de FOD. De plus les fumées sont "propres", ne contenant que du gaz carbonique et de l'eau. On peut donc valoriser le PE usagé en produisant de la chaleur. En ce moment, deux voies sont actuellement possibles : les fours de cimenterie et ceux d'ordures ménagères.

Pour utiliser un four de cimenterie il faut, qu'il soit à proximité de la source d'approvisionnement, et que le déchet plastique soit propre (il pourrait donc aussi être recyclé). De plus, il y a la concurrence des autres plastiques, les pneus. Le prix pour brûler dans ces fours se situerait vers 1 500 FHT/t.

Les fours d'incinération d'ordures ménagères ont l'avantage d'être plus nombreux (mais pas forcément plus disponibles). Ces fours admettent 5 % de plastiques mélangés aux ordures. Pour que la combustion soit bonne, la matière doit être impérativement dispersée à l'entrée. Enfin, pour des raisons économiques, les films ne doivent pas avoir beaucoup de terre : car les cendres sont mises à la décharge à des tarifs élevés (1 500 FHT/t à Toulon, par exemple).

La faisabilité technique de l'incinération est en train d'être démontrée (1). La fabrication de balles de films d'ensilage (normal ou étirable), avec une presse moyenne densité, permet d'obtenir des balles de 30 à 40 kg à la densité de 260 kg/m³. Ces balles se délitent bien et brûlent convenablement.

Le recyclage matière

Il consiste, à partir du film PE usagé rendu propre, soit à fabriquer des granulés de PE qui serviront de base pour fabriquer de nouveaux films, soit à fabriquer directement des objets en plastique par moulage.

La liste des principaux régénérateurs français est donnée [1]. Ce sont les usines de regranulation qui sont les plus nombreuses et les plus importantes (Aveyron, Haute-Loire et Maine-et-Loire). Elles traitent aussi bien les plastiques industriels qu'agricoles.

La possibilité de recycler les films agricoles dépend de leur taux de salissure et des conditions économiques. La propreté est le critère essentiel à l'agrément du film au recyclage. Plus un film est mince et plus il a de surface en contact avec le sol (c'est le cas du film de paillage), plus son taux de salissure est important. La SOPAVE (2), société spécialisée dans le recyclage des polyéthylènes, donne les teneurs d'impuretés couramment observées et les teneurs maximales admissibles des films agricoles.

Type de film	Teneur maximale admissible par SOPAVE	Teneur couramment observée
Serres	10 %	15 %
Films d'ensilage	35 %	40-45 %
Tunnels de semi-forçage	40 %	50 %
Paillage de 40 microns et +	50 %	60-85 %

Tableau 1 - *Taux d'impuretés des films observés et admissibles par SOPAVE*

Pour les films de semi-forçage et les bâches 500 trous, les mesures réalisées dans le midi de la France montrent qu'il est facile d'avoir moins de 40 % d'impuretés (3). Pour les films de paillage, dans cette même région, ceux ramassés mécaniquement ont des taux d'impuretés supérieurs à 60 %. Par contre ceux qui sont ramassés, à la main par temps sec (c'est en général le cas), et méthodiquement (c'est rarement le cas), descendent facilement en dessous de 40 % (4).

Dans une usine de recyclage, le poste le plus important est celui du nettoyage (déchetage, lavage, épuration des eaux, séchages des "confettis" de PE).

La rentabilité du recyclage dépend directement du prix de la matière vierge. Ainsi, pendant quatre ans le prix de la matière vierge a été de 3,50 FHT environ, alors que le coût du recyclage du P.E. usagé (transport + traitement) est nettement supérieur. Il a donc fallu un prix négatif au départ : l'agriculteur ou les collectivités locales paient. Depuis août 94, le prix de la matière vierge est passée à 6,40 FHT, rendant le recyclage économiquement attractif.

Organisation de l'élimination des films plastiques usagés

Introduction

Dans les zones de production spécialisées, élevage, horticulture, etc., où le film plastique est abondant, l'élimination des films usagés ne peut s'envisager que sous forme collective. En l'absence de législation sur les films plastiques, des chaînes sont testées, des projets sont élaborés avec la participation des collectivités locales, du CERPA [2] des fabricants et des techniciens essaient de résoudre les problèmes que posent ces chaînes d'élimination. Nous rappelons que le brûlage sans valorisation et la décharge sont ou interdits ou condamnés à terme.

Les chaînes d'élimination

Nous donnons, en annexe 3, un tableau résumé sur les chaînes d'élimination possibles des films usagés.

En film de paillage, le photodégradable est une solution limitée techniquement, mais qui représente néanmoins une utilisation de 4 500 t/an. Actuellement, des recherches sont menées sur les films biodégradables. Pour tous les autres films de paillage, le ramassage manuel dans de bonnes conditions permettrait à ces films d'être recyclés. Le ramassage mécanique, est intéressant techniquement (rapidité, balles rondes facilement transportables) et économiquement, mais on ramasse beaucoup de terre [3]. Certaines

machines peuvent s'améliorer. De plus, des expériences en cours montrent que l'on peut laver les films ramassés avec des machines [4].

Les films de semi-forçage sont recyclables, s'ils sont ramassés et stockés correctement. L'utilisation de machines spécifiques de ramassage est un atout indéniable [3]

Les films d'ensilage classique (noirs, 180 μ d'épaisseur), sont recyclables. L'amélioration du stockage permet de diminuer le taux d'impuretés. Conditionner ces films en balles avec des presses moyenne densité faciliterait la manutention et diminuerait les coûts de transports ; des essais sont en cours (1).

Les films d'ensilage, de type étirable, ne sont pas recyclables : on ne peut que les incinérer. Pour des quantités importantes, leur conditionnement en balles moyenne densité, permettrait de les éliminer comme les ordures ménagères.

L'opération test "Belle nature" (5)

Cette opération a été réalisée par l'UNCAA (Union nationale coopérative agricole approvisionnement). Elle s'est déroulée en 1991 et 1992, dans plusieurs départements du Val de Loire. Mille tonnes de films d'ensilage et de paillage ont été ramassés et recyclés. Les agriculteurs amenaient leurs films en un lieu de regroupement, à quelques kilomètres de l'exploitation, aire de stockage cimentée de la coopérative par exemple. Ces films étaient transportés dans un centre de tri, situé dans l'aire de collecte, où ils étaient triés et mis en balles. Puis, ces balles étaient transportées à la SOPAVE pour être traitées et recyclées.

Cette opération ponctuelle, fondée sur le bénévolat ou les marges nulles, a permis d'appréhender tous les points clés de la chaîne d'élimination et de recyclage des films.

Cette opération "Belle nature", avec toutes les recherches techniques relatives plus haut montrent que :

- les films doivent être ramassés aussi propres que possible (importance de l'organisation du chantier si le ramassage est manuel) avec un conditionnement qui facilite le transport (intérêt du ramassage avec des machines, du pressage pour la manutention et le transport).
- le tri est obligatoire : d'un côté les films avec peu d'impuretés qui sont valorisables, de l'autre les films trop sales qui actuellement ne peuvent qu'être mis à la décharge.
- les agriculteurs acceptent de se déplacer, pour déposer leurs films sur une aire de stockage.

Il faut diminuer les coûts de transport. Pour l'opération belle nature, la pré-collecte est de 170 FHT/t, la mise en balle de 90 F/t, et le transport jusqu'à l'usine de recyclage de 250 FHT/t. Le moyen le plus efficace pour diminuer ces coûts est de régionaliser le prétraitement et (ou) le recyclage. Pour qu'une usine de recyclage soit rentable, il faut qu'elle traite au moins 1 000 t de films/an.

Projets actuels d'élimination des films usagés

A notre connaissance, il y a, actuellement en France, quatre projets sur la chaîne d'élimination et de valorisation des films. Ils se situent dans des zones très consommatrices, la Loire-Atlantique, le Maine-et-Loire, la Dordogne, et l'Hérault.

Nous allons décrire sommairement, celui mené en Dordogne dans une zone de fraisculture [5]. L'objectif est de gérer collectivement les contraintes individuelles liées à l'élimination des films plastiques, de revaloriser l'image de marque des fraisculteurs, et d'anticiper les contraintes administratives. Ce projet est ouvert à toute la population rurale utilisatrice de plastiques et entre dans le plan déchetterie du département. Il intègre les industriels du recyclage, dès le départ. Actuellement, il en est au stade de la définition financière.

Conclusion

Les déchets plastiques ne font pas l'objet d'une réglementation particulière. Leur élimination est donc soumise aux mêmes prescriptions réglementaires que les autres déchets. A ce jour aucune décision, quant au système d'élimination (Eco-Emballage ou élimination par le détenteur du déchet), n'a été prise. En Grande-Bretagne et aux Pays-Bas, les dispositions prises actuellement s'apparentent au système Eco-Emballage. L'Italie et l'Espagne privilégient l'élimination par le détenteur du déchet. La majorité des films plastiques est recyclable par incinération ou recyclage matière. Pour cela, les films usagés doivent être ramassés et livrés à l'usine aussi propres que possible (technologie de la récolte à améliorer, stockage et pré-conditionnement bien pensés).

L'élimination des films plastiques usagés, hormis le brûlage et la mise en décharge interdits ou condamnés à terme, ne peut s'envisager que collectivement et régionalement. Tous les acteurs de la chaîne, l'agriculteur, le stockeur, le préconditionneur, le recycleur, les responsables locaux doivent collaborer dès la conception du projet.

La rentabilité du recyclage matière, actuellement le seul développé, est très lié au prix de la matière vierge. De toute façon, éliminer un film correctement,

c'est une dépense que l'agriculteur doit intégrer dans ses coûts de production. Espérons que les expériences actuelles contribuent rapidement au choix législatif du système le mieux adapté techniquement et économiquement. Actuellement 15 % des films agricoles sont recyclés ; il y a donc encore "du pain sur la planche"...

Références bibliographiques

- (1) **GAILLARD F., MAZOYER J.**, Cemagref, en cours de publication, Compte-rendu d'essai sur la mise en balles de films de films d'ensilage, le stockage, la manutention en vue de l'incinération dans un four d'ordures ménagères.
- (2) **DINTILHAC M., SOPAVE M.**, 1993. Le Crouzet 12110 VIVIEZ. Une entreprise unique de recyclage des films polyéthylène.
- (3) **GRATRAUD J.** (Cemagref), **BOYER M.** (Chambre d'Agriculture du Gard), **DEUMIER M.** (Chambre d'Agriculture de Vaucluse), **PLANTEVIN M.** (Chambre d'Agriculture de Dordogne), Publication en cours, La récupération des paillages sur les plantations de melons - compte rendu d'essais.
- (4) **POLVECHE V., GRATRAUD J.** (Cemagref), 1994 - non publié, Récupération des films P.E de couverture des petits tunnels et des films 500 trous avec un round baller : compte-rendu d'essai.
- (5) **UNCAA** (83, avenue de La Grande Armée - 755782 Paris cedex 16), 1992. La récupération des films plastiques en agriculture : le point.

Adresses utiles

[1] Liste des principaux régénérateurs :

AUTOBAR Monsieur Cottier, ZI de Lavée - BP 45, 43200 Yssingeaux
Tél. 71 59 19 00 - Fax 71 59 16 66

A2 PLAST INDUSTRIES (groupe Testa) (M. Fourest), 107 avenue du Pastré, BP 039, ZI, Les Paluds, 13781 Aubagne Cedex. Tél. 42 82 20 40 - Fax 42 82 09 37

COMPTOIR DES PLASTIQUES DE L'AIN (M. Blanc), BP 428, 01204 Bellegarde Cedex.
Tél. 50 56 04 69 - Fax 50 48 57 13

NIPSA (M. Imbert), 38840 St-Hilaire de Roser Gare
Tél. 76 64 52 79 - Fax 76 36 58 40

POUB'SAC (M. Vasti), Route nationale, Castetnau-Camblong, 64190 Navarreux
Tél. 59 66 02 22 - Fax 59 66 16 90

SMS (Groupe Nyborg) (M. Bednarek), ZI La Pidaie, 49420 Pouancé
Tél. 41 92 60 39 - Fax 41 92 60 63

SOPAVE Le Crouzet, 12110 Viviez. Tél. 65 43 07 76 - Fax 65 63 50 02

SOREP (Groupe Barbier) (M. Barbier), La Guide, BP 39, 43600 Sainte Sigolène
Tél. 71 75 11 11 - Fax 71 66 15 01

[2] **CERPA** (Commission d'Etude pour la Revalorisation des Plastiques en Agriculture), 65 rue de Prony, 75854 Paris Cedex 17. Tél. 16 (1) 44 01 16 16

[3] Adresses des constructeurs de matériels de récupération des films et bâches plastiques (liste non exhaustive) :

D L SYSTEM, 17 à Dommarville 28800 Sancheville. Tél. 37 44 02 98 - Fax 37 44 05 03

GRANIER, Quartier Préville, Av. Charles De Gaulle, 84210 Pernes les Fontaines
Tél. 90 61 32 29 - Fax 90 66 52 19

JAULENT, 145 chemin des Poulidets, Le Carreyrat Saint Laurent, 82000 Montauban
Tél. 63 67 81 84 - Fax 63 67 80 30

MICHELETTI, 14 boulevard du Nord, 47600 Francescas
Tél. 53 65 40 08 - Fax 53 65 40 08

SIMMA, Z.A. routes de Nîmes, 30133 Les Angles
Tél. 90 25 94 25 - Fax 90 25 94 25

SIMON s.a, route de la Loire, BP 5, 44450 La-Chapelle-Basse-Mer
Tél. 40 03 66 60 - Fax 40 03 64 73

TRAINEAU, 3 rue Pierre, 85440 AVRILLE
Tél. 51 22 31 67 - Fax 51 22 33 88

[4] **LGP Engineering**, 17 à Dommarville, 28800 Sancheville, Tél. 37 44 02 98, Fax 37 44 05 03

[5] **Chambre d'Agriculture**, Monsieur Plantevin, 4 place Francheville, 24000 Périgueux,
Tél. : 53 53 43 12.

[6] **CPA** (Comité des Plastiques en Agriculture), 65 rue de Prony, 75854 Paris Cedex 17,
Tél.16 (1) 44 01 16 49 - Fax 16 (1) 44 01 16 55

Annexe 1

Les plastiques agricoles en quelques chiffres

Source CPA [6]

170 000 t	96 000 t de P.E. Polyéthylène	Films épais (58 %)	27 000 t	ensilage
			8 000 t	bâtiments légers d'élevage, couverture de serre
		Films minces (42 %)	25 000 t	paillage, semi-forçage
		sacs	16 000 t	
		tubes et tuyaux bidons, filets...	10 000 t 10 000 t	irrigation
	35 000 t de P. P. (Polypropylène)	Ficelles et liens ; grands sacs tissés, poteries (plateaux, godets, pots conteneurs), gouttières de culture hors sol.		
	35 000 t de PVC (Polychlorure de vinyle)	Films à fort effet thermique ; plaques transparentes de couverture de serre et bâtiments ; tubes de drainage		
	5 000 t autres plastiques	Polystyrène expansé (isolation, plaque de culture) Mousse de polyuréthane (isolation, substrats de culture hors-sol)		

Annexe 2

Schéma 1 : Elimination des déchets et notamment des plastiques agricoles

Evolution de la réglementation (1975-1994)

Loi de juillet 1975 relative à l'élimination des déchets : trois points principaux...

1 - réduction du volume de déchets produits,

2 - principe de responsabilisation (matérielle et financière) du producteur de déchet et du détenteur final :

"Toute personne qui produit ou détient des déchets, dans des conditions de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits et des odeurs et d'une façon générale à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement, est tenue d'en assurer ou d'en faire assurer l'élimination conformément aux dispositions de la présente loi, dans des conditions propres à éviter les dits effets."

3 - favoriser du recyclage plutôt que l'élimination du déchet.

Nouvelle loi du 13 juillet 1992 : deux évolutions par rapport au texte précédent

1 - principe de suppression progressive des décharges qui acceptaient les boues, les ordures ménagères, les **plastiques agricoles** (date limite : 2002), et institution d'une taxe minimale de 20 F par tonne de déchets à l'entrée des décharges.

2 - mise en place des plans de gestion des déchets ménagers (échelon départemental) et autres (échelon régional).

⇒ dans l'Hérault, les plastiques agricoles seraient pris en compte dans le cadre du plan de gestion des déchets ménagers et assimilés sous la condition qu'il s'agisse bien d'un déchet assimilable aux ordures ménagères :

Condition (1) : l'assimilation du déchet plastique agricole à un déchet ménager doit être une décision du Maire, "qui déclare certains déchets assimilables ou non et applique aux producteurs de déchets la redevance prévue par la loi".

Condition (2) : la circulaire du 1^{er} mars 1994 définit le déchet industriel assimilable aux ordures ménagères comme tout déchet qui peut être techniquement et économiquement traité dans les installations destinées aux ordures ménagères.

Parution le 13 juillet 1994, d'un décret DIB (Déchets Industriels Banals et notamment déchets d'emballage)

Le volume des déchets produit par semaine détermine la nature des déchets produits (1 100 l/semaine "standard" = volume de déchets produits/famille)

⇒ > 1 100 L : il s'agit de DIB

Le producteur de ce type de déchets est, soit :

- directement impliqué dans l'élimination de ses déchets,
- taxé "éco-emballage" et bénéficie des services de cette S.A. en ce qui concerne l'élimination de ses déchets.

⇒ < 1 100 l : il s'agit de déchets ménager

La collecte et le traitement de ces déchets est réalisé par la collectivité, que les ménages rémunèrent pour ce service par l'intermédiaire de la taxe "ordures ménagères".

Annexe 3

Les chaînes d'élimination des films plastiques usagés

Type de film	Étapes de la chaîne d'élimination	Valorisations possibles	Observations
Photodégradable	dégradation sur le champ		applications : maïs
Biodégradable	dégradation sur le champ		recherche : pas d'application
Épais d'ensilage et serre	stockage vrac, transport, tri, conditionnement en balles, transport	recyclage matière par SOPAVE	opération "Belle nature" réalisée par l'UNCAA
	stockage vrac, transport	recyclage matière	seul recyclage opérationnel
	stockage vrac, round baller, transport	recyclage matière	que pour certains recycleurs
	stockage vrac, balle moyenne densité, transport	recyclage matière	expérience en cours
Étirable d'ensilage	stockage vrac, balle moyenne densité, camion d'ordures ménagères	incinération	expérience en cours
Semi-forçage	stockage vrac	recyclage	si ramassé correctement
	ramassage mécanique	recyclage	
bâche à plat en PP	pressage en balle	recyclage	opération réalisée par Ets Rossat (Suisse)
Paillage	vrac	décharge	actuellement tout si ramassé sec et correctement
		recyclage	
	ramassage mécanique	décharge	

La simplification du travail du sol et la réduction des pollutions

Gilles Thevenet

ITCF

8, avenue du Président Wilson

75116 Paris

Tél. (1) 44 31 10 00 - Fax (1) 47 20 10 59

Résumé - A partir de quelques résultats tirés de la bibliographie, l'incidence de la simplification du travail du sol sur différents facteurs de risque de pollution est abordée :

- effet sur la fertilité physique du sol,
- effet sur l'érosion,
- effet sur les pertes en nitrates,
- effet sur le devenir de pesticides,
- effet sur le bilan énergétique.

Une tentative sommaire d'écobilan qualitatif entre semis direct et labour est proposée.

Introduction : quelques réflexions sur un code de bonne pratique agricole

Un code est un recueil de règles de bonne conduite. Il ne s'agit donc pas d'un code au sens juridique du terme. Il doit prendre en compte trois principes :

1. Concilier agriculture performante et gestion de l'environnement.
2. Respecter la diversité des situations pédo-climatiques (= les règles ne peuvent pas être universelles), ce qui suppose un zonage (= zone sensible dans la directive nitrate) et des adaptations locales (voire à la parcelle ou même interparcellaire - Ex : fertilisation).
3. S'inscrire à la fois dans l'espace et dans le temps :
 - dans l'espace : l'acuité du problème conduit à définir un zonage du territoire où la mise en application des règles obéit à des niveaux d'exigence différents (libre, incitation financière, obligatoire avec indemnité, obligatoire = servitude, ...)

Figures : se reporter à la fin de l'article.

- dans le temps : beaucoup de pratiques n'ont d'effet intéressant que si elles sont mises en œuvre pendant plusieurs années consécutives - au minimum trois - (ex : simplification du travail du sol) et simultanément : interaction positive entre elles (ex : apport de lisier et couverture végétale du sol).

Dans ce contexte de bonne pratique agricole, quel rôle et quelle place pour le travail du sol dans la réduction des pollutions d'origine agricole ?

Simplification du travail du sol et fertilité physique

La dégradation de la fertilité physique du sol peut être considérée comme une première atteinte à l'environnement.

Le maintien du stock et de la teneur en matières organiques (concentration) du sol sera un des premiers objectifs. La simplification du travail du sol permet une augmentation du stock de Carbone organique du sol (tableau 1).

	1970	1986		
		Méthode de travail du sol		
	sol au départ	labour	semis direct	travail superficiel
C organique total (t/ha)	34,0	34,4	36,4	38,0
N total (t/ha)	4,0	3,9	3,9	4,2

Tableau 1 - Evolutions moyennes comparées des stocks de carbone et d'azote dans les horizons de surface de l'essai ITCF de Boigneville, ramenés à un même poids de sol (3300 t/ha) (Tableaux 1, 7, 8 : source ITCF)

La profondeur de labour est un facteur important de dilution de la matière organique. Griffage sous solage et/ou décompactage seront toujours préférables à un approfondissement systématique des labours.

Rappelons également l'incidence de la compaction des sols dans la dégradation de leur fertilité. Au-delà d'une intervention en sols ressuyés, l'intérêt des équipements spéciaux (herse-avant, roues jumelées, roues cages...) est maintenant acquis. La simplification du travail du sol est également un moyen de diminuer les risques de compaction (1).

Simplification du travail du sol et érosion

L'érosion constitue une atteinte à l'environnement, importante, du fait des pertes en terre qu'elle engendre, mais également des transferts de matières polluantes (nitrates, phosphore, produits phytosanitaires) qui lui sont associés.

En cas de labour de parcelles en pente, l'orientation de celui-ci si possible perpendiculairement à celle-ci sera un premier moyen de lutte contre l'érosion (tableau 2).

Travail du sol	En travers de la pente (9 %)		Dans le sens de la pente (5 %)	
	ruissellement (% pluie appliquée)	pertes en terre (t/ha)	ruissellement (% pluie appliquée)	pertes en terre (t/ha)
Labour + façon superficielle (disques)	71	23,3	70	29,4
Chisel + façon superficielle (dents)	18	0,7	57	20,4
Semis direct	59	7,4	52	3,8

Tableau 2 - Effet des modalités de travail du sol sur le ruissellement et les pertes en terre (d'après MANNERING - 1979)

En cas de simplification de travail du sol, il est important de rappeler tout d'abord les quatre grands types d'érosion (tableau 3) (2).

L'érosion par ruissellement concentré est souvent le processus le plus important en France. Il est alors indispensable de considérer la position de la parcelle dans le bassin versant et le type d'érosion : la suppression du labour en tête de vallon augmente l'érosion par ruissellement concentré. Par contre, la suppression du labour permet de lutter contre l'érosion de type rill-interrill (en rigoles). Le meilleur moyen de lutte contre l'érosion est ainsi l'aménagement du bassin versant dans son ensemble (tableau 4).

Simplification du travail du sol et pertes en nitrates

Au niveau de la dynamique de la matière organique (figure 1), le semis direct provoque une accumulation de carbone total en surface et une augmentation du stock de carbone du sol.

Le travail du sol agit surtout sur le taux de minéralisation (K_2) plutôt que sur le coefficient isohumique (K_1) (tableau 5). Par rapport au non travail, le labour augmente fortement le taux de minéralisation des matières organiques (3).

				Principaux facteurs de risque			
Type	Formes dominantes	Localisation dans le paysage	Agents et processus de détachement	Climat	Sol	Topographie et morphologie	Système agraire
Érosion diffuse	décapage uniforme plus ou moins sélectif	versant	impact des gouttes de pluie	intensité et énergie cinétique des pluies	sensibilité aux différents types de désagrégation	seuil de plante	*couverture du sol *rugosité du terrain
Rill-interril	rigoles parallèles et peu espacées ; décapage des interrigoles	versant	impact des gouttes + ruissellement	intensité et énergie cinétique des pluies	sensibilité à la désagrégation cohésion	pente et longueur de pente (forme du versant)	*couverture du sol
Ruissellement concentré	rigoles ravines très espacées	lignes de concentration (talwegs,...)	ruissellement	intensité des pluies	sensibilité à la battance (impluvium) cohésion (collecteurs)	*Surfaces d'alimentation *longueur de lignes de concentration	*facteurs d'imperméabilisation (roues) *connexions liées aux motifs cultureaux
Affouillement régressif	entailles au niveau des dénivelés les plus marqués	talus	chutes d'eau	intensité des pluies	cohésion	couplage talus - zones de concentration	*facteurs d'imperméabilisation *entretien des talus

Tableau 3 - Les principaux types d'érosion : formes, processus et facteurs de risque (BOIFFIN - 1994)

Caractérisation des bassins versants	Bassin versant n° 1	Bassin versant n° 2	Bassin versant n° 3	
Aménagements de protection (terrasses, bandes enherbées...)	oui		non	
Travail du sol	labour	semis direct	labour	semis direct
Année	mêmes années		années différentes	
Pluviométrie pour les années étudiées* (mm)	1233	1185	1276	1238
Cas de ruissellement* (nombre par an)	15	10	26	16
Ruissellement total* (mm)	147	63	221	87
Sédiments recueillis* (t/ha)	2,8	0,2	26,3	0,1

* moyennes annuelles

Tableau 4 - Influence du travail du sol sur le ruissellement et les pertes en terre de trois bassins-versants (d'après LANGDALE et al., 1978)

Traitement	K ₂	K ₁
Labour	0,019	0,17
Travail superficiel	0,015	0,20
Semis direct	0,008	0,23

Tableau 5 - Coefficients K₁ et K₂ du modèle HENIN-DUPUIS, calculés sur l'essai travail du sol ITCF de BOIGNEVILLE (MARY - 1994)

Au niveau de la pollution par les nitrates, l'influence de la simplification du travail du sol se fait à trois niveaux (4) :

- sur le cycle de l'azote (figure 2). La simplification du travail du sol entraîne :
 - un enrichissement des couches superficielles en matière organique et en azote,
 - une dénitrification un peu plus forte,
 - un stock d'azote minéral plus important, mais dont le renouvellement est plus lent.
- sur le lessivage des nitrates (tableau 6). Les fuites de nitrates semblent plus faibles du fait des modifications induites au niveau du cycle de l'azote.
- sur la nutrition azotée des plantes. Des effets variables sont constatés selon les interactions entre les fournitures d'azote et les facteurs physiques et climatiques (figure 3).

Pour évaluer l'impact des techniques simplifiées, il est nécessaire de raisonner la fertilisation azotée en terme de modification des vitesses de transformation plutôt qu'en quantités.

Année	Travail du sol	Pertes en azote nitrique (kg N/ha)			
		Eau de ruissellement	Circulation hypodermique	Drains	Total
1981	labour semis direct	2,5	0,8	17,5	20,8
		9,8	2,7	15,5	28,0
1987	labour semis direct	0,3	2,0	32,5	34,8
		0,4	0,7	27,5	28,6
1988	labour semis direct	0,3	0,4	17,9	18,6
		0,5	0,3	11,3	12,1

Cultures sans apport d'azote au semis : quantité drainée annuellement voisine de 200 mm.

Tableau 6 - Effet du travail du sol sur les pertes en nitrates dans un sol argileux, drainé, labouré ou en semis direct (d'après GOSS - 1990)

Simplification du travail du sol et pesticides

Transport par ruissellement (figure 4)

Le semis direct diminue les pertes par transport particulaire, mais les pertes en solution dans les eaux de ruissellement sont plus importantes (5).

Transport par lixiviation (figure 5)

La simplification du travail du sol favorise la rétention (par absorption) et la dégradation des pesticides dans le sol, d'où une diminution potentielle de la pollution.

Dans le cas du semis direct, cet effet est renforcé par l'interception des pesticides par le mulch. De nombreux travaux montrent cependant des niveaux de contamination des eaux similaires, voire même supérieurs en cas de travail simplifié. Ceci semble lié à l'augmentation de l'infiltration et à l'entraînement de pesticides d'abord interceptés par le mulch.

Simplification du travail et énergie

La simplification du travail du sol se traduit par une très forte diminution de la consommation en carburant (tableau 7).

	Temps/ha	Gas-oil/ha	Puissance minimum	Main-d'œuvre
Semis sur labour	3 h	42 l	100 ch	2 UTH
Semis sur travail superficiel	45 mn	18 l	130 ch	1 UTH
Semis direct monograine	45 mn	12 l	100 ch	1 UTH
petites graines	20 mn	6 l	80 ch	1 UTH
Semis sur travail superficiel + décompactage				
1 passage	1 h	24 l	130 ch	1 UTH
2 passages	2 h	30 l		

Tableau 7 - Performances des principales techniques simplifiées de semis

Conclusion

"L'écobilan" (tableau 8) du semis direct est au moins égal à celui du labour.

Fertilité physique <ul style="list-style-type: none"> ● Taux de matière organique ● Sensibilité à la compaction 	L < SD L > SD
Erosion <ul style="list-style-type: none"> ● Ruisselement ● Pertes en terre 	L > SD L > SD
Nitrates <ul style="list-style-type: none"> ● Evolution matières organiques <ul style="list-style-type: none"> - humidification (K₁) - minéralisation (K₂) ● Lessivage 	L > SD L > SD L > SD
Pertes gazeuses (dénitrification)	L < SD
Phytosanitaires <ul style="list-style-type: none"> ● Dénitrification ● Lessivage 	L < SD L < SD
Énergie	L < SD

Tableau 8 - Tentative d'écobilan comparatif entre labour (L) et semis direct (SD)

La cohabitation des deux techniques sur une exploitation semblerait être l'idéal, le labour étant encore aujourd'hui l'un des seuls moyens de lutte efficace contre les adventices, pérennes en particulier. Le coût économique d'une telle solution n'est envisageable qu'à travers la mise en commun du travail sur des surfaces élevées.

L'intérêt de la simplification du travail du sol ne pourra, dans tous les cas, s'exprimer que si cette technique est replacée dans l'ensemble de l'itinéraire cultural, au sein du système de production.

Quelques références bibliographiques

- (1) **GUERIF J.**, 1994. Influence de la simplification du travail du sol sur l'état structural des horizons de surface. In : Simplification du travail du sol, les Colloques de l'INRA, 65, pp. 13-33.
- (2) **BOIFFIN J., MONNIER G.**, 1994. Suppression du labour et érosion hydrique dans le contexte agricole français. In : Simplification du travail du sol, les Colloques de l'INRA, 65, pp. 85-103.
- (3) **BALESDENT J., MARIOTTI A., BOISGONTIER D.**, 1990. Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from ¹³C abundance in maize fields. *J Soil Sci*, 41, pp. 587-96.
- (4) **GERMON J.-C., TAUREAU J.-C.**, 1991. Simplification du travail du sol et transformation de l'azote. In : Perspectives Agricoles, ITCF, 162, pp. 58-69.
- (5) **BARRIUSO E., CALVET R., CURE B.**, 1991. Incidence de la simplification du travail du sol sur le comportement des produits phytosanitaires. In : Simplification du travail du sol, les Colloques de l'INRA, 65, pp. 105-124.
- (6) **MARY B., GUERIF J.**, 1994. Intérêts et limites des modèles de prévision de l'évolution des matières organiques et de l'azote dans le sol. *Cahiers Agriculture*, 3, pp. 247-57.
- (7) **ITCF-ADEME**, 1994. Compte rendu de quatre années d'expérimentation "Banc d'essai d'outils de travail du sol et de semis". Document interne ITCF.

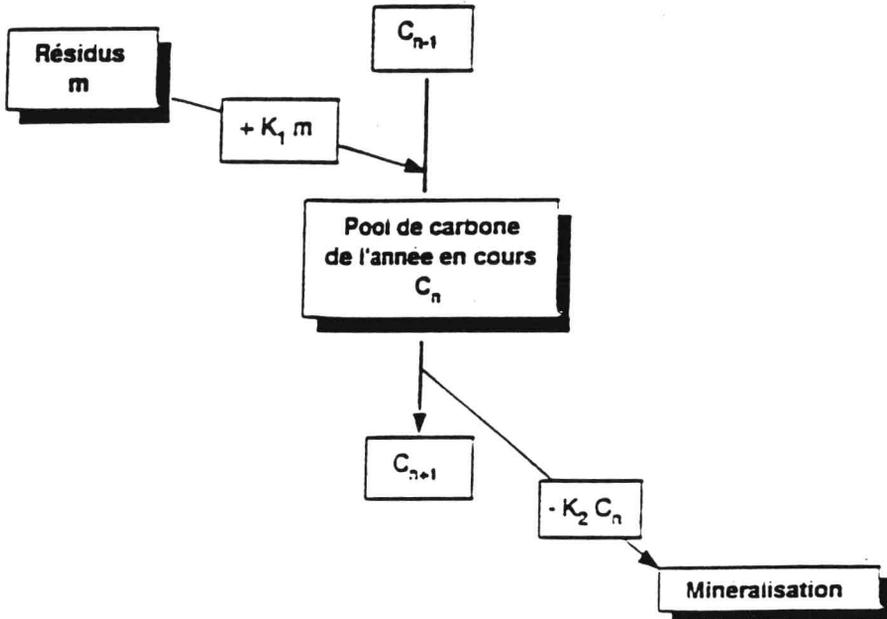


Figure 1 - Évolution de la matière organique (modèle de : Henri DUPUIS)

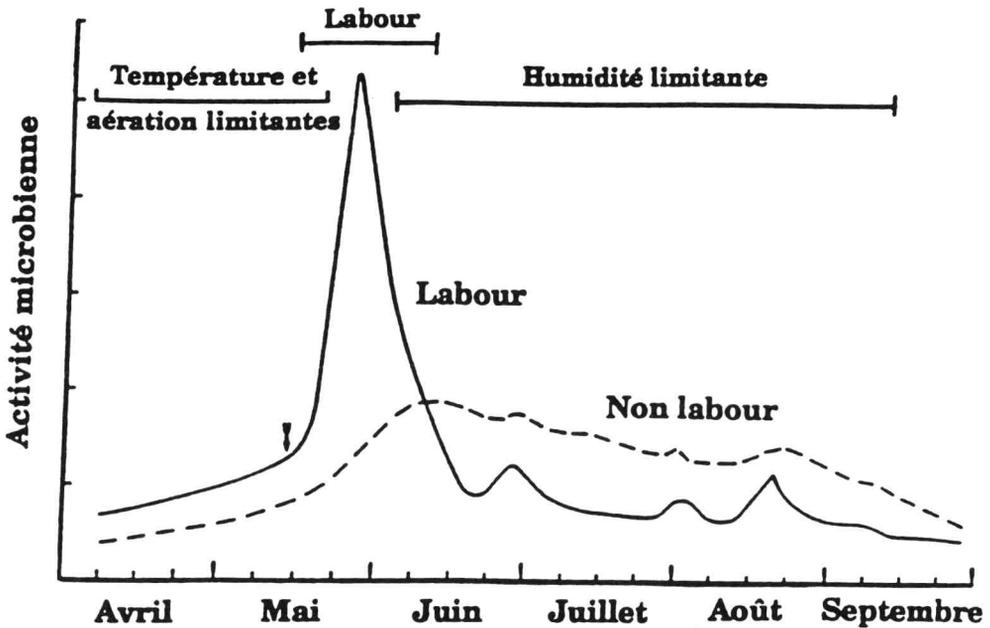
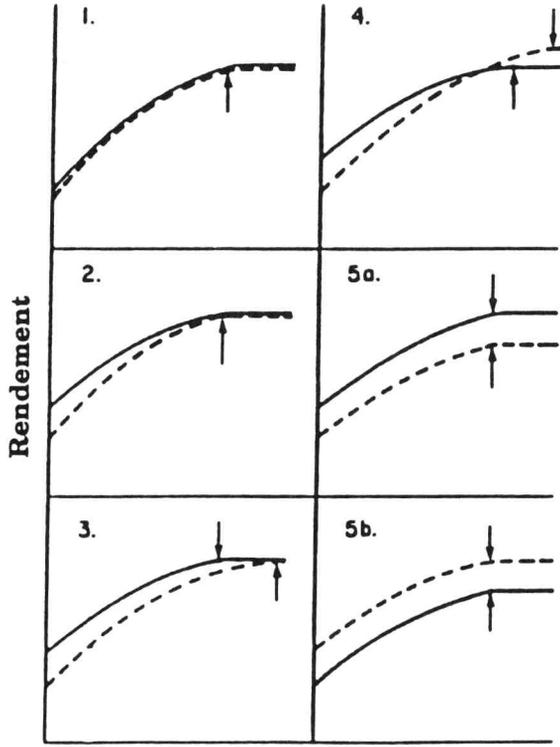


Figure 2 - Évolution supposée de l'activité microbienne relative au cours de l'année en sols labouré et non labouré. Les facteurs limitants de l'activité microbienne sont indiqués en haut du graphique. La flèche marque la date du labour.
(d'après DORAN, cité par FOX et BANDEL, 1986)

Labour (——) ; Non Labour (-----)
 Les flèches marquent les optimum économiques.



Niveau de fertilisation azotée

Figure 3 - Les différentes courbes de réponse à l'azote en fonction du mode de travail du sol (d'après FOX et BANDEL, 1986)

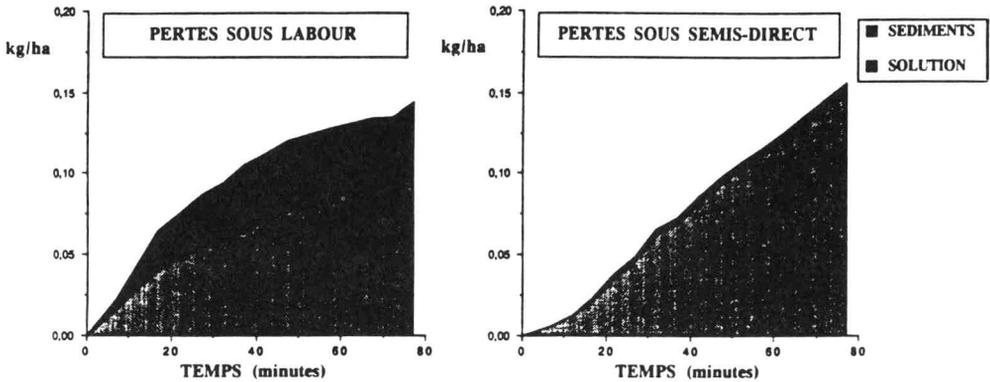


Figure 4 - Comparaison des pertes d'alachlor par ruissellement sous labour et sous semis direct : répartition des pertes en solution et en association avec les sédiments (d'après MARTIN et al., 1978)

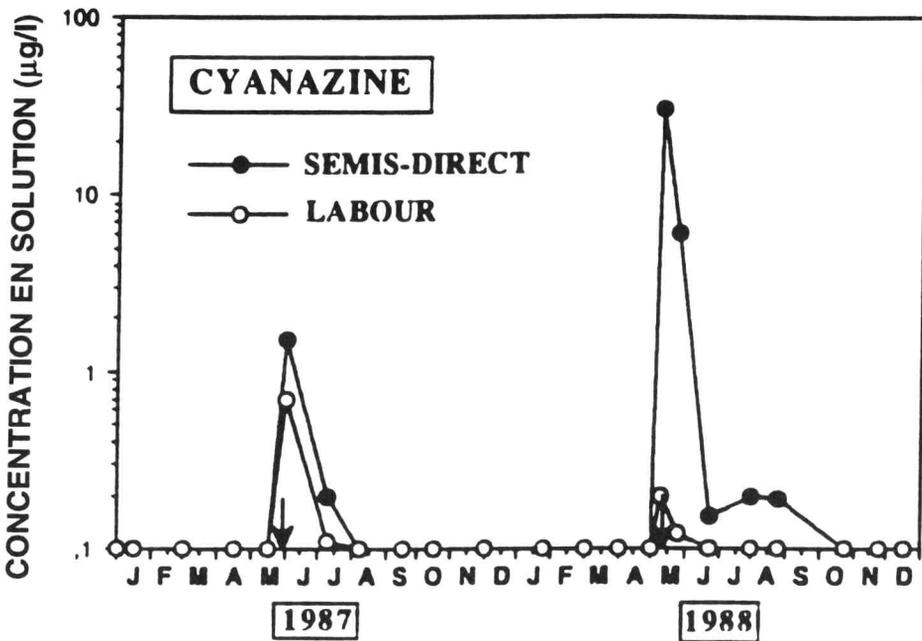
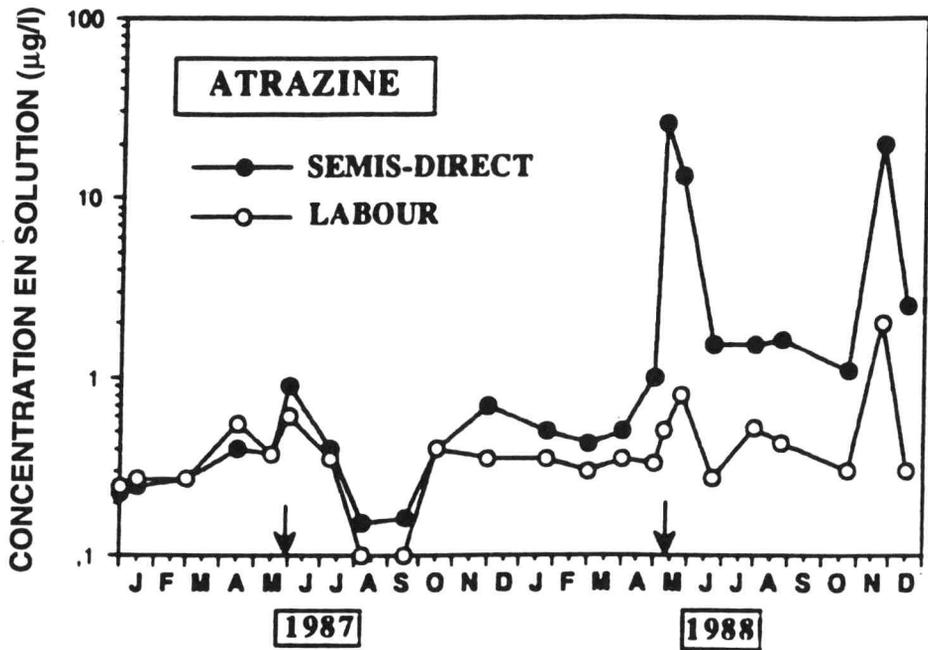


Figure 5 - Comparaison de la concentration en atrazine et en cyanazine des nappes sous labour et sous semis direct (sur la figure, ↓ indique les dates d'application des herbicides (d'après ISENSEE et al., 1990)

L'interaction engrais-épandeur : de la pratique de terrain à la modélisation

Marc Rousselet - Philippe Zwaenepoel

Cemagref, division Technologie du machinisme agricole

Domaine des Palaquins, 03150 Varennes-sur-Allier

Tél. 70 45 03 12 - Fax 70 45 19 46

Résumé - Pour contribuer à la maîtrise des coûts de production et à la protection de l'environnement, le Cemagref travaille sur l'épandage des engrais solides depuis plus de dix ans. Les essais réalisés au banc et au champ permettent d'évaluer les performances des matériels, des produits et des pratiques d'épandage. Des recherches plus analytiques portent sur les interactions engrais/épandeur et leur influence sur la qualité de la répartition.

Abstract - *In order to reduce production costs of agriculture and to protect the environment, Cemagref studies solid fertilizer spreading for more than ten years. Tests carried out on bench and on the field enable to evaluate the performance of spreaders, fertilizers as well as spreading practices. More analytical research show how combined effects of fertilizer and spreader, have an influence of the evenness the spreading pattern.*

Introduction

La fertilisation des cultures a, depuis son origine, joué un rôle déterminant dans la production agricole de tous les pays industrialisés. L'apport d'engrais minéraux, nécessaire à la croissance des plantes, a été un des premiers facteurs permettant d'améliorer la productivité des céréales. Dans un contexte de marché où les prix des produits agricoles étaient assez élevés, l'essentiel était d'apporter au moins la dose d'engrais correspondant à l'objectif maximal du rendement visé. Les engrais mis en excédent étaient largement couverts par les marges dégagées à la production. Les techniques d'épandage sont, de ce fait, restées assez longtemps figées. Les conditions économiques et les contraintes environnementales ont progressivement changé, obligeant les techniques d'application à évoluer vers une meilleure

maîtrise de la répartition. Bien que les engrais liquides soient apparus dans les régions céréalières, les recherches ont surtout été engagées sur les techniques d'application des engrais solides qui représentent encore aujourd'hui 80 % des engrais épandus sur l'ensemble de la surface agricole fertilisable.

Cette problématique a amené le Cemagref à s'intéresser dès 1980 aux épandages d'engrais solides et à mettre en place un banc d'essais pour les mesures de performances demandées par les constructeurs de distributeurs d'engrais, essentiellement pour les épandeurs centrifuges. Il est vite apparu que les travaux menés sur les distributeurs ne pouvaient pas être dissociés des aspects liés à la qualité des engrais ou aux pratiques d'épandage et qu'il fallait mener une recherche globale sur l'ensemble de ces éléments concourant à la qualité des épandages.

Les enjeux

Consommation annuelle :

- 11 800 000 tonnes d'engrais en France
- 5 400 000 tonnes d'azotés simples
dont 3 500 000 tonnes d'engrais granulé
- 3 500 000 tonnes de NP-NK-NPK granulés
- d'épandeurs (nombre de matériels parc - marché selon la nature) :
 - estimation du parc : 600 000 appareils distributeurs
 - marché : 15 000 appareils/an dont 90 % d'appareils portés centrifuges

Mesure au banc de la qualité d'épandage

Des méthodes de fertilisation raisonnée ont été mises au point par les prescripteurs de la recherche agronomique et des organismes de développement pour la détermination des doses optimales d'engrais à apporter aux cultures. La qualité d'un épandage se traduit par un apport d'engrais égal en tout point de la parcelle à la dose d'épandage ainsi déterminée. Celle-ci est communément exprimée en kilogrammes/hectare, mais on peut aussi l'exprimer en gramme/m^2 si l'on veut mieux apprécier sa répartition ($300 \text{ kg}/\text{ha} = 30 \text{ g}/\text{m}^2$). La variation de la quantité apportée dans le sens longitudinal (selon l'axe d'avancement du tracteur) est très faible sur un sol horizontal et ne dépend que de la variation de la vitesse d'avancement du tracteur pour les appareils non DPA. La variation de la répartition transversale est, par contre, beaucoup plus importante et dépend de la forme du diagramme de répartition et du mode d'épandage utilisé.

Le distributeur d'engrais centrifuge épand sur une largeur totale d'épandage supérieure à sa largeur de travail (figure 1). Selon la forme de la courbe, la quantité d'engrais distribuée lors d'un passage aller, diminue régulièrement du centre de l'appareil vers les extrémités, ou décroît seulement sur les extrémités. Pour distribuer la même quantité d'engrais en tout point de la parcelle, il est nécessaire d'apporter au passage retour, une dose complémentaire sur la zone concernée par le recouvrement. Les points de recouvrement gauche et droit qui contiennent la demi-dose sur un passage aller délimitent la largeur optimale de travail. Sur le diagramme de répartition transversale, la courbe simple représente la quantité obtenue après un passage aller. La quantité obtenue après le passage retour tient compte des recouvrements effectués sur les côtés droit et gauche et est représentée par la courbe cumulée exprimée en pourcentage. La valeur 100 % correspond à la moyenne de la dose épandue.

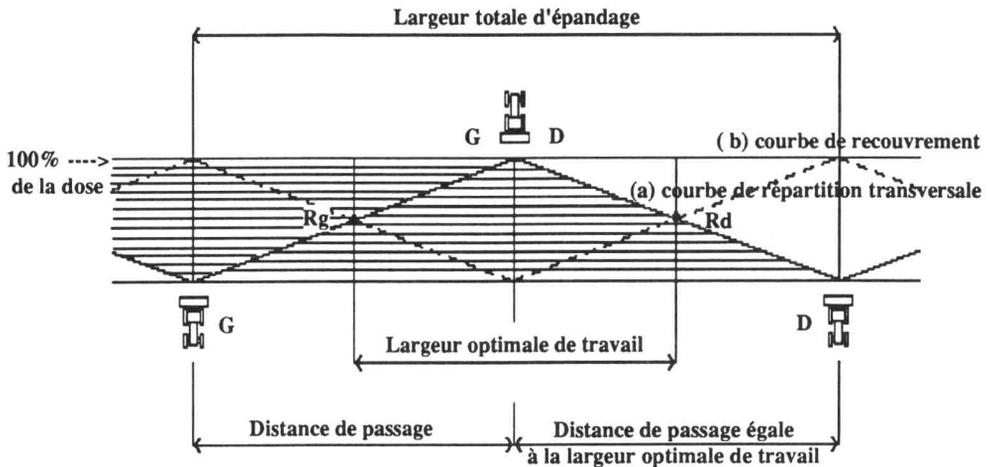


Figure 1 - Principe de recouvrement de l'épandage centrifuge

La régularité de la distribution transversale se juge par la forme plus ou moins régulière de la courbe cumulée, que l'on traduit mathématiquement par le coefficient de variation (C.V.). Plus la courbe se rapproche d'une droite horizontale, plus faible est le coefficient de variation et meilleure est la régularité de la répartition.

Ces irrégularités de la courbe de recouvrement permettent de calculer le pourcentage des zones surdosées et des zones sous-dosées par rapport à la ligne 100 %. Pour avoir un bon épandage, la largeur de travail et la distance de passage doivent être égales. Si la distance de passage est inférieure à la largeur de travail, il y a excès de dose d'engrais dans la zone de recouvrement ; inversement quand la distance de passage est supérieure à

la largeur de travail, la dose d'engrais est insuffisante dans la zone de recouvrement.

Effets d'un mauvais épandage

Avec les engrais azotés solides et, en particulier, avec l'ammonitrate, les surdosages peuvent avoir de lourdes conséquences :

- financières : alourdissement du coût des intrants, verse et baisse de rendement, difficulté de récolte,
- écologiques : risque de pollution des eaux superficielles et souterraines par le lessivage des excédents de nitrate dans le sol.

Dans les zones sous-dosées, le manque d'azote fait chuter le rendement et le phénomène risque d'être accentué si l'on réduit les doses.

Une mauvaise largeur de travail, donnant lieu à un mauvais recouvrement, est l'une des premières raisons de l'irrégularité d'épandage qui se traduit sur les parcelles, par des zones sous-dosées et surdosées, visibles en fonction de divers stades végétatifs. Elles sont repérables à la montaison par la croissance irrégulière des plantes, visible dans le sens perpendiculaire à celui des épandages.

Un profil caractéristique en "tôle ondulée" de la culture, témoigne de la mauvaise répartition transversale de l'engrais. A l'épiaison et généralement à la récolte, ces mêmes zones deviennent le lieu de verse en bandes localisées. Lorsque les effets de verse sont intenses, ou lorsque les conditions climatiques sont mauvaises, la verse en bande peut alors se généraliser à l'ensemble de la parcelle.

Les effets de la verse sur le rendement ont été mesurés à la récolte, précisément par comparaison avec des parcelles témoins et des parcelles où la fertilisation a été parfaitement maîtrisée, par un contrôle au banc d'essai (connaissance du C.V.). Il en résulte que le rendement optimum, aux erreurs d'expérimentation près, est obtenu lorsque le C.V. a une valeur minimale (figure 2).

Une augmentation de C.V. liée à un excès de recouvrement se traduit par une baisse de rendement plus importante (- 12 q), que la même augmentation obtenue avec un recouvrement moindre (- 6 q). Avec un coefficient de variation supérieur à 25 %, les marges brutes peuvent être réduites de moitié. Ce résultat tient compte de l'engrais gaspillé, de la verse de la céréale et de la diminution du rendement, de la difficulté de récolte et de la mauvaise qualité du grain (faible valeur en protéines).

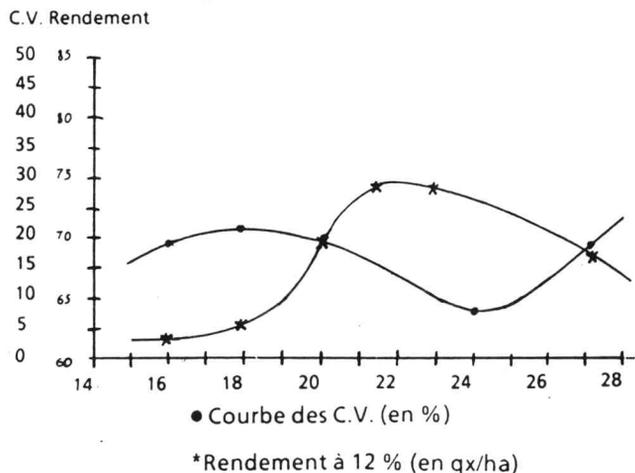


Figure 2 - *Comparaison des C.V.* et du rendement*
* coef. de variation

Un nombre élevé d'essais d'épandage au banc et ces observations champ sur la verse des céréales, ont permis de déterminer la gamme suivante de valeurs pour les coefficients de variation.

Qualité d'épandage	C.V. Essai au banc	C.V. Essai au champ
Très bonne à bonne	0-10 %	0-15 %
Satisfaisante à moyenne	10-15 %	15-25 %
Mauvaise à éviter	> 15 %	> 25 %

Facteurs intervenant sur la qualité d'épandage

Les pratiques de terrain

Des mesures et des observations effectuées sur le terrain dans les départements de l'Allier et du Puy-de-Dôme montrent qu'il existe une hétérogénéité assez importante de la répartition transversale des engrais épandus avec, globalement, un cinquième des surfaces recevant 140 % de la dose souhaitée et un cinquième fertilisé à 60 %.

Les causes de ces mauvais épandages sont dues, d'une part, à des doses d'application différentes de l'objectif souhaité, d'autre part, à une irrégularité de répartition (figure 3).

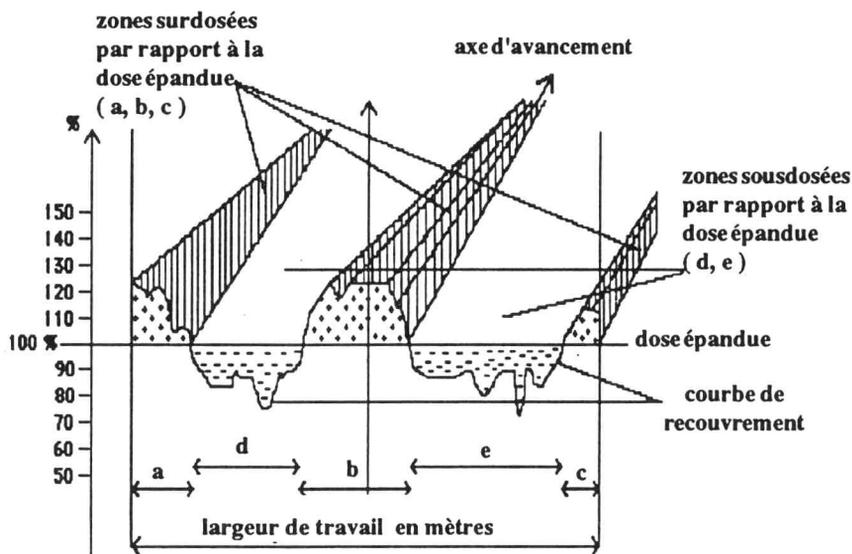


Figure 3 - Zones surdosées et sous-dosées

Ces erreurs proviennent d'un certain nombre de facteurs, parmi lesquels on peut citer :

- les défauts de réglage,
- les défauts de l'appareil,
- les caractéristiques physiques de l'engrais, ses propriétés balistiques en fonction de sa nature ; l'ammonitrate et l'urée, par exemple, se présentent sous deux formes physiques différentes, respectivement granulée et prillées, qui supposent d'adapter le réglage de l'épandeur et la largeur de travail,
- les inégalités du terrain (creux et bosses),
- le vent,
- le positionnement de l'appareil distributeur sur l'attelage trois points du tracteur, déterminant la hauteur des organes d'épandage par rapport au sol,
- l'erreur de jalonnement, auxquels s'ajoutent, dans le cas d'épandages en pentes, des facteurs inhérents au relief :
 - la dissymétrie gauche-droite des portées de projection de l'engrais,
 - les vitesses d'avancement différentes entre la montée et la descente, ainsi que la variation des régimes de rotation de la prise de force,
 - le point de chute de l'engrais sur les disques, variable en fonction de l'inclinaison prise par l'appareil,

- le dévers qui tend à donner un angle de dérive du tracteur par rapport à son axe d'avancement et à déporter la nappe d'épandage du côté où il se forme,
- les obstacles à éviter, surtout en prairies naturelles (rochers, arbres, pentes excessives),
- la conduite de l'opérateur.

La *mauvaise largeur d'épandage* est souvent le fait d'un mauvais choix du réglage par rapport aux caractéristiques physiques des engrais utilisés. Elle est aussi le résultat de caractéristiques physiques d'engrais impropres aux épandages grande largeur (24 m). Dans ce cas, il y a sous-dosage au recouvrement, mais surdosage dans l'axe du distributeur.

L'utilisation d'un *mauvais régime de rotation* de la prise de force engendre une erreur de largeur. Les différents régimes mesurés de 380 à 610 tr/min montrent que les préconisations à 540 tr/min ne sont pas respectées. Le régime de rotation doit être particulièrement adapté dans le cas d'une utilisation extrême, sur terrains en pente. En travaillant selon la ligne de plus grande pente, les différences de régime, donc les variations de largeur de travail entre l'aller et le retour, amplifient le phénomène.

Un *bon jalonnement* permet d'avoir une distance entre deux passages, égale à la largeur de travail. Sans jalonnement, l'écart moyen observé atteint 1 m alors qu'avec un jalonnement au semis, on peut atteindre une précision moyenne de 0,27 m.

Le recensement fait sur des appareils distributeurs examinés lors d'une autre enquête, indique *une moyenne d'âge assez élevée*, environ seize ans, avec cependant des disparités liées à la taille des exploitations. Les exploitations de plus de 70 ha utilisent en moyenne le même distributeur pendant treize ans, alors que les exploitations plus petites peuvent le conserver pendant dix-huit ans. La moyenne d'âge des appareils rencontrés au cours des différents essais réalisés sur le terrain est inférieure, mais toujours plus élevée dans les petites exploitations. Elle se situe à dix ans pour les appareils de 9 à 18 m de largeur d'épandage et de cinq ans pour des appareils de 24 m de large. En ce qui concerne l'entretien et la maintenance, la totalité des agriculteurs déclare nettoyer au moins une fois par an leur appareil distributeur ; seulement 20 % effectuent une véritable maintenance avec entretien régulier et changement de toutes les pièces défectueuses ou usées.

Avec un matériel ancien et usagé, il est difficile d'obtenir une bonne courbe de répartition transversale des engrais et on peut gaspiller facilement plus de 10 % d'engrais du fait de l'irrégularité à la distribution. Sachant que, sur

une exploitation moyenne représentative de l'échantillon, l'amortissement d'un distributeur moderne centrifuge double plateau ne représente que 2,5 % du coût des engrais épandus annuellement, on voit que l'acquisition d'un matériel plus performant peut être souvent très positive, ne serait-ce que du point de vue strictement économique.

Choix des engrais solides

L'efficacité de l'unité fertilisante apportée sur une culture dépend des caractéristiques chimiques et des caractéristiques physiques de l'engrais utilisé. L'épandage centrifuge des engrais dépend, quant à lui, des caractéristiques physiques de l'engrais et de leur maintien au stockage et au transfert.

Les engrais se présentent sous des formes variées : granulée, perlée, compactée, cristallisée ou pulvérulente. La forme granulée est largement prédominante et se développe au détriment des autres formes. Les caractéristiques physiques des engrais ont une influence significative sur la qualité de la répartition par projection. Certaines caractéristiques déterminent directement le comportement de l'engrais dans le distributeur lors de sa trajectoire dans l'air. D'autres assurent ou non la pérennité de ces caractéristiques. On peut retenir comme caractéristiques qui influencent le plus directement l'épandage :

- la masse volumique apparente car elle intervient dans les caractéristiques de projection. Plus l'engrais est dense pour un même diamètre et plus il est projeté loin, et inversement, d'où la différence de comportement entre un engrais granulé (ammonitrate) et un engrais perlé (urée). La masse volumique intervient dans le réglage de la dose d'engrais à apporter par hectare. Sur la plupart des appareils distributeurs, le réglage du débit est volumétrique, ce qui implique de connaître la masse volumique pour effectuer le réglage de la dose :
 - urée : 0,700 à 0,800 kg/dm³,
 - ammonitrate : 0,850 à 0,900 kg/dm³,
 - engrais NP-NK-NPK : 0,900 à 1 200 kg/dm³.
- la granulométrie de l'engrais peut être appréciée au travers d'un granulomètre, appareil à tamiser de poche (figure 4). Lorsque la granulométrie est resserrée, elle permet d'obtenir l'homogénéité de la répartition. Le diamètre moyen de la distribution granulométrique va conditionner la largeur d'épandage. Plus il sera élevé et plus la largeur sera importante. Pour un épandage en 24 m, il faut rechercher des granulés ayant un diamètre moyen voisin de 3 mm et un resserrement où 70 % des granulés sont compris entre 2,5 et 4 mm.

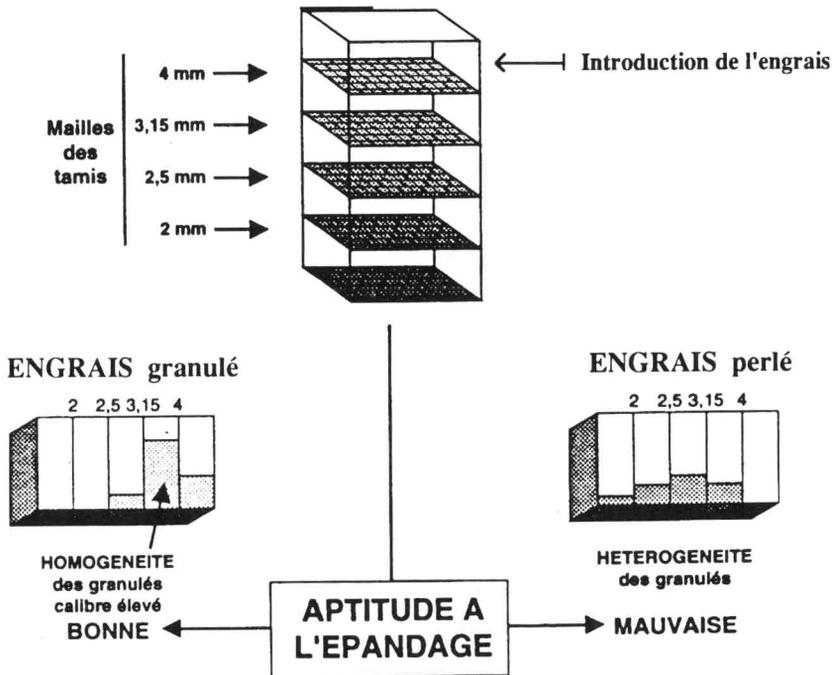


Figure 4 - Granulomètre de poche

La dureté est une caractéristique qu'il faut prendre en compte lors de la manutention, du stockage et de l'épandage. Un engrais présentant une faible résistance à l'écrasement peut risquer de se dégranuler au cours du temps. Lors de l'alimentation des disques, l'engrais est pris par les pales et reçoit un choc : il doit résister et conserver ses caractéristiques granulométriques qui lui confèrent ses propriétés balistiques.

La sphéricité de l'engrais, ainsi que son état de surface, influencent les caractéristiques d'écoulement de l'engrais dans l'appareil et le vol dans l'air des particules. Lorsque la particule est sphérique, l'écoulement est facilité, le débit augmente et la répartition est plus homogène. Un engrais compacté (peu sphérique) suit des trajectoires très aléatoires. La sphéricité d'un engrais influence aussi l'angle de sortie du disque des particules : les particules lisses et sphériques quittent rapidement le disque d'épandage. L'angle de sortie doit alors être ajusté pour chaque engrais, selon la largeur de travail souhaitée, à partir du réglage de l'appareil distributeur.

La reprise en masse communément appelée "mottage" intervient lorsque les conditions de stockage sont mauvaises, généralement en présence d'humidité. Les granulés s'agglomèrent en formant des mottes qu'il devient

très difficile d'épandre. Les appareils distributeurs sont équipés en partie haute de la trémie de tamis permettant d'éviter l'introduction des plus grosses mottes dans le système d'alimentation.

La poussière est une caractéristique que l'on cherche à éviter dans un engrais de bonne qualité. A l'épandage, la poussière qui n'a pas de masse, ne peut pas être projetée par les disques d'épandage et, de ce fait, reste concentrée dans l'axe du distributeur, en créant des surdosages. Les distributeurs sont maintenant conçus avec des systèmes agitateurs débrayables, évitant la formation de poussière lorsque les trappes d'alimentation sont fermées en bout de champ.

Modélisation de l'épandage

L'objectif de cette recherche est de décrire mathématiquement l'ensemble du processus d'épandage : écoulement de l'engrais dans la trémie, projection par les disques d'épandage, trajectoires des particules jusqu'au sol.

Ces travaux intéressent très directement la profession industrielle : les fabricants d'engrais pour la définition des spécifications de produits de qualité en regard de la technique d'épandage centrifuge, les constructeurs de distributeurs pour la conception des distributeurs centrifuges et de leurs dispositifs de réglage.

L'appareil distributeur est composé d'une trémie contenant l'engrais et d'un système de distribution à un ou deux disques. A la sortie de la trémie, l'engrais peut s'écouler librement par gravité, ou en être extrait à partir d'une alimentation forcée. Cet engrais tombe sur les disques d'épandage munis de pales d'éjection. Sous l'action de la force centrifuge des disques en rotation, l'engrais se trouve projeté et réparti angulairement autour du disque. Le régime de rotation des disques est réglable sur certains appareils. Mais il peut aussi varier pour des raisons liées aux conditions de terrain. L'engrais se répartit ensuite dans l'air à partir du point d'éjection pour former la nappe d'épandage. Dans la majeure partie des cas, il y a deux disques d'épandage et les deux nappes d'épandage se recouvrent dans l'axe de l'appareil distributeur.

Les paramètres importants retenus sont séparés en trois groupes distincts. Les paramètres liés à l'appareil : système d'alimentation, vitesse de rotation des disques, nombre et orientation des pales, ceux liés aux engrais, c'est-à-dire leurs caractéristiques physiques : masse volumique, diamètre, sphéricité, coefficient de friction, etc. ; enfin, les paramètres extérieurs liés à la climatologie : humidité et vent.

Des expérimentations ont permis de mesurer la répartition en masse du flux des particules à la sortie d'un disque d'épandage (figure 5). La répartition suit une loi identique pour les différentes classes granulométriques d'un même engrais. La forme de cette répartition est celle d'une distribution normale. Les quantités distribuées par la pale sont très faibles en début et fin d'éjection et sont maximales dans l'axe du secteur d'épandage appelé "nappe d'épandage".

La position angulaire de la distribution dépend du réglage du dispositif d'alimentation sur la machine. Lorsque le point d'alimentation de l'engrais sur le disque est près du centre du disque, l'angle d'orientation de la nappe augmente, modifiant ainsi la largeur de travail. Inversement, lorsque l'engrais déposé est proche de l'extérieur du disque, l'engrais quitte le disque plus tôt et l'ensemble de la nappe d'épandage est décalé dans le sens inverse. Le même effet, sur l'angle d'orientation de la nappe d'épandage, peut être obtenu en modifiant l'orientation des pales dans le sens de rotation du disque ou dans le sens inverse.

La position de la distribution angulaire autour du disque et la portée de projection des granulés définissent la largeur de travail. Elles sont toutes deux dépendantes des caractéristiques physiques de l'engrais ; pour les mêmes raisons, le choix de l'engrais participe à la définition de la largeur de travail, selon les lois de la mécanique. Le choix du réglage est donc de faire en sorte que les effets dus à l'engrais, combinés à ceux du réglage, se compensent pour atteindre, à la largeur donnée, le diagramme de répartition souhaité.

L'angle du secteur d'épandage, c'est-à-dire l'angle entre le début et la fin de la distribution au niveau de la pale, est fonction des conditions d'écoulement de l'engrais (sphéricité, rugosité). Plus l'engrais est sphérique, plus l'angle du secteur est important. Inversement, l'angle du secteur est faible lorsque l'engrais est anguleux et rugueux, ce qui se traduit par une distribution moins régulière et plus concentrée. Il n'existe pas, aujourd'hui, sur les appareils distributeurs de réglages permettant de compenser ce phénomène.

Les travaux de recherche se concentrent aujourd'hui sur l'analyse des interactions "granulés/pale" au niveau du disque d'épandage, à l'aide de moyens de mesure adaptés. Une caméra vidéo-rapide à 400 images/seconde permet d'obtenir des informations précises sur le fonctionnement du système. Elle autorise la visualisation jusque dans les moindres détails, de phénomènes difficiles à caractériser et à mesurer du fait de la vitesse des particules (25 à 30 m/s). On peut ainsi déterminer le champ de vitesse des particules qui sera utilisé comme conditions initiales dans les équations décrivant le mouvement des particules dans l'air.

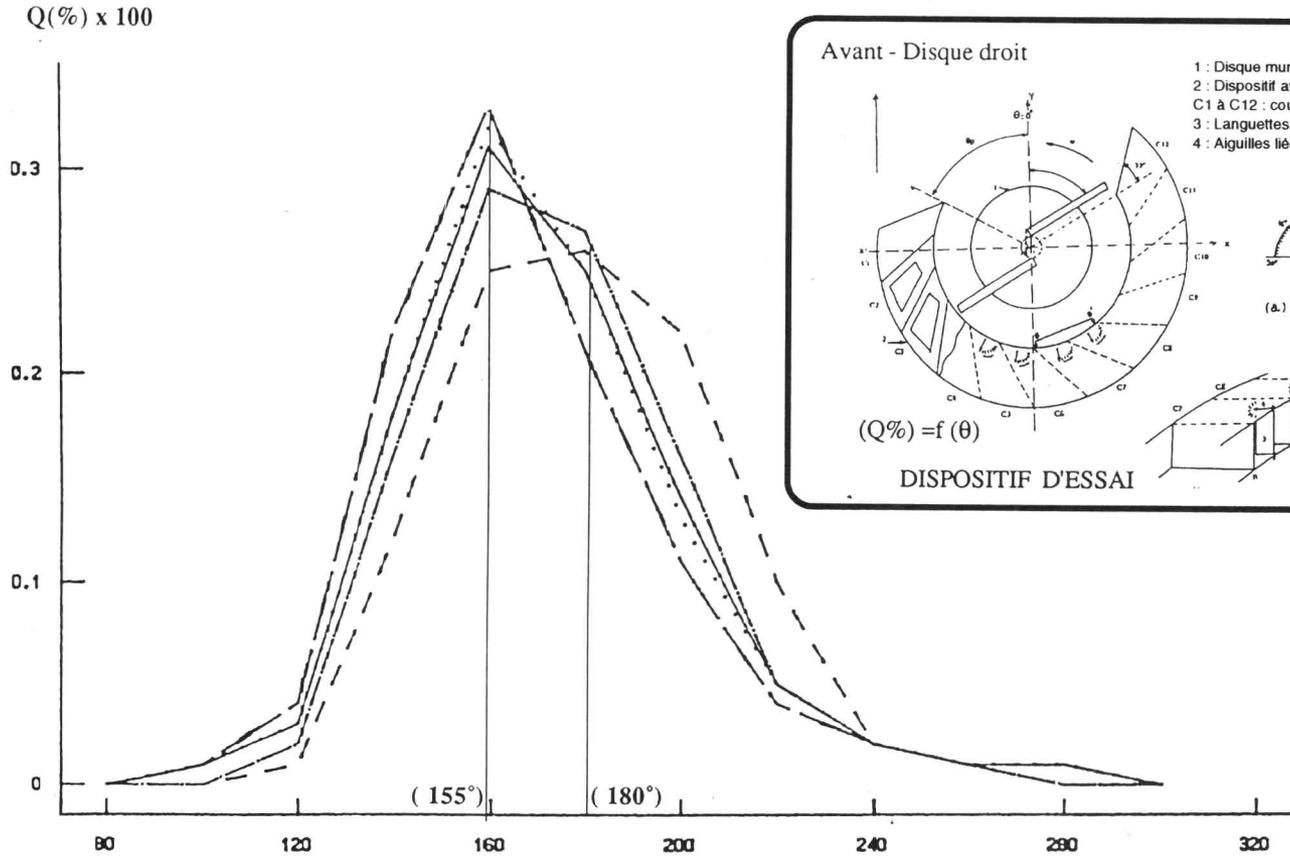


Figure 5 - Distribution en masse autour du disque (Expérimentation Cemagref - SCGP)

Évolution des matériels et des techniques

Les constructeurs d'appareils distributeurs ont cherché à améliorer leurs matériels en augmentant la précision à l'épandage, ainsi qu'en augmentant les performances en largeur. Les progrès réalisés ont consisté à mieux adapter les réglages du débit et de la largeur, en fonction des types d'engrais utilisés. Des tableaux de réglages ont été établis, à partir d'essais au banc, pour chaque engrais, largeur de travail, et dose à l'hectare. Ces tableaux sont reportés dans le livret d'utilisation. Des méthodes de contrôle, utilisant des kits de contrôle sur le champ sont proposées en complément, par tous les constructeurs, pour vérifier la pertinence du réglage fait. Elles peuvent constituer une alternative aux réglages traditionnels lorsque l'engrais n'est pas référencé, et intégrer des paramètres extérieurs non pris en compte normalement, comme l'humidité et le vent.

Les derniers développements portent maintenant sur l'aide et l'assistance aux réglages :

AMAZONE propose le service d'assistance Test'Or qui fournit les réglages à employer pour un engrais ne figurant pas dans le livret d'utilisation du distributeur. Un échantillon de 3 kg d'engrais est envoyé au laboratoire qui effectue l'analyse des caractéristiques physiques, et mesure les paramètres d'éjection à la sortie du disque. Un logiciel analyse ces résultats, les compare à ceux de la banque de données issue des essais et propose des réglages, qui sont ensuite retransmis au client.

BOGBALLE a mis au point un dispositif d'étalonnage automatique du débit par pesée électronique (médaille d'argent SIMA 95). Ce dispositif est associé au boîtier calculateur "Calibrator 2002" qui réalise l'asservissement du débit en fonction de la dose, de la largeur et de la vitesse : la trémie étant pleine, l'agriculteur épand une quantité programmée par l'ordinateur de bord ; un dispositif de pesée intégré mesure la quantité réellement épandue. Par comparaison des deux informations, le débit est automatiquement adapté à la quantité par hectare souhaitée.

SULKY présente "Justax", un dispositif de réglage automatisé de la largeur de travail d'un épandeur centrifuge (médaille d'or SIMA 95) : le dispositif est constitué de deux capteurs placés à l'arrière du distributeur, d'un boîtier électronique et d'une commande à distance de goulotte. Le support de capteurs se positionne dans la nappe d'épandage en fonction de la largeur de travail choisie. Les capteurs donnent une information sur le centrage de la nappe. L'utilisateur est averti en cabine de son travail grâce au boîtier électronique qui lui indique la plage de réglage à observer. Il peut modifier en continu la position de la nappe d'épandage à l'aide de la goulotte pour ajuster précisément la largeur souhaitée.

Conclusion

L'intérêt d'améliorer les techniques d'épandage des engrais solides n'échappe à personne dans le contexte actuel de réduction des coûts de production et de mise en place de réglementations pour faire régresser les pollutions diffuses dues aux nitrates.

Le programme mené par le Cemagref en collaboration avec la profession industrielle – fabricants d'engrais et constructeurs de distributeurs – et la profession agricole, part de l'analyse de terrain pour arriver à la modélisation, en passant par les essais au banc ; il peut à ce titre être jugé ambitieux.

Les essais au banc ont certainement constitué le pivot autour duquel s'est établie la plus grande partie de ce programme. Ils sont assez connus et l'on ne peut détailler tous les résultats obtenus en matière d'amélioration d'appareils distributeurs et de formulation physique d'engrais. Rappelons simplement qu'ils ont permis de mettre en évidence les caractéristiques propres aux épandages centrifuges, à savoir l'absence matérielle de largeur de travail et la nécessité de définir le meilleur recouvrement à la largeur optimale. Les conséquences liées à une mauvaise maîtrise de la largeur sont parfois importantes et ont pu être mesurées par des critères très précis à la fois sur le banc et dans le champ. Les effets sur la répartition transversale dus à l'engrais en fonction de leurs caractéristiques physiques, la sensibilité des réglages, ont été autant d'éléments importants qui ont permis d'établir une banque de données servant à alimenter les travaux de recherche ultérieurs, utilisables pour la modélisation.

L'activité de recherche menée en partenariat scientifique et industriel est totalement consacrée à l'épandage centrifuge, technique simple de mise en œuvre utilisée par tous les agriculteurs, mais très délicate à maîtriser en raison du nombre élevé de paramètres physiques intervenant sur le résultat final. La modélisation de l'ensemble du processus est la voie choisie pour comprendre le fonctionnement du système, identifier et quantifier l'importance des paramètres de la machine, des produits et des réglages (et de leurs interactions) qui ont le plus d'incidence sur le résultat final.

L'analyse des pratiques de terrain permet d'établir un constat global, de corrélérer les résultats par rapport au banc et d'évaluer d'autres facteurs de risque pouvant compromettre la qualité des épandages ; ces facteurs dépendent en partie de la technicité de l'utilisateur, de l'état du matériel, des effets du terrain et des conditions climatiques. Les enseignements tirés des derniers travaux dans ce domaine vont être prochainement publiés dans un cahier technique COMIFER-Cemagref donnant les conseils pratiques pour bien épandre les engrais minéraux solides.

Cependant, il reste encore beaucoup à faire pour arriver à la maîtrise totale de l'épandage des engrais solides ; le Cemagref va s'y employer au cours des prochaines années dans le cadre du programme AGRIPROPRE de son Département Equipements agricoles et alimentaires. De leur côté, les professions manifestent la même volonté d'améliorer les matériels, les produits et leur mise en œuvre au bénéfice de la protection de l'environnement. Les distinctions décernées par le Comité d'Encouragement à la recherche technique du SIMA 1995 pour deux matériels distributeurs d'engrais sont à ce titre très significatives.

Références bibliographiques

BRUBACH, GOHLICH H., 1973. L'influence des propriétés d'engrais sur la distribution. Landtechnik, 9-10 juin, pp. 289-292.

DAVIS J.-B., RICE C.-E., 1973. Distribution of granular fertilizer and wheat seed by centrifugal distributor. Transaction of the ASAE, vol. 16, n° 5, pp. 867-868.

HOFSTEE J.-W., HUISMAN W., SPEELMAN L., 1990. Physical properties of fertilizer in relation to spreading and handling. Paper presented at AgEng'90, Berlin, 23-27 october 1990.

LE DU J., 1994. Analyse des pratiques d'épandage d'engrais minéral azoté solide. Méthodologie et résultats. *Fourrage*, n° 137, pp. 75-88.

ZIANI S., ROUSSELET M., 1990. Épandage d'engrais et verse des céréales. *BTMEA*, n° 45, janvier 90, pp. 28-38.

Les nouveaux concepts d'application localisée

Jean-Michel Roger

*Cemagref, division Génie des équipements agricoles
et alimentaires*

361, rue J.-F. Breton, BP 5095, 34033 Montpellier Cedex 1
Tél. 67 04 63 00 - Fax 67 63 57 95

Jean-Michel Le Bars

Cemagref, division Technologie du machinisme agricole

Domaine des Palaquins, 03150 Varennes-sur-Allier
Tél. 70 45 03 12 - Fax 70 45 19 46

Résumé - L'application des intrants en agriculture est de plus en plus confrontée aujourd'hui aux problèmes de la qualité. Cette qualité se situe sur des aspects environnementaux, de gestion, de conditions de travail et de sécurités. Plusieurs concepts techniques répondant à ces besoins sont abordés dans l'article. Les solutions envisagées dans le cas de cultures en ligne visent à supprimer les mauvaises herbes par détection et action électrique et, en grande culture, à mieux ajuster les doses d'intrants en prenant en compte les variations locales du sol ou de l'état de la végétation. Ces recherches sont entreprises au niveau européen dans le cadre des programmes PATCHWORK et IN-SPACE.

Abstract - *Agro-chemical inputs application in agriculture have today to face an increasing needs of quality in terms of environmental impacts, inputs management, working conditions and security. New technical concepts are described in this paper. These solutions are in the case of row crops to detect and to destroy weeds by electrical means and for cereal crops to adjust inputs to local variations of soils and crops conditions. Research works are conducted at the european level in two projects named PATCHWORK and IN-SPACE.*

Introduction

Alors que depuis plusieurs décennies la recherche appliquée à l'agriculture concernait essentiellement le gain de productivité, s'affirme une nouvelle tendance visant à améliorer la qualité. Cette qualité ne concerne pas seulement les produits agricoles, mais aussi les conditions de travail, la protection de l'environnement, la sécurité, etc. Un des points clés de cette recherche

passer par la diminution des intrants chimiques, essentiellement les engrais et les pesticides. C'est ainsi, par exemple, que de nouvelles contraintes réglementaires et environnementales limitent l'utilisation de certains produits, comme l'atrazine et la simazine sur le maïs.

Différentes solutions ont été explorées, notamment par l'agriculture biologique. Elles concernent le plus souvent un changement des pratiques culturales modernes. Se sont ainsi développés des travaux sur le désherbage mécanique des céréales à paille, du maïs, et du pois protéagineux (1) ; les cultures intercalaires, méthodes alternatives dans le maïs grain (2) ; l'influence de la lumière du jour sur la germination des adventices (3).

D'autres visent à développer de nouvelles techniques complètement non chimiques. Par exemple, des matériels de désherbage thermique, électrique, cryogénique, à micro-ondes sont apparus. Toutes ces techniques nouvelles sont prometteuses, mais posent encore des problèmes d'applicabilité, de nature agronomique et économique.

Enfin, une meilleure maîtrise des apports constitue une autre voie, dans laquelle se situent les recherches en matière d'application localisée. On peut définir ce terme comme "*l'adaptation de l'intervention aux spécificités locales de la culture à traiter*". Il recouvre nombre de concepts, dont certains sont déjà naturellement appliqués : désherbage manuel des cultures maraîchères, adaptation de la dose d'intrants en fonction de la parcelle, etc. Le but de la recherche dans ce domaine consiste à créer des matériels de fertilisation et de désherbage capables d'appliquer un traitement optimal à chaque endroit d'une parcelle.

Cet article expose la problématique de l'application localisée, puis présente trois exemples issus de projets de recherche européens auxquels participe le Cemagref.

L'application localisée : problématique

La mise au point de nouveaux matériels, si elle s'intéresse surtout à résoudre les problèmes d'ordre technique, doit aussi prendre en compte ceux d'ordre économique.

C'est ainsi que les solutions à développer doivent limiter les surcoûts de fabrication et d'utilisation. Ce problème de fond apparaît notamment avec l'utilisation de certaines techniques de pointe au moyen de composants bon marché. Ceci est bien illustré par l'introduction de l'électronique embarquée, parfaitement maîtrisée dans les domaines militaire et spatial au prix d'une

qualité de fabrication très onéreuse et inapplicable au machinisme agricole. Hormis cette première difficulté, générique au machinisme agricole moderne, l'application localisée pose des problèmes spécifiques.

Tout d'abord au chapitre de la perception des caractéristiques locales, deux méthodes principales sont envisageables, soulevant deux types de difficultés.

Dans un premier cas, la machine est capable de détecter par elle-même les caractéristiques de la culture. Se posent alors les problèmes liés à l'acquisition des mesures en temps réel et à leur traitement. Dans le cas du désherbage, la difficulté majeure consiste à évaluer une densité de mauvaises herbes dans le cas des grandes cultures ou à détecter individuellement chaque adventice dans le cas de certaines cultures maraîchères. Le problème se résout en remplaçant la vision d'un opérateur humain par une caméra ou un capteur radiométrique, avec des temps de traitement imposés par une vitesse d'avancement économiquement réaliste. Dans le cas de la fertilisation, il paraît par contre difficile de capter en temps réel les caractéristiques du sol et des plantes qui permettraient d'évaluer leurs besoins.

Dans un deuxième cas, les caractéristiques utiles au traitement localisé sont cartographiées et stockées dans une base de connaissances. La perception consiste alors à "lire" cette carte. Hormis les problèmes liés à l'entretien de la base de données, les principales difficultés concernent la localisation de la machine dans la parcelle et l'utilisation de données imprécises, incertaines et parfois contradictoires. Ces données proviennent en effet de plusieurs sources (relevés manuels, données historiques, photos aériennes, images satellites), qu'il faut fusionner.

Enfin, le processus se termine par une action sur la culture, posant des problèmes classiquement rencontrés dans le machinisme agricole, dont la nature dépend du type d'application localisée.

Dans le cas d'un matériel de pulvérisation, l'action consiste à faire varier une dose de produit en modulant, soit le débit du produit pour les matériels classiques, soit la concentration de principe actif dans les dispositifs à injection directe.

Le contrôle de la dose pulvérisée en temps réel est rendu difficile par des phénomènes hydrauliques transitoires et de retard. Dans le cas d'une action systématique plante par plante, comme le désherbage des cultures maraîchères ou l'application d'herbicides dans les cultures fruitières, il est nécessaire d'amener le principe actif (ou l'actionneur) sur l'endroit à traiter. Cette difficulté se double d'un problème de stabilité avec la vitesse d'avancement de la machine et les perturbations dues aux irrégularités du sol.

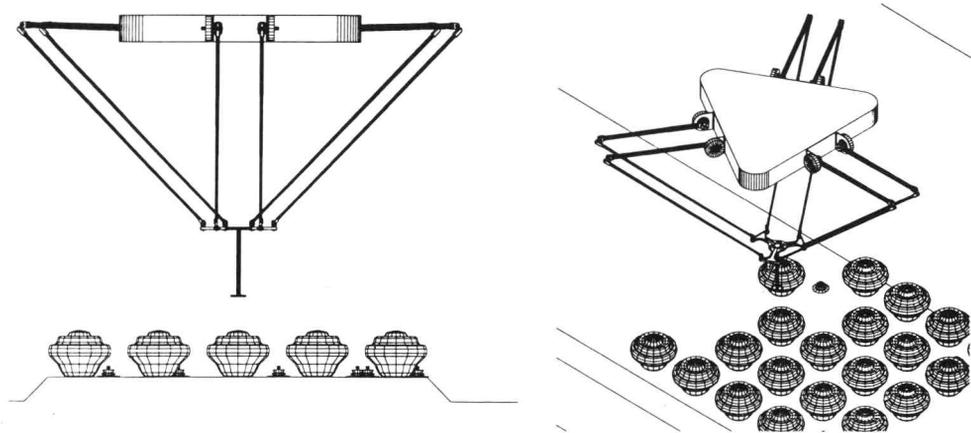
Désherbage non chimique des cultures maraîchères

Ce premier exemple de recherche en application localisé est issu du projet européen PATCHWORK⁽¹⁾ qui intéresse la réduction ou l'élimination des désherbants chimiques dans l'agriculture. Ce projet concerne les grandes cultures (céréales, fourrages, etc.) et les cultures dites "en ligne" (maraîchage, horticulture, etc.).

L'objectif est de concevoir un outil tracté capable de détruire toutes les mauvaises herbes d'une culture, sans produit chimique. Le mode de destruction que nous avons choisi d'expérimenter est la décharge électrique à haute tension (quelques dizaines de milliers de Volt), comme cela a déjà été expérimenté de manière non localisée (4, 5, 6). Les parties du projet relevant de cet article concernent la détection des adventices à détruire et le mode d'application de la décharge électrique (la phase de prise de décision est ici très réduite).

La détection des mauvaises herbes sera faite par un traitement d'image fournie par une caméra. Cette phase du projet n'a pas encore été abordée. Nous pensons explorer la possibilité de ne pas reconnaître chaque mauvaise herbe individuellement, mais plutôt d'isoler la plante à conserver. Ceci nous permettrait d'utiliser notre expérience en matière de traitement d'images pour la cueillette des fruits.

Nous avons choisi de résoudre les problèmes d'application localisée par une solution robotique. Nous avons donc conçu un bras rapide et léger, basé sur une structure parallèle décrite (7), et illustré par la figure suivante :



(1) Projet PATCHWORK : "Reducing or eliminating agro-chemical inputs in efficient production of high quality produce with conventional, sustainable and organic farming systems"
Partenaires : Silsoe Research Institute (GB) - Universidad Politecnica de Valencia (SP) - Instituto alenciano de Investigaciones Agrarias (SP) - Danish Institute of Plant and Soil Science (DK) - Cemagref, division GEA Montpellier (F)

Afin de permettre la destruction de la mauvaise herbe, l'électrode doit rester stable pendant une durée d'une demi-seconde, pendant que le tracteur continue d'avancer. Ceci impose au système de commande du bras de contrebalancer, en temps réel, les perturbations dynamiques (roulis, tangage et lacet) induites par le sol. Deux solutions sont alors classiquement utilisables : la mesure et la prise en compte des accélérations, ou le recalage permanent de la cible par vision artificielle (tracking). Ces deux principes ont fait la preuve de leur efficacité mais requièrent, pour permettre des vitesses d'avancement raisonnables, des composants très onéreux. Nous avons donc choisi de les faire coopérer et ainsi d'utiliser des accéléromètres classiques et des moyens de vision artificielle limités (caméra CCD et micro-ordinateur PC). Le principe de la commande revient donc à capter les mouvements de la plate-forme pour entretenir les coordonnées de la cible à détruire, et à recalculer périodiquement la dérive des capteurs par une prise d'image.

Un travail de thèse doctorale portant actuellement sur ce point particulier a montré sur simulation informatique la faisabilité d'une telle architecture. Les tests sur machine seront effectués durant l'année 1995.

Fertilisation localisée

Ce deuxième exemple est issu du projet européen IN SPACE⁽²⁾ dans lequel sont notamment impliqués le Cemagref et l'ITCF. Son but est de développer les technologies nécessaires et d'évaluer l'intérêt technico-économique d'une prise en compte de la variabilité des sols au sein d'une même parcelle dans l'apport de la dose de fertilisant.

La variabilité des parcelles peut être révélée en dressant des cartes de rendement en grain directement à partir de la moissonneuse-batteuse. La figure 1 présente les rendements mesurés en 1993 dans le Val d'Allier sur une parcelle de maïs irriguée, conduite de manière classique. On s'aperçoit que les rendements varient dans un rapport de un à deux entre les zones à faible potentiel et les zones à fort potentiel.

Le schéma de la figure 2 montre ce que pourrait être le processus pour déterminer les cartes de fertilisation. Des mesures additionnelles comme la détermination de la quantité de biomasse par radiométrie, par exemple, faites lors des épandages ou précédemment à celui-ci (non représentées sur le schéma) pourraient être intégrées afin d'ajuster les quantités selon l'état de développement de la culture dans les différentes zones.

(2) Projet IN SPACE : "Reduced fertiliser input by a integrated, location specific monitoring, support and application system"

Partenaires : Cemagref, division TMA Clermont-Ferrand (F) - Université de Louvain (B) - Silsoe Reserach Institute (GB) - Université de Wageningen (NL)

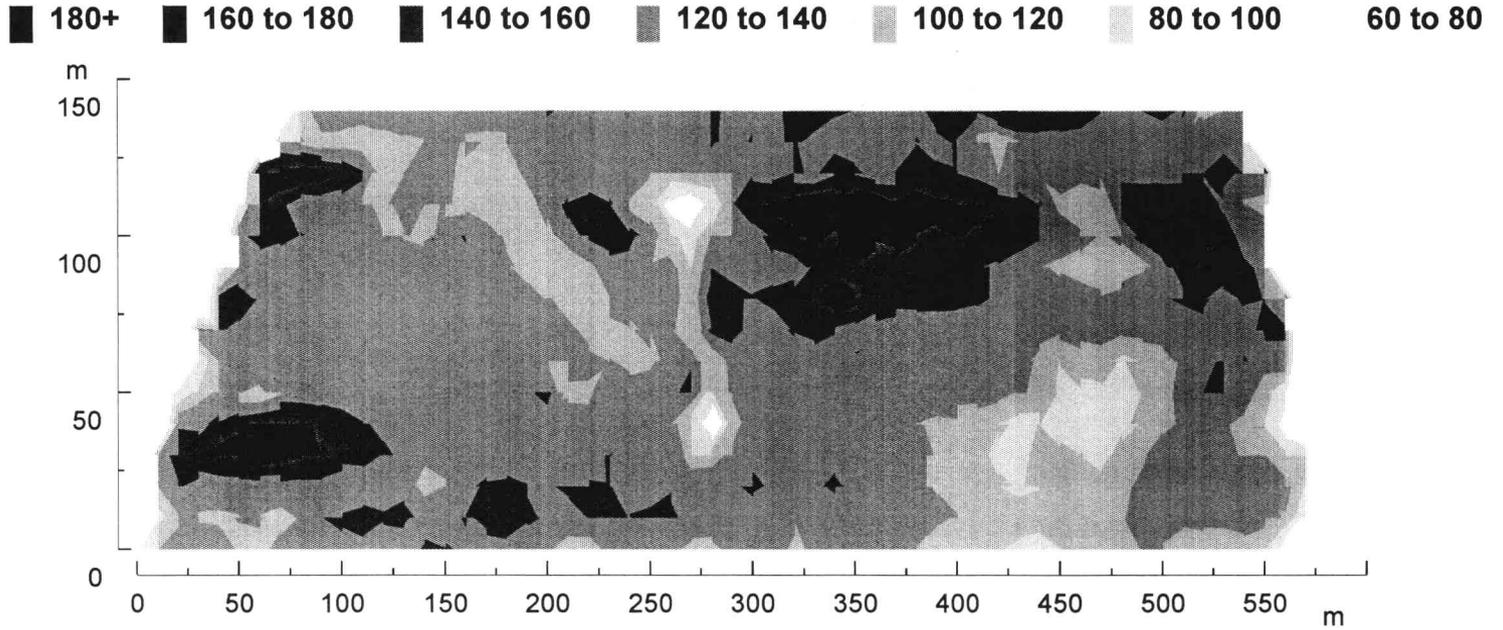


Figure 1 - Cartographie des rendements en maïs d'une parcelle de 8 ha
unités : en quintaux par hectare

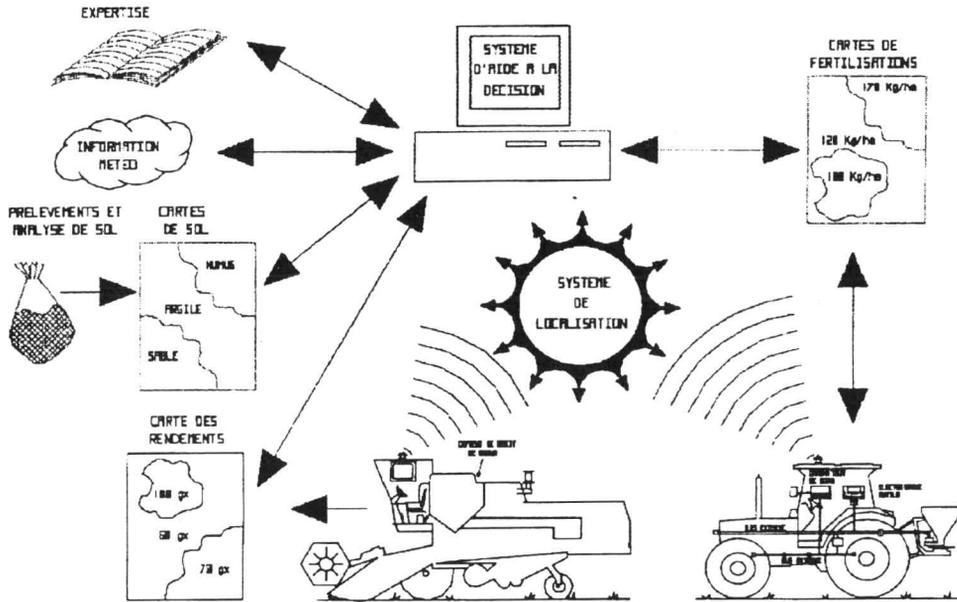


Figure 2 - Processus pour déterminer les cartes de fertilisation

Un des éléments technologiques essentiel à mettre en œuvre pour développer ce principe est de disposer d'un système de localisation de l'épandeur dans la parcelle (8, 9).

La première solution qui a été développée par certains constructeurs d'épandeurs est de mesurer la distance parcourue par le tracteur le long des lignes de traitement. Les doses à apporter sont donc associées à une position sur une ligne de traitement donnée. L'avantage de ce principe de localisation relatif est la simplicité, un capteur de déplacement placé sur une roue ou un radar suffit. Par contre, il nécessite de parcourir les lignes toujours dans le même sens et l'intervention fréquente de l'opérateur est requise pour spécifier le début de chaque ligne et pour l'identifier. Ce système n'est pas utilisable pour établir les cartes de rendement sur les moissonneuses-batteuses et la mise en relation des différentes cartes n'est pas aisée.

L'apparition du système de positionnement global par satellites (GPS)⁽³⁾ ouvre de nouvelles voies d'applications notamment dans le domaine civil et bien entendu pour l'application localisée des intrants en agriculture. Actuellement, il existe des récepteurs sur le marché grand public pour un prix compris entre 5 000F et 10 000F qui permettent de se localiser à une centaine de mètres près, quel que soit le lieu du globe où l'on se trouve.

(3) GPS : Global positioning system

Pour atteindre des précisions de l'ordre du mètre, il est nécessaire d'utiliser le GPS différentiel. Le principe est de placer un second récepteur GPS sur un point fixe connu. Ce récepteur calcule les corrections à apporter sur les positions mesurées sur le mobile. Pour disposer en temps réel de positions corrigées, il faut établir une liaison radio entre la station fixe et le mobile.

Du fait de la nécessité d'un deuxième récepteur et de la liaison radio, le coût d'une solution GPS différentiel est de l'ordre de 100 KF à 200 KF. La mise en commun de station de référence pourrait faire baisser ce prix notablement. L'utilisation de récepteurs GPS est devenue une réalité dans le machinisme agricole, MASSEY-FERGUSON propose ce type de système sur ses machines pour réaliser des cartes.

La précision obtenue en dynamique avec le GPS différentiel n'est pas définie une fois pour toutes. Elle peut être momentanément détériorée par divers phénomènes comme par exemple, le masquage des satellites par une haie d'arbre (figure 3) ou la réflexion des ondes satellites sur le sol. Cela entraîne, soit des pertes de points, soit des sauts brusques dans les positions mesurées.

Pour améliorer et garantir une meilleure robustesse du système, il est possible d'associer à la localisation par GPS, des capteurs de direction et de vitesse

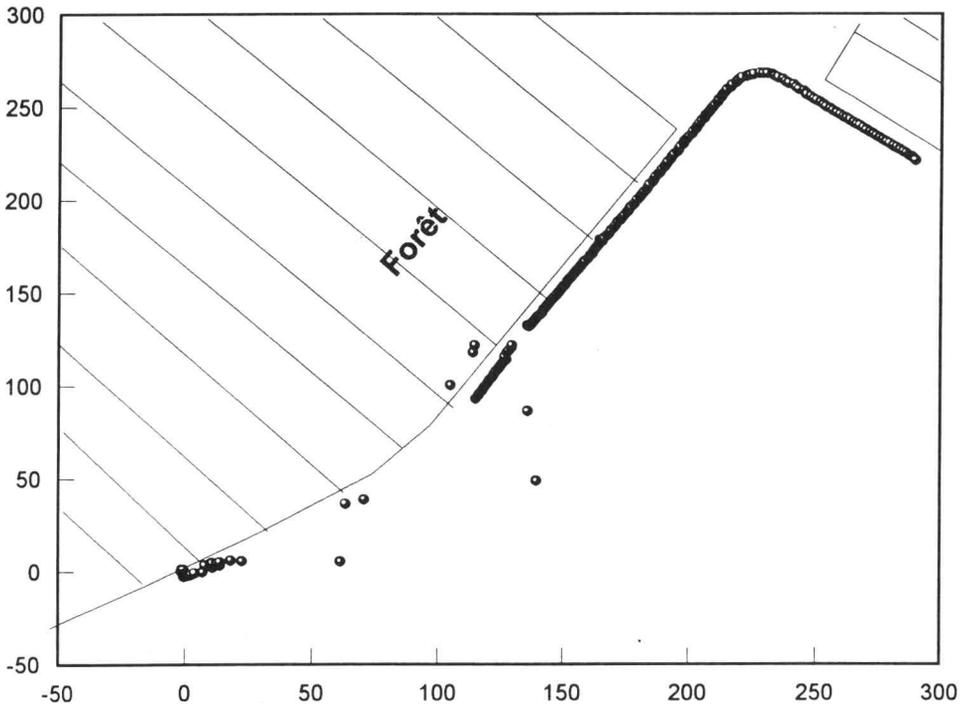
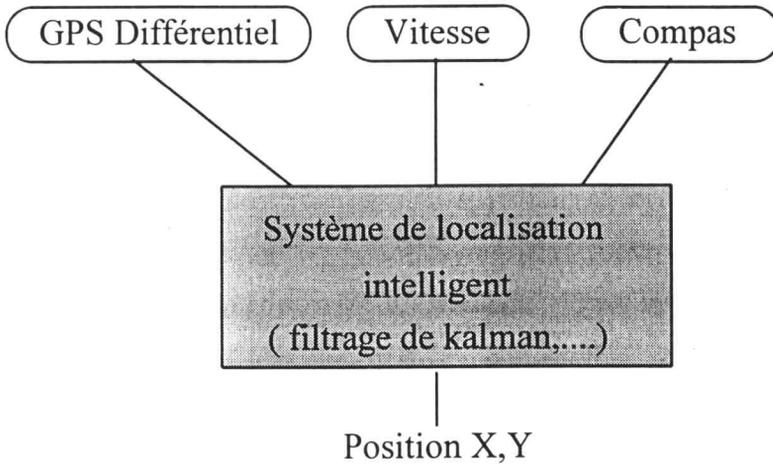


Figure 3 - Essai du GPS différentiel en bordure de forêt

pour développer un système intelligent de localisation, comme schématisé sur la figure suivante :



Pour mettre en œuvre ce concept de modulation de la fertilisation, il sera nécessaire de disposer d'outil capable de gérer les différentes couches d'informations locales sur les parcelles de l'agriculteur. Ces systèmes existent, ce sont les Systèmes d'informations géographiques (SIG) qui peuvent éditer, stocker, analyser des cartes. Cette possibilité commence à apparaître sur les logiciels de gestion parcellaire qui peuvent aujourd'hui afficher et éditer les plans parcellaires de l'exploitant dans le but d'améliorer le confort d'utilisation. Si l'intérêt de la modulation de la fertilisation est prouvé, ce concept sera certainement une source de développement des progiciels agricoles.

L'ensemble des systèmes impliqués devront pouvoir dialoguer entre eux et échanger les informations. Les nouvelles perspectives données par les normalisations en cours (CAN, dictionnaire de données) seront incluses dans le programme de recherche pour développer un système intégré.

Désherbage par tache des grandes cultures

Ce troisième exemple concerne le volet "grandes cultures" du projet européen PATCHWORK. L'objectif est de moduler la dose de dés herbant délivrée à chaque endroit d'une parcelle, en se basant sur la notion de taches de mauvaises herbes (patch spraying).

La perception de ces taches est assurée par la liaison d'une cartographie et d'un système de localisation par satellite (GPS), comme pour le projet IN

SPACE précédemment décrit. Les données cartographiques, stockées dans un SIG (IDRISI) proviennent de deux sources :

- d'une part, les données des campagnes précédentes (localisation et formes des taches) sont mises à jour par des modèles stochastiques de germination, dispersion et compétition tenant compte des doses apportées, des données météorologiques, des rendements, etc.
- d'autre part, un traitement d'images aériennes de la parcelle, prises peu de temps avant le traitement, fournit des données susceptibles de corriger la base de données historiques. Ces images sont réalisées au moyen de caméras embarquées dans un modèle réduit d'avion radio-commandé. Afin de mieux séparer les taches de mauvaises herbes de la culture, deux types d'image sont utilisés : dans le proche infrarouge et dans le visible.

Une difficulté particulière, liée à la nature des données stockées, nécessite une recherche spéciale : il s'agit du traitement de l'imprécision et de l'incertitude qui entachent inévitablement les données de localisation des taches et de densité de mauvaises herbes. Certaines fonctionnalités du SIG utilisé, basées sur des calculs Bayesiens, pourront être mises en œuvre dans la phase de prise de décision pour répondre à ce problème,

Au niveau de la dernière phase du processus, consistant à contrôler en temps réel la dose délivrée par le matériel de pulvérisation, la difficulté majeure réside dans l'évaluation du temps de réponse entre l'ouverture d'une électrovanne et l'arrivée au sol du produit. Un nouveau système d'injection directe a été développé au Silsoe Research Institute, partenaire britannique du projet (10). Les essais en laboratoire avec des solutions salines, utilisant des mesures de conductivité électrique, ont montré que le temps de réponse pouvait être réduit à environ 0,2 seconde. Ce résultat est encourageant puisqu'il représente, pour une vitesse d'avancement de 12 km/h, une distance de 67 cm.

Conclusion

Le concept d'application localisée est un des nombreux éléments qui contribueront à la naissance d'une agriculture nouvelle, tournée vers la qualité et le respect de l'environnement. Si les intérêts économiques et environnementaux de cette technique n'ont pas encore été clairement quantifiés, les différents projets de recherche présentés dans cet article montrent une faisabilité technique encourageante.

Références bibliographiques

- (1) **RÉAL B., et al.**, 1993. Essais de désherbage mécanique des céréales à paille, du maïs et du pois protéagineux. Congrès IFOAM sur la Maîtrise des adventices par voie non chimique. Dijon, pp. 235-241.
- (2) **LEBLANC M.-L., et al.**, 1993. Evaluation des sarclages et des cultures intercalaires comme méthodes alternatives de désherbage dans le maïs grain. Congrès IFOAM sur la Maîtrise des adventices par voie non chimique. Dijon, pp. 263-267.
- (3) **ASCARD J.**, 1992. Harrowing at night - Influence on the emergence of weeds. 33rd Swedish Crop Protection Conference. Weeds and weed control. pp. 163-172.
- (4) **HOWE D.**, 1977. Zap! Another way to control weeds. *Nebraska farmer* June 18 of 1977.
- (5) **WILSON R.-G., ANDERSON F.-N.**, 1981. Control of three weed species in sugar beets (*Beta vulgaris*) with an electrical discharge system. *Weed Science Society of America Journal*. 29 pp. 93-98.
- (6) **KAUFMAN K.-R., SCHAFFNER L.-W.**, 1982. Energy and economics of electrical weed control. *Trans. Amer. Soc. Agric. Engin.* 25 pp. 297-300.
- (7) **PIERROT F., et al.**, 1991. HEXA : a fast six DOF fully parallel robot. Proceedings ICAR'91, Pisa, Italy, Vol 2, pp. 1158-1163.
- (8) **LE BARS J.-M., BACHOTET N.**, 1993. La localisation d'engins agricoles. Evaluation de trois techniques. *BTMEA* n° 69.
- (9) **AUERNHAMMER H., MUHR T.**, 1991. GPS in a basic role for environment protection in agriculture for the 21st century. Chicago - Proceedings pp. 394-401.
- (10) **STAFFORD J.-V., MILLER P.C.H.**, 1993. Spatially selective application of herbicide to cereal crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 9 pp. 217-229.

Note de synthèse bibliographique

Nicole Delherbe

*Cemagref, Direction de la communication
et de la valorisation*

BP 22, 92162 Antony Cedex

Tél. (1) 40 96 61 21 - Fax (1) 40 96 61 39

Introduction

Très souvent, les produits phytosanitaires et les engrais sont accusés d'être à l'origine de diverses pollutions des sols et des eaux.

Afin de préciser ce contexte, quelques données générales sont rappelées concernant les traitements. Puis, sont présentés la réglementation en vigueur, les différents types de traitement et le matériel de pulvérisation.

Cette note, pour la fertilisation, ne concerne que les engrais minéraux. La prévention des pollutions agricoles d'origine animale a été abordée lors du colloque tenu dans le cadre d'INTERSIMA 94, en mars 1994 (actes du colloque publiés par la Dicova).

En ce qui concerne la fertilisation, des données d'encadrement présentent le secteur des engrais. Des tentatives de réduction de la fertilisation sont relatées, puis un point sur le matériel de fertilisation est établi.

La dernière partie met en évidence des actions d'information dans ce domaine. Ce sont les activités du COMIFER, du CORPEN, de Ferti-mieux et de FARRE.

Les traitements phytosanitaires

Données générales (1)

Entre 1970 et 1990, le volume des produits phytosanitaires consommés a été multiplié par 3,8. En 1991, on a assisté à une régression de 6 % en volume, une baisse de 10 % était envisagée pour 1992. On peut s'interroger sur les causes d'une telle progression. Pour beaucoup d'agriculteurs, les traitements phytosanitaires systématiques apparaissent comme indis-

pensables pour obtenir de très hauts rendements. Néanmoins, une grande diversité existe selon les exploitations, les régions, les productions et les années.

Depuis peu, la nature des programmes de traitement évolue pour des raisons économiques, des préoccupations environnementales et un souci de la qualité du produit. Mais en amont de l'utilisation sur le terrain de tels produits, quel est le profil de l'industrie phytosanitaire ?

La croissance mondiale de ce marché était de 11% entre 1960 et 1969, de 7,6 % de 1970 à 1979, de 3,1 % entre 1980 et 1989. De 1990 à 1993, l'évolution est négative avec - 2,9 % par an. Les seules perspectives de développement de ce marché sont en Amérique du Sud et en Europe de l'Est. Au niveau mondial, 82 % du marché phytosanitaire sont réalisés par quarante compagnies. De plus en plus, les acteurs de la filière se regroupent, principalement dans le but de partager les coûts de recherche et développement.

Pour sortir un produit d'un laboratoire et obtenir son autorisation (le numéro d'homologation noté sur le bidon identifie le produit), huit à dix ans sont nécessaires. Puis, le retour sur investissement demande quatre à cinq ans. Et il reste à la société huit à dix ans pour la rentabilisation. La durée de protection du produit sous brevet est de vingt ans (la mise sous brevet est faite dès la découverte du produit, dix ans avant la commercialisation). A expiration, le produit peut être fabriqué par quiconque, n'importe où et être vendu sous des marques différentes.

L'UIPP (Union des Industries de la Protection des Plantes) a demandé, auprès de la Commission Européenne un certificat complémentaire de protection de cinq ans. Actuellement, en France, 6 000 à 7 000 produits antiparasitaires agricoles sont disponibles (soit 8 000 matières actives différentes).

Des contraintes liées à l'environnement ou à la sécurité de l'utilisateur ont encouragé le lancement de nouvelles formulations. Des progrès ont été accomplis pour les emballages, devenus plus faciles à utiliser, à vider, à rincer ou à détruire. Mais la recherche n'a pas encore apporté de solutions pour les virus ou les bactéries. Elle provient pour un tiers des Etats-Unis, un tiers du Japon et un tiers d'Europe.

Au-delà de la recherche, quelles sont les obligations réglementaires ?

La réglementation

Nous examinerons successivement l'homologation, la distribution et l'utilisation par l'agriculteur. La directive européenne 91/414/CEE fixe les conditions d'homologation des produits phytosanitaires. Chaque matière active

doit être inscrite sur une "liste positive", et chaque spécialité commerciale doit être homologuée dans chaque pays. Pour la première phase, un dossier toxicologique et écotoxicologique, rédigé selon certaines recommandations, est nécessaire. Le coût d'un dossier d'homologation complet est évalué à 50 millions de francs. Les matières actives déjà utilisées aujourd'hui devront toutes être réexaminées dans un délai de dix ans.

La dose homologuée est une dose maximale répondant aux exigences de la loi, vis-à-vis de la santé des utilisateurs et des consommateurs et vis-à-vis de l'environnement. Cette dose est inscrite au Registre de l'Homologation. Elle figure obligatoirement sur les étiquettes, les emballages et sur les documents accompagnant le produit. L'homologation concerne un produit pour un usage donné. Elle ne valide, ni ne cautionne aucun programme de traitement. A la dose proposée, le produit doit être concurrentiel, efficace et sélectif.

Le décret n° 94-863 (paru au Journal Officiel du 7/10/1994) porte application de la loi n° 92-533 relative à la distribution et à l'application par des prestataires de services des produits antiparasitaires à usage agricole et des produits assimilés. Au plus tard au 1^{er} janvier 1996, chaque point de vente ou chaque centre d'application de produits phytosanitaires devra compter dans ses effectifs au minimum une personne ayant reçu l'agrément pour dix employés. Pour recevoir la certification, différentes possibilités existent selon la formation initiale (ingénieur en agriculture ou certains BTS), l'expérience professionnelle (cinq ans dans ces fonctions) ou le suivi d'une formation adaptée (dans un centre agréé par le ministère de l'Agriculture et de la Pêche). Ce certificat est valable cinq ans, renouvelable après examen du dossier. En cas de non-respect de la loi, des sanctions sont prévues.

Au niveau de l'agriculteur, deux textes officiels sont en préparation. Le premier, à Bruxelles, concerne la mise en place d'un contrôle technique obligatoire pour les pulvérisateurs et une formation pour les utilisateurs. L'objectif visé est une remise à niveau des agriculteurs pour une meilleure utilisation de leurs pulvérisateurs et une bonne connaissance des produits.

Le deuxième texte, français, obligerait tout professionnel à suivre une formation théorique lourde (deux cents heures) pour être autorisé à pulvériser des pesticides. Cette obligation concernerait les sociétés de type SNCF ou EDF, mais aussi les agriculteurs prestataires de services.

Les différents types de traitement

Qu'entend-on exactement par traitement ? Et quelles sont les conditions de la réussite de cette action ?

Trois types de protection des plantes peuvent être distingués :

La protection systématique par rapport à un calendrier préétabli. Il s'agit de traitements sans référence à l'état des cultures (emploi systématique) et sans tenir compte de la pression parasitaire, ainsi on préjuge de la nécessité d'un traitement. Ces "traitements de précaution" sont à limiter : ils engendrent des coûts, risquent de provoquer l'apparition de résistance chez les ravageurs et augmentent le risque d'impact sur l'environnement et la santé humaine,

La protection raisonnée. La démarche suivante est à respecter : identification des organismes nuisibles justifiant une intervention, connaissance des mécanismes biologiques propres à la culture et aux organismes, observation par l'agriculteur des seuils à partir desquels il doit intervenir en fonction de ces objectifs. Cette protection constitue un progrès considérable par rapport à la protection systématique,

La protection intégrée. Cette méthode repose sur l'idée que la protection raisonnée ne suffit pas et qu'elle doit être mise en relation avec l'ensemble des décisions de l'agriculteur pour aboutir progressivement à dégager de bonnes pratiques incluant des choix relatifs au système de production. Dans ce cas, l'agriculteur doit trouver auprès des organismes de conseil tous les éléments qui lui permettent de disposer et de maîtriser de nombreux paramètres de décision.

Un type de protection étant adopté, préalablement à tout traitement, on doit se poser un certain nombre de questions. Cinq étapes sont à respecter : (exemple cas du désherbage de céréales)

1. **à quelle époque traiter ?** L'époque de traitement doit être la plus précoce possible, avant que les adventices ne concurrencent la culture.
2. **quelle est la flore de la parcelle ?** Pour désherber au plus juste, il est essentiel d'identifier la flore de chaque parcelle, dès que possible.
3. **quel est le produit le mieux adapté ?** L'identification précise de la flore va permettre de choisir le produit ou l'association ayant le spectre d'action le plus adapté, donc le plus efficace. Au besoin, on ciblera quatre ou cinq mauvaises herbes. Le choix du produit sera effectué selon la flore de la parcelle, le mode d'action du produit, le type de sol et le prix.
4. **quelle dose apporter ?** Elle sera adaptée en tenant compte de l'adventice la plus difficile à détruire et du stade le plus avancé.
5. **comment ?** Un pulvérisateur bien réglé sera utilisé. On tentera d'intervenir dans les heures de la journée où la température et l'hygrométrie sont favorables à l'efficacité du produit choisi.

En plus de ces préoccupations de base, le problème de la réduction des doses peut se poser. La question est la suivante : dans le cas de fongicides, pour atteindre l'optimum économique, vaut-il mieux réduire les doses ou diminuer le nombre des interventions en tirant parti des persistances d'action des molécules les plus performantes ?

Il apparaît que la réponse à cette question est très nuancée. Si on opte pour une réduction des doses, il faudra rester attentif à tout signe de redémarrage des maladies. Si la situation présente un très fort risque d'évolution des maladies, toute réduction de dose est à proscrire.

Le matériel de pulvérisation (2, 3)

La dose étant déterminée, des précautions sont à prendre au niveau du pulvérisateur. En aucun cas, il ne faut en négliger l'entretien. Cependant, il peut y avoir une usure générale. Il faut changer son pulvérisateur, dès que celui-ci ne permet plus d'assurer un traitement avec une précision de doses et une régularité de répartition suffisantes. Plusieurs indices peuvent révéler cette usure : fluctuation de la pression, pompe qui n'assure plus le débit, instabilité de la rampe, corrosion du châssis et de la rampe.

De plus, pour des raisons de protection de la santé de l'utilisateur et/ou de l'environnement, un renouvellement du pulvérisateur peut être envisageable. Notons que les nouveaux matériels comportent une trémie d'incorporation, une cuve de rinçage, un lave-mains et des commandes à distance des alimentations de rampes. A court terme, de tels équipements pourraient être imposés légalement.

En cas de renouvellement, le volume de la cuve va dicter le choix entre pulvérisateur porté et pulvérisateur traîné. Avant d'acquérir un automoteur, son coût d'utilisation est à simuler. Si le renouvellement est à exclure, il est nécessaire d'intervenir pour prévenir toute défaillance, notamment au niveau du volume de bouillie et de la répartition transversale. Il est conseillé de réaliser un réglage volume/hectare au moins une fois par an.

Un pulvérisateur en bon état, c'est :

- un débit des buses qui ne varie pas plus de 10% d'un extrême à l'autre,
- un colmatage complet des fuites au niveau des tuyauteries,
- une rampe solide, droite, réglable facilement en hauteur de 0,65 à 0,90 m au-dessus de la cible,
- un manomètre en bon état,
- une pompe d'un débit suffisant, mais non excessif et dont la pression est régulière,

- une tuyauterie en bon état,
- un régulateur fiable.

Ces éléments doivent être vérifiés au début de chaque campagne, remis en état ou remplacés si nécessaire.

Certaines pièces des pulvérisateurs ont beaucoup évolué afin d'améliorer l'efficacité des traitements. On peut citer :

- la cuve : sa forme est étudiée pour faciliter le mélange, la vidange complète et le rinçage,
- le filtre d'aspiration, pour éviter le bouchage des buses de petit calibre,
- la pompe : son débit est choisi selon le dosage/hectare, la largeur de la rampe et la vitesse souhaitée. Une réserve de débit correspondant à 3% de la capacité de la cuve doit être prévue. Les dispositifs de régulation du débit sont de trois types, avec des variantes liées à l'électronique :
 - les systèmes à pression constante (les plus simples),
 - les débits proportionnels au régime moteur (DPM), les plus employés en grandes cultures,
 - les débits proportionnels à la vitesse d'avancement (DPA), par action mécanique ou électronique.

De plus en plus, les contrôles et les commandes sont effectués à partir du poste de conduite. Des capteurs de vitesse, de régime, de pression et de débit permettent une régulation contrôlée en fonction des paramètres renseignés.

Le relevage des rampes se fait de plus en plus au moyen de vérins hydrauliques. Le positionnement automatique de la rampe peut aussi être guidé par ultrasons : cette innovation du Cemagref est développée par Agrotronix et Evvard.

Des solutions ont été trouvées afin de limiter la dérive, c'est-à-dire lorsque les produits de traitement sont déviés de leur cible (4). Dans les zones venteuses, on peut utiliser un système d'assistance d'air. Il est destiné à supprimer le panache que l'on observe derrière les pulvérisateurs. Ce rideau limite la dérive, augmente la vitesse de chute des gouttes les plus fines et permet de traiter dans des conditions plus venteuses qu'avec un appareil conventionnel. Plusieurs constructeurs proposent un tel dispositif (le Twin de Hardi, par exemple).

Bien que le matériel de pulvérisation ait beaucoup progressé vers un meilleur respect de l'environnement, la tendance générale est à la limitation de l'emploi des produits phytosanitaires.

On peut citer les possibilités techniques suivantes :

- des méthodes précoces de diagnostic,
- le développement de la lutte biologique,
- l'utilisation de variétés résistantes, obtenues par l'amélioration des plantes classiques ou par transfert de gènes.

Les produits eux-mêmes ont beaucoup évolué en raison de préoccupations environnementales, de contraintes réglementaires et de problèmes techniques. Les matières actives actuelles sont plus propres et plus performantes qu'autrefois et elles sont utilisées en doses plus faibles à l'hectare.

La fertilisation

Données générales (1, 5)

La consommation des engrais de l'agriculture a connu une croissance quasi-exponentielle dans les années 1950 et 1960 en raison du mouvement général de modernisation du secteur et de la baisse relative de leur prix. Mais quelle est la tendance actuelle ?

Six points principaux sont à retenir :

- une forte réduction des utilisations d'engrais :
 - en France et dans toute la CEE,
 - une baisse de 28% des achats d'engrais depuis 1990,
 - une forte diminution des engrais phosphatés,
 - une dégradation des rapports de prix intrants/livraisons depuis 1970.
- une nette croissance de la productivité des engrais depuis 1980
 - les achats d'engrais ont enregistré une réduction très brutale de 1974 à 1993, leur valeur a été réduite de moitié,
 - depuis 1980, la croissance des livraisons végétales a été plus rapide que celle des engrais,
 - la réduction des achats d'engrais ne s'est pas faite au détriment de la croissance des livraisons végétales.
- des niveaux d'utilisation des engrais très différents d'une région à une autre,
- une plus grande maîtrise des engrais (et des produits phytosanitaires) chez les céréaliers,
- une réduction des achats d'engrais par les exploitations agricoles motivée par les contraintes économiques,
- une forte érosion des effectifs dans l'industrie française des engrais (baisse de 23% du chiffre d'affaires de la branche depuis 1987).

Mais au-delà de ce constat des chiffres, quelle est la situation de la fertilisation ? De plus en plus, on assiste à une évolution des bases du raisonnement de la fertilisation phosphatée et potassique.

Pour l'Institut technique des céréales et des fourrages (ITCF), la préconisation de la dose se fait selon quatre critères principaux : les exigences des cultures, la teneur du sol, le passé de la fertilisation et le devenir des résidus de culture. La combinaison de ces éléments permettra d'établir les situations pour lesquelles seront préconisés ou l'impasse temporaire, ou une fumure d'entretien de l'ordre des exportations, ou un renforcement de fumure (des grilles précises donnent les doses conseillées). De plus, cette préconisation de dose devra être modulée à la parcelle et en tenant compte d'autres facteurs limitants (stress hydrique, état physique...).

Des expérimentations

Malgré des tentatives variées pour raisonner la fertilisation, cette dernière reste souvent désignée comme l'un des responsables majeurs de la pollution. Une agriculture intensive peut-elle se développer sans pollution ? Sans vouloir généraliser, nous relaterons trois expérimentations qui ont connu des résultats tangibles.

Dans le Val de Saône (6)

Cette expérimentation est volontairement limitée à la seule pollution par les nitrates, en systèmes de grandes cultures. L'impact de deux stratégies a été étudié.

La première méthode consiste à revoir les règles de gestion des systèmes de culture en procédant à une série d'ajustements (choix des objectifs de rendement, interculture, travail du sol...), mais il est impossible d'objectiver la gestion des risques de pollution qu'elle engendre.

La seconde méthode remet en cause l'assolement en réduisant la part des cultures de printemps au profit des cultures d'automne, voire de la prairie permanente. Un tel changement d'assolement a un coût élevé de mise en œuvre, mais garantit plus sûrement la réduction du risque de pollution, surtout dans le cas d'une bonne gestion du gel fixe.

Dans la pratique, sur le plan économique, il sera nécessaire de rechercher un compromis conciliant ces deux stratégies.

En Bretagne (7)

Il s'agit du cas précis d'une exploitation porcine. On a étudié les conséquences économiques et la faisabilité de cinq hypothèses de pratiques cul-

turales visant à limiter le risque de lessivage par les nitrates : raisonnement de la fertilisation, gestion optimale du lisier, mise en place de cultures intermédiaires, gestion des pailles et système global de protection de l'environnement. Il apparaît qu'il est possible de limiter sensiblement les risques pour l'environnement en raisonnant la fertilisation et en assurant une répartition optimale du lisier sur l'ensemble de l'exploitation. Le résultat pourrait toutefois être amélioré en intégrant des modifications plus profondes du système d'exploitation (assolement, agrandissement ...), mais leur mise en oeuvre est complexe et contraignante.

A Auradé (Gers) (8)

Quarante agriculteurs du bassin versant d'Auradé sont regroupés dans une association. Ils dosent leurs engrais avec précision pour éviter les excès à la fois coûteux et dangereux. Après la récolte, ces céréaliers retardent l'enfouissement des chaumes pour éviter de laisser les sols nus trop longtemps et limiter le lessivage d'automne. Ils ont deux objectifs : doser l'azote avec une fertilisation raisonnée et piéger les nitrates. Après cinq années de telles pratiques, le taux de nitrates qui atteignait presque 100 mg/l a été divisé par deux. Mais ces bons résultats sont loin d'être généralisables. En effet, Auradé est dans un contexte particulier : absence de nappe phréatique, terrain argilo-calcaire, zone de collines et de bas-fonds, eaux superficielles.

Chacune de ces expérimentations est riche d'enseignements, mais malgré des résultats concluants, elles restent géographiquement limitées.

Le matériel de fertilisation (9)

Les distributeurs d'engrais font également l'objet de recherches attentives. Le but est d'obtenir le maximum d'efficacité avec le minimum de pertes. Toute la chaîne d'épandage est concernée : de la fabrication de l'engrais jusqu'à la régulation de l'épandage, en passant par la mise au point de contrôle de la régularité de l'épandage.

Cependant, un épandeur même ancien doit faire l'objet de réglages précis. Cette opération sera effectuée en utilisant les engrais les plus fréquemment employés ou ceux qui ont le plus d'effet (engrais azotés). Les épandeurs centrifuges sont les moins chers du marché, mais nécessitent d'une part, l'achat d'engrais très homogènes, et d'autre part, les réglages les plus précis.

Trois types de défaut sont courants sur ce type de matériel :

- La dose apportée à l'hectare n'est pas conforme : un réglage du débit de l'appareil est à effectuer.

- On constate une mauvaise symétrie d'épandage (alternances de bandes claires et foncées dans le couvert végétal) : l'état des pales et la hauteur des chandelles sont à vérifier.
- La largeur d'épandage est mal adaptée : elle est en général toujours supérieure à la largeur de travail. Les réglages varient selon l'appareil et la nature des engrais.

Sur les épandeurs pneumatiques, les défauts de réglage sont moins fréquents. Néanmoins, des vérifications s'imposent (diffuseurs, courroies, tubes,...)

Rappelons que la précision de l'épandage, que ce soit dans sa répartition transversale ou longitudinale est primordiale. Conscients de l'importance de cette répartition, le Cemagref et des constructeurs, suivant des résultats de travaux antérieurs menés pour l'OCDE, ont mis au point une norme destinée à mesurer, selon un protocole déterminé, les irrégularités transversales. Ainsi, l'exigence minimale de précision transversale est fixée à 15 %.

L'électronique embarquée va permettre de développer la fertilisation raisonnée. En cours d'épandage, la dose fertilisante sera ajustée en fonction du potentiel réel de rendement offert par la nature du sol, rendement mesuré lors de la récolte précédente.

Suite aux préoccupations liées à l'environnement, une réflexion est menée afin d'identifier des possibilités techniques permettant de limiter l'emploi des engrais. Mais il est nécessaire de s'assurer de leur faisabilité, de leur rentabilité et de leur acceptabilité par les agriculteurs.

Parmi ces possibilités, on peut citer :

- le développement des variétés culturales valorisant mieux les engrais,
- une utilisation plus répandue des boues issues des stations d'épuration et d'industries,
- l'application plus large des principes de la fertilisation raisonnée et de la méthode du bilan pour l'azote,
- l'implantation d'une culture intercalaire pour éviter le lessivage des nitrates pendant l'interculture.

A plus long terme, l'évolution technique de l'agriculture semble s'orienter vers une adaptation plus fine des apports d'intrants aux besoins des cultures.

Des débuts de solutions techniques existent pour limiter l'emploi des engrais et des phytosanitaires. Des solutions économiques pourraient être complémentaires (incitations financières à la diminution des quantités d'intrants utilisés, taxation des engrais ...). Mais de telles évolutions sont également liées aux effets des changements de politique agricole comme le gel des terres, la baisse des prix ou la réforme de la PAC.

Des actions d'information

La présence des nitrates dans les nappes phréatiques a été souvent mentionnée par les médias. Mais pour aller plus loin que la sensibilisation de l'opinion publique, il existait, au début des années 80, un besoin de coordination des moyens et de l'information. Dans ce contexte, sont nés des comités spécifiques : le COMIFER, le CORPEN et l'opération Ferti-mieux, puis des associations comme FARRE.

Le COMIFER (10)

Il s'agit du Comité français d'études et de développement de la fertilisation raisonnée, association née en 1980.

Sa mission est d'organiser et de promouvoir une concertation permanente entre les secteurs d'activité concernés par la fertilisation raisonnée, en vue d'encourager les progrès dans ce domaine, en mettant en jeu tous les moyens scientifiques, techniques et pratiques. Ses activités s'articulent autour de cinq thèmes : favoriser et développer les échanges d'idées, collaborer à l'information du monde agricole, organiser des réunions d'information, collaborer avec les organisations nationales, étrangères ou internationales ayant des préoccupations analogues, encourager les progrès touchant la fertilisation raisonnée.

Le CORPEN (11)

C'est le Comité d'orientation pour la réduction de la pollution des eaux par les nitrates et les phosphates. Il a été créé en 1984, ainsi que la Mission Eau-Nitrates, par les ministères de l'Agriculture et de l'Environnement. Le CORPEN associe les diverses parties concernées. Il confronte les connaissances et les opinions et formule des propositions en s'appuyant sur des groupes de travail. Ainsi sont mis au point des programmes d'action, des orientations, des documents techniques et des brochures de sensibilisation. Parmi ses membres, on peut citer des représentants de la profession agricole, le Syndicat national de l'industrie des engrais, des instituts techniques, des usagers, des élus, des établissements publics de recherche, les Agences de l'eau, les directions concernées des ministères et des personnalités.

L'opération Ferti-mieux (12)

Cette opération décidée en 1990, associe pouvoirs publics et profession agricole, elle est animée et gérée par l'ANDA (Association nationale pour le développement agricole).

Ses objectifs sont au nombre de quatre :

- concilier une agriculture productive et la protection de son environnement tout en maintenant le revenu net de l'exploitation,
- adapter les pratiques agricoles, notamment de fertilisation, des prescripteurs et des agriculteurs pour prévenir la pollution par les nitrates,
- associer techniquement et financièrement de nouveaux partenaires agricoles et non agricoles à la conduite d'opérations locales,
- mettre en place un accompagnement spécifique (scientifique, technique et méthodologique) pour les actions locales de conseil.

La qualité des opérations locales de conseil est reconnue par l'attribution du label Ferti-mieux. Cette opération s'appuie sur un cahier des charges élaboré par le CORPEN. Le résultat escompté, est non seulement une information et une sensibilisation des agriculteurs, mais surtout l'obtention d'un changement effectif des pratiques.

FARRE

C'est le Forum de l'agriculture raisonnée respectueuse de l'environnement. Cette association regroupe des organismes, des sociétés et des agriculteurs.

L'objectif est de promouvoir une agriculture compétitive et respectueuse de l'environnement. Cette agriculture tient compte "des spécificités naturelles locales pour raisonner les pratiques culturales et les techniques d'élevage, la rotation des cultures, le choix des variétés, la fertilisation, la protection des cultures et la santé des animaux, en vue d'assurer la préservation du milieu naturel, des productions de qualité, la rentabilité de l'exploitation et la contribution de l'agriculture à l'économie nationale".

Un réseau d'agriculteurs, céréaliers, viticulteurs, éleveurs, arboriculteurs, maraîchers est en cours de constitution dans toute la France pour développer l'agriculture raisonnée à partir d'une charte. De telles initiatives existent également dans d'autres pays européens.

Perspectives d'avenir

Ces dernières années ont apporté une prise de conscience des risques de pollution d'origine agricole liées à l'utilisation des produits phytosanitaires et des engrais. Une réflexion a alors été lancée tant sur les plans techniques qu'économiques. Certaines expérimentations ont conduit à des résultats significatifs, mais une conjugaison de ces différents moyens s'impose. Parallèlement, des opérations nationales, en vue d'une meilleure information de l'agriculteur, sont menées avec succès. Elles sont complétées par des démarches volontaristes et plus individuelles, comme FARRE.

Références bibliographiques

- (1) **BONNY S., CARLES R.**, 1993. Perspectives d'évolution, de l'emploi des engrais et des phytosanitaires dans l'agriculture française. *Cahiers d'économie et de sociologie rurales*, n° 26, pp. 29-62.
- (2) **LECOCQ R.**, 1994. Pulvérisation : la précision au litre près ! *Grandes cultures infos*, n° 21, pp. 18-21.
- (3) **POTTIER M.**, 1993. Pulvérisateurs : plus sobres et plus propres. *Motorisation*, supplément à *Top cultures*, n° 39, pp. 24-27.
- (4) **BARTHELEMY P., BOUVIER J.-L., JOUY L.**, 1994. Comment limiter la dérive ? *Perspectives agricoles*, n° 194, pp. 79-87.
- (5) **CARAES D.**, 1993. Les engrais : vers une agriculture économe ? *Chambres d'agriculture*, supplément au n° 823, pp. 1-12.
- (6) **KOCKMANN F., RABUT A., FABRE B., GUGLIEMI M.**, 1993. Le coût d'une politique de moindre pollution azotée : application aux exploitations du Val de Saône. *Perspectives agricoles*, n° 186, pp. 72-83.
- (7) **MASSON E., LAURENT F., GUEZENNEC E., SCHMITTER L.**, 1994. Cinq pistes d'amélioration : mises à l'épreuve technico-économique à l'échelle de l'exploitation. *Perspectives agricoles*, n° 191, pp. 99-106.
- (8) **ORTOLI P.**, 1994. Les leçons des agriculteurs d'Auradé. *Agriculture magazine*, n° 97, pp. 24-27.
- (9) **LETHROSNE F.**, 1992. Distributeurs d'engrais : la dose au plus serré. *Grandes cultures infos*, n° 10, pp. 47-49.
- (10) **THEVENET G.**, 1993. La fertilisation raisonnée : du concept du raisonnement aux applications pratiques : la démarche du COMIFER. *Ingénieurs de la vie*, n° 427, pp. 28-35.
- (11) **SEBILLOTTE J.**, 1993. Agriculture moderne et pollution des eaux par les nitrates : l'apport du CORPEN. *Ingénieurs de la vie*, n° 427, pp. 36-37.
- (12) **BARBEZANT M.**, 1992. L'opération Ferti-mieux. *BTI*, n° 8, pp. 21-26.

LOUIS - JEAN
avenue d'Embrun, 05003 GAP cedex
Tél. : 92.53.17.00
Dépôt légal : 119 — Février 1995
Imprimé en France