

## Le désherbage intégré en grande culture : bases de raisonnement et perspectives d'application

Philippe Debaeke

La protection intégrée s'est développée en arboriculture dès les années 70 dans le cadre de la lutte contre les ravageurs des vergers, pour des raisons techniques, économiques et commerciales [1]. En grande culture, en dehors de la lutte biologique contre la pyrale du maïs et de l'introduction de variétés de blé ou de tournesol tolérantes aux champignons pathogènes, il y a peu d'innovations techniques dans le domaine de la protection intégrée ; en revanche, des méthodes de lutte agronomiques sont préconisées [2].

Les raisons qui ont imposé la lutte intégrée en arboriculture s'appliquent aujourd'hui au désherbage des grandes cultures : réduction des coûts de traitement, limitation des résidus d'herbicides dans les sols, les eaux et les produits récoltés, prévention ou contournement des résistances induites par un usage prolongé de certaines matières actives, santé de l'agriculteur. Les limitations actuelles à l'application de méthodes de raisonnement du désherbage tiennent à la difficulté de réaliser des avertissements généraux, la prédiction d'une dynamique d'infestation étant très contingente de l'histoire de la parcelle cultivée [3]. Une deuxième difficulté tient à la diversité des flores (plusieurs espèces concurrentielles, associations floristiques très

diverses), qui complique le travail d'acquisition de références. Enfin, la forte interaction de la flore adventice avec la culture et les techniques culturales (notamment le travail du sol) ne permettent pas de proposer des seuils d'intervention aussi simples et constants que ceux qui sont adoptés dans le cadre de la protection insecticide.

### Notion de désherbage intégré

L'objectif agro-environnemental qui accompagne la réforme de la Politique agricole commune de l'Europe (PAC) ouvre de nouvelles perspectives de mise au point de méthodes de désherbage alternatives dans un contexte de systèmes de culture et de production intégrés [4]. La lutte intégrée contre les mauvaises herbes suppose que l'on passe d'une technique fondée exclusivement sur l'emploi d'herbicides à l'échelle de la culture (sans estimation des impacts éventuels sur l'environnement) à une lutte globale à l'échelle d'une succession de cultures, intégrant la réduction d'intrants, la limitation des pollutions, la protection des organismes utiles et le maintien d'une certaine diversité floristique. L'intégration des méthodes de lutte biologiques, physiques et mécaniques est recherchée dans le cadre de l'élaboration de stratégies de désherbage durables sur le plan agronomique, économique et environnemental [5]. L'objectif est de maximiser la

production de la culture en présence des adventices, plutôt que de viser une éradication, d'ailleurs jamais atteinte en production intensive, car les disparitions d'espèces sont bien souvent compensées par le développement de flores nouvelles (introduction, sélection par le système de culture) [6]. Les mauvaises herbes possèdent en effet plusieurs caractéristiques qui leur permettent de se maintenir durablement dans les systèmes de culture [7] : stock semencier souvent persistant, périodes de germination étalées, croissance rapide jointe à une forte plasticité phénotypique, production semencière précoce et souvent abondante, pollinisation facile et organes de dispersion efficaces.

La recherche simultanée d'objectifs économiques, énergétiques et environnementaux pousse à réduire l'emploi systématique et préventif des herbicides et à privilégier le raisonnement des interventions. Ceci se traduit par :

- le choix de techniques culturales permettant de réguler les populations de mauvaises herbes (par exemple, travail du sol, choix variétal, date et densité de semis, fertilisation azotée) ;
  - la prise en compte de la succession des cultures comme échelle de raisonnement et d'évaluation du désherbage, mais aussi comme méthode de régulation privilégiée des stocks semenciers ;
  - le choix privilégié d'un désherbage de postlevée (chimique ou mécanique) sur la base de seuils de nuisibilité économiques.
- La mise en œuvre de ces stratégies nécessite le recours à des outils de pilotage, permettant de raisonner la prise de décision (décision de traiter, choix du produit, dose et date d'application...) de la manière

P. Debaeke : INRA, Station d'agronomie, BP 27, 31326 Castanet-Tolosan cedex, France.

Tirés à part : P. Debaeke

la plus cohérente avec l'itinéraire technique, tout en élaborant des stratégies préventives à long terme. Le choix du produit doit s'appuyer désormais sur des considérations de persistance dans le sol, de transfert dans le milieu et de toxicité pour les organismes vivants qui étaient peu prises en compte jusqu'à présent dans les programmes de désherbage. Enfin, l'environnement de la parcelle (bordures enherbées...) dans son rôle de maintien de la biodiversité et de niche à auxiliaires doit être considéré ; ces zones dites de « compensation écologique » devraient couvrir 5 à 10 % de l'exploitation [8].

Dans cette nouvelle approche, la pratique du désherbage est replacée au centre des décisions de l'agriculteur (choix de matériel, de succession de cultures, d'itinéraire technique), et ne se limite plus aux conditions d'application et d'efficacité des produits herbicides [9]. Par ailleurs, en diversifiant ses méthodes de lutte, l'agriculteur peut espérer limiter les conséquences négatives d'un échec du désherbage chimique.

Alors que le besoin de nouvelles façons de produire s'exprime face aux contraintes agro-environnementales et aux réglementations communautaires européennes, où en sommes-nous aujourd'hui en termes de recherche et de transfert des acquis ? Quels sont les freins à l'adoption d'une autre manière de désherber, qui tient peut-être davantage d'une gestion de la flore que d'une lutte au sens strict ?

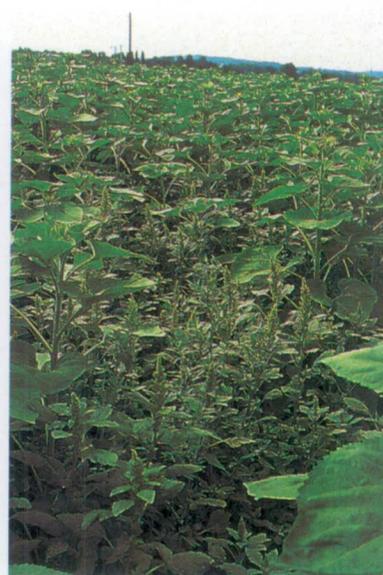
## Rôle central du travail du sol

La place prépondérante des herbicides dans la lutte contre les mauvaises herbes a occulté l'utilité des techniques non chimiques et permis certainement de s'affranchir, pour un temps, du rôle du



**Photo 1.** L'augmentation de la densité de féverole (à gauche, sur la photo) a permis de limiter le resalissement de la culture à maturité.

**Photo 1.** Preharvest weed infestations are lowered by high faba bean densities (on the left of the photo).



**Photos 2 et 3.** Le choix d'une succession de cultures oriente fortement le type de flore adventice. Dans une rotation chargée en cultures d'hiver, la flore du tournesol est dominée par la folle-avoine (*Avena fatua* L.) et le vulpin des champs (*Alopecurus myosuroides* Huds.) (à gauche). Dans une rotation chargée en cultures d'été, la flore du tournesol est dominée par l'amarante réfléchie (*Amaranthus retroflexus* L.) (à droite).

**Photos 2 and 3.** The type of weed flora is closely related to crop rotation. In rotations dominated by winter crops, wilds oats (*Avena fatua* L.) and blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) are common weeds of sunflower crop (left), while in rotations dominated by summer crops, redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) is more frequent (right).

travail du sol dans la maîtrise des adventices. Dans un contexte de désherbage intensif, la réduction d'une espèce de mauvaise herbe est plus rapidement obtenue par le travail superficiel ; si l'on réduit la pression de désherbage, le salissement risque de s'accroître de façon marquée au profit des graminées annuelles et des vivaces [10]. Le labour permet, en revanche, de tamponner les évolutions de flore, quelle que soit la protection herbicide, par le biais de l'enfouissement des semences de l'année et de la remontée de semences dormantes. L'alternance des modes de préparation devrait dès lors se raisonner en fonction du degré de salissement à

l'issue de la culture précédente : un bilan entre production de semences de l'année et stock semencier viable du sol pourrait orienter le choix d'un outil. Des modèles relatifs à l'action des outils de travail du sol sur la répartition verticale des semences ont été élaborés, qui devraient permettre de mieux prévoir les risques de levée [11]. En revanche, les estimations du stock de semences de la couche labourée, ainsi que de la production de semences viables, exigent des échantillonnages et des déterminations beaucoup trop lourds pour la décision. La réalisation de bilans prévisionnels, fondés sur le cycle de vie des adventices [12], paraît applicable à condition de caler les paramètres sur des dispositifs existants.

Le travail du sol simplifié, qui présente des intérêts économiques et écologiques (non-dilution de la matière organique), est fortement recommandé en production intégrée [13]. Cependant, la moindre efficacité de certains herbicides, liée à la présence de résidus de culture en surface, et la concentration des semences dans les horizons plus favorables à la germination et à la levée des adventices peuvent introduire des risques de salissement dans des systèmes où l'on réduit les applications herbicides (photo 1). L'utilisation

continue de techniques de préparation simplifiées, notamment en monoculture de céréales, paraît peu réalisable sans une augmentation de la pression du désherbage chimique [10]. Lorsque des dérives trop marquées se manifestent (par exemple, une explosion de brôme stérile), le labour permet de rétablir un équilibre plus favorable par inversion du stock semencier superficiel [10].

La date de déchaumage doit être estimée par rapport au risque de grenaison des adventices, afin de permettre un enfouissement des plantes avant maturation des semences (*photos 2 et 3*). Cela suppose une intervention peu après récolte et donc un enfouissement précoce des résidus de récolte. Cependant, une intervention précoce, stimulant la levée des adventices si l'automne est humide, peut nécessiter un travail du sol supplémentaire ou un traitement chimique avant le semis de la culture suivante.

L'état du sol au moment du semis devrait favoriser la levée rapide de la culture au détriment des adventices : un lit de semences plus grossier, plus sec en surface, et la présence de résidus dans l'interrang désavantagent la plupart des adventices dont les semences sont souvent de petite taille et qui ne lèvent que proches de la surface [7].

## Recours au désherbage mécanique

L'efficacité d'un programme de travail du sol consiste à maximiser la levée des adventices pendant l'interculture, par le déchaumage ou les techniques de faux-semis (c'est-à-dire de préparation précoce du lit de semence et de semis différé) et à maximiser, en végétation, leur destruction par hersage, binage ou sarclage. Ces techniques traditionnelles, constituent toujours la base de la lutte mécanique, en complément des techniques de brûlage, de fauche ou de pâturage de l'interculture. Le désherbage mécanique en végétation vise à détruire les levées précoces (donc concurrentielles pour la culture) et à ne permettre que des levées limitées par le couvert, tout en réduisant les dégâts aux plantes cultivées par l'action des outils (sélectivité) [14]. Les recherches actuelles vont dans le sens

### Encadré 1

## Le désherbage mécanique doit-il être exclusif ou complémentaire du désherbage chimique ?

Les principales limites de cette technique sont connues :

- le temps de travail est supérieur à celui d'une pulvérisation ; ainsi, pour le tournesol, on évalue à 1 heure par hectare le temps nécessaire à une intervention au stade cotylédons à l'aide d'une bineuse six rangs ;
- l'efficacité, limitée à l'interrang, est insuffisante (entre 75 et 85 % de plantes détruites) ;
- la sensibilité de la technique aux aléas climatiques est importante, tant pour la portance que pour l'efficacité de l'opération (en particulier, lors de conditions trop humides) ;
- le désherbage mécanique nécessite l'acquisition d'un matériel spécifique et souvent coûteux. En dehors de l'agriculture biologique, il s'agit plutôt d'une technique de complément (ou de rattrapage) utilisée en présence d'espèces d'adventices résistantes ou lors de conditions sèches peu favorables à l'efficacité des traitements de prélevée (maïs, sorgho, tournesol). Dans un contexte d'agrandissement des surfaces, ce dernier ne paraît applicable qu'avec un meilleur contrôle de l'action des outils, réduisant le temps de passage et l'attention nécessaire. Le seul désherbage mécanique, très dépendant des conditions du sol, ne permet pas de fonder un programme de désherbage car il ne peut limiter efficacement les fortes infestations, comme on en rencontre en agriculture biologique [17].

**Should mechanical weeding be complemented by chemical weeding or not?**

d'un meilleur raisonnement des choix d'outils, des conditions d'intervention et des fréquences de passage [15]. L'utilisation de bineuses et de sarcleuses oblige à reconsidérer les écartements et plus généralement la structure de peuplement. En revanche, le recours aux herses à dents flexibles en céréales permet de conserver l'écartement, sans dégâts majeurs pour la culture [16].

## Structure du peuplement et compétitivité de la culture

L'augmentation des densités de semis – voire la réduction des écartements entre rangs – permet certes d'économiser des herbicides par la couverture précoce du sol qui augmente la mortalité des plantules, réduit la croissance et limite la production semencière des adventices [18, 19] (*photo 4*). Mais, cette forte densité de peuplement favorise la propagation de certaines maladies cryptogamiques chez le blé et le tournesol

(proximité des pieds, maintien de l'humidité sous couvert) [20] et augmente les risques de verse. Par ailleurs, en conditions sèches, il peut en résulter une consommation trop rapide de la réserve en eau du sol. Enfin, le coût supplémentaire des semences pouvant être excessif, le choix d'une variété moins couvrante ou d'une plus faible densité de semis devra s'accompagner d'un écartement plus grand permettant le binage. Si le type de sol ou le climat ne permettent pas de garantir une lutte mécanique satisfaisante, il faudra opter pour des écartements réduits, en choisissant plutôt des variétés tolérantes aux maladies.

## Choix variétal et compétitivité de la culture

Le choix de variétés compétitives vis-à-vis des adventices pourrait être exploité davantage. Diverses caractéristiques ont été mises en évidence à cet égard, surtout pour les céréales à paille : précocité de montaison, hauteur de tige, port des feuilles, aptitude au tallage... Les cata-



**Photo 4.** De nombreuses espèces adventices (comme par exemple, le mouron des champs ou *Anagallis arvensis* L.) réalisent leur production semencière après récolte de la céréale : un déchaumage précoce s'impose pour éviter un enrichissement du stock semencier.

**Photo 4.** The seed shedding of many weed species (e.g. scarlet pimpernel or *Anagallis arvensis* L.) occurs after cereal harvest; early stubble breaking is required to prevent soil seed-bank increase.

logues variétaux ne fournissent pas toujours ces critères qui permettraient de déterminer plus globalement le choix variétal. Par ailleurs, l'aptitude des variétés récentes à supprimer les adventices est encore mal connue, bien que l'expérimentation [21] et la simulation [22] indiquent que les effets variétaux peuvent être très marqués en céréales.

## Raisonnement des apports d'eau et d'azote

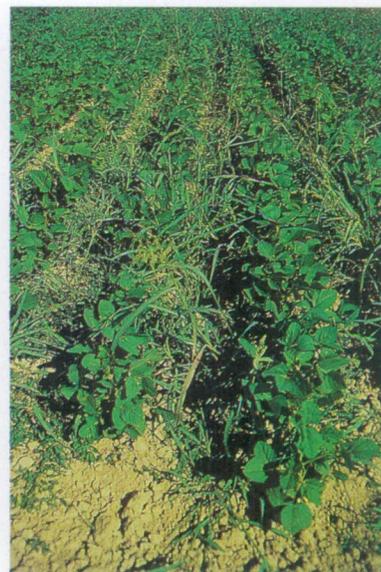
Une augmentation du pouvoir concurrentiel des plantes cultivées au détriment des adventices peut être obtenue par une fertilisation azotée bien ajustée aux besoins de la culture. On augmente d'autant l'efficacité des apports d'azote que l'on tient compte du type de flore de la parcelle (en particulier, la précocité de développement et la morphologie des adventices) [23]. Par ailleurs, le désherbage du blé se justifie à des niveaux de densité d'autant plus faibles que les parcelles sont plus fertilisées. En revanche, en parcelle fertilisée, on peut s'attendre à une plus forte mortalité de plantules d'adventices, en raison d'un plus fort recouvrement par la culture [19]. L'utilisation de modèles démographiques, intégrant l'effet de la fertilisation azotée, permettrait de déterminer le niveau optimal de fertilisation azotée. Une même démarche pourrait permettre de raisonner les apports d'eau : des irrigations intensives en cultures d'été augmentent la production semencière des adventices les plus hygrophiles (comme *Echinochloa crus-galli*), le défaut d'alimentation

hydrique (culture non irriguée) étant plus pénalisant pour les adventices que la réduction d'éclairement en culture bien irriguée [24] (photos 5 et 6).

## Choix de la date de semis

Il est difficile de prédire les effets de la date de semis sur la levée des adventices

et l'issue de la concurrence avec la culture. Une levée rapide et régulière de la culture favorise le contrôle ultérieur des adventices, ce qui renvoie au choix de la date optimale de semis en fonction de la température et de l'humidité du sol. Un semis trop précoce au printemps (betterave, tournesol) peut entraîner un développement d'adventices peu exigeantes en température. À l'inverse, un semis tardif de céréales d'hiver permet de bien contrôler la flore automnale et de repousser la vague de levée principale des adventices vers le printemps, lorsque le couvert cultivé est bien installé. Un retard de semis présente cependant des risques : réduction de la durée de végétation (semis d'hiver), déplacement du cycle vers des périodes à plus fort risque de déficit hydrique ou d'excédent thermique (semis de printemps). Comme pour les techniques précédentes, la décision de date de semis doit résulter d'une approche multi-critères, qui confronte le risque de salissement par les adventices aux autres facteurs limitants et aux contraintes du système de production, éléments qui sont généralement déterminants pour la décision finale.



**Photos 5 et 6.** L'irrigation intensive des cultures d'été (ici le soja) peut favoriser certaines espèces hygrophiles comme le liseron des haies, ou *Calystegia sepium* (L.) R. Br., et le panic pied de coq, ou *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv (à droite).

**Photos 5 and 6.** Intensive irrigation of summer crops (here soybean) can promote the spread of hygrophilous weeds such as hedge bindweed or *Calystegia sepium* (L.) R. Br. (left) and barnyardgrass or *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. (right).

## Summary

### Integrated weed control in arable cropland: management parameters and application prospects

P. Debaeke

*The integrated weed management (IWM) concept applied to arable cropland is based on four main parameters:*

- *a drastic reduction in herbicide applications through the use of non-chemical techniques that are effective in directly or indirectly (soil tillage, cultivar, sowing date, crop density, nitrogen fertilization, irrigation) controlling weed population densities;*
- *the use of post-emergence chemical treatments and mechanical soil tillage based on economic weed damage thresholds, so as to avoid systematic pre-emergence weed control;*
- *crop rotations taken into consideration in weed control decisions and soil seed bank regulation;*
- *the use of models (even simple) to assist in making treatment decisions that are in line with crop management, while assessing long-term weed control strategies.*

*Various crop management techniques can complement or partly replace chemical weed control. Soil tillage is still the main non-chemical weed control measure. However, as farmers are reducing tillage (combined operations, shallow-tillage) to an increasing extent, weed densities are expected to increase, with a higher dependency on herbicides in such cropping systems. Mechanical weeding is a time-consuming operation that can only partially supplement a lack of chemical control. Weed cover could be substantially reduced by increasing crop densities, but this could prompt a concomitant increase in disease risk, crop lodging and soil water depletion. Herbicide use could be adequately reduced through the introduction of highly competitive crop cultivars, but further data on the ability of existing cultivars to compete with major weeds is required. It is questionable whether changing sowing dates, N fertilization and irrigation patterns is an effective strategy for preventing weed development. A diversified crop rotation, alternating summer and winter crops, soil tillage depths and herbicides, generally results in a less competitive and abundant but more diversified weed flora. Weed seed dispersal at harvest should be controlled more carefully to prevent the introduction of new species and soil seed bank contamination. Integrated weed control programmes should aim at optimizing herbicide efficacy (suitable climatic conditions, adjuvants, weed growth stages) in order to reduce dosages.*

*It is not yet clear how these techniques could be efficiently integrated or combined within cropping systems. Moreover, the adoption of IWM by farmers is limited by several factors: moderate herbicide costs; non-restrictive policy on the use of chemicals; time required for field surveys; combined techniques are more complicated than conducting spray treatments; higher risk techniques; and a wide range of skills required. IWM development is restricted by the low overall understanding of weed biology and ecology and by the complexity of weed problems. Reference weed damage thresholds are only available for cereals, highlighting the need for further modelling to develop integrated weed thresholds, under a wider range of crop management, soil fertility and weather conditions. In France, the increasing social demand for food security, unpolluted drinking water, landscape quality, and possible EC environmental regulations, could lead to herbicide restrictions and greater interest in IWM for arable cropland.*

*Cahiers Agricultures 1997 ; 6 : 185-94.*

## Choix d'une succession de cultures diversifiée

Les systèmes de culture traditionnels ont largement utilisé la rotation des cultures pour maintenir la fertilité du sol, pratiquant l'alternance de cultures « étouffantes » ou « nettoyantes » et de cultures plus sensibles au salissement par les adventices [25]. En l'absence d'herbi-

cides, la survie des plantules adventices dépend beaucoup de la vitesse de couverture de la culture : à titre d'exemple, dans une expérimentation comparant une gamme de systèmes de culture [26], le taux de survie moyen des plantules d'adventices en l'absence d'herbicides est de 29 % dans le blé, 34 % dans les pois et 62 % dans le maïs, ce qui illustre des différences importantes de régulation des populations d'adventices selon les cultures. Les périodes d'interculture, dont la jachère annuelle fréquemment travaillée

représente un type extrême, ont souvent des fonctions de réduction du potentiel semencier du sol ou de lutte contre les adventices vivaces. Mais la recherche d'une levée maximale des adventices par le travail du sol peut être contradictoire avec le report d'eau dans le sol, que l'on vise à obtenir, par cette pratique, dans les sols profonds des régions arides et semi-arides.

L'alternance des cycles culturaux, des positions et des durées d'interculture, des matières actives employées, des

types de couverts et des profondeurs de travail du sol évite en général la sélection d'une flore spécialisée et concurrentielle [27]. L'introduction d'une prairie temporaire (trois à quatre ans), qui maintient enfouies les semences de mauvaises herbes, permet également de réduire la densité d'espèces à stock transitoire, souvent concurrentielles [28]. Seules les espèces à stock persistant conservent la possibilité de réinfester les cultures suivantes. À l'opposé, la monotonie des cycles culturaux et des stratégies de désherbage (cas de la monoculture de céréales à paille ou de maïs) sélectionne un petit nombre d'espèces, levant avec la culture et dispersant leurs semences avant la récolte. Ainsi, il a été observé, en l'absence d'herbicides, que le taux de survie des plantules de mauvaises herbes et la perte de rendement sont plus élevés avec le blé d'hiver dans les rotations courtes et peu diversifiées, qui favorisent les espèces levant avec le blé, moins sensibles au recouvrement par la céréale [29]. Une flore à cycle bien calé sur celui de la culture, ayant développé des résistances aux herbicides appliqués chaque année et bénéficiant de la disparition de la flore à cycle tardif, conduit à une utilisation plus intensive des herbicides et peut remettre en cause la succession des cultures en l'absence de solution technique acceptable (cas du brôme stérile avec les céréales d'hiver pouvant imposer une culture de printemps, cas des dicotylédones résistantes à l'atrazine avec le maïs, avant la mise au point de traitements spécifiques).

L'adoption d'une rotation combinant différents modes de préparation du sol est une des recommandations de base de l'agriculture intégrée [8]. Il est en effet souvent plus facile de régler certains problèmes de désherbage de plusieurs cultures successives lorsque la sélectivité de l'herbicide n'est pas assurée ; ainsi, dans une rotation maïs-soja, la lutte contre les dicotylédones est mieux assurée dans le maïs, alors que les graminées estivales sont plus efficacement détruites dans le soja. Il est plus aisé de lutter contre le chardon des champs dans le blé que dans le tournesol. La succession des cultures est donc à considérer en relation avec le type de travail du sol : ainsi, une succession de deux cultures d'été labourées (respectivement 1 et 2) suivies d'une culture d'hiver (3) implantée sans retournement du sol permet de limiter les consé-

quences d'une production semencière (par le labour entre 1 et 2, par le changement de cycle cultural entre 2 et 3). La séquence 3-1 pourrait être la plus risquée si les semences produites en 1 sont persistantes.

La pratique des agriculteurs, à qui le contexte économique impose une flexibilité dans le choix des cultures, va dans le sens d'un abandon de la rotation à vocation agronomique [30] au profit d'une succession guidée par les opportunités et les contraintes du marché, par les réglementations, par les soucis d'organisation du travail ou de disponibilité en eau d'irrigation. L'assolement est davantage raisonné que la rotation des cultures : la préconisation d'une rotation diversifiée, fixe sur quatre ou cinq ans, paraît peu compatible avec ces exigences. L'introduction de la jachère bouleverse également le choix de la rotation et introduit de nouvelles contraintes sur le désherbage. Les premières estimations de salissement en jachère spontanée étaient inquiétantes [31] : elles ont fait craindre la nécessité d'une pression herbicide accrue sur les cultures suivantes alors que les efforts de désherbage pratiqués depuis plusieurs années pouvaient permettre d'envisager des réductions de traitement. Le semis de graminées ou de crucifères permet de contrôler plus efficacement la production semencière sur la jachère et les agriculteurs s'orientent aujourd'hui vers ces pratiques malgré les coûts d'implantation et de destruction du couvert [32]. De même, la pratique des cultures intermédiaires semées à l'automne, qui remplissent des fonctions de pièges à nitrates ou d'engrais verts, permet également de limiter le reverdissement de la parcelle lors d'hivers doux et humides, prévenant ainsi des risques de grenaison avant le semis de la culture de printemps.

## Contrôle de la dispersion des semences

Le contrôle des mouvements de semences d'une parcelle à l'autre, à l'occasion des opérations de semis, de travail du sol ou de récolte pourrait bénéficier d'une attention plus importante, par le respect de certaines règles dans la conduite des chantiers. L'importance de cette dispersion a été peu quantifiée.

On peut penser que l'introduction de nouvelles espèces ou de biotypes résistants est directement liée à des mouvements de semences à l'échelle d'une exploitation. Dans le cas de récoltes trop tardives, le retour au sol des semences est important et la dissémination plus faible. Si le criblage des semences n'est pas pratiqué, le recours systématique aux semences de ferme pourrait favoriser l'introduction de semences adventices lors du semis. Le maintien de bordures enherbées, source de biodiversité signalée plus haut, pourrait limiter le développement de graminées annuelles [33] et retarder ainsi leur progression en direction de la parcelle cultivée (en particulier dans le cas du brôme stérile).

## Caractéristiques de la lutte chimique en production intégrée

La recherche d'une efficacité maximale des applications herbicides (réduction de dose en fonction des stades de l'adventice, utilisation d'adjuvants, mélange de matières actives, prise en compte du climat, matériels de pulvérisation mieux réglés et plus fiables...) contribue à limiter l'application excessive de matières actives [34]. Dans le blé d'hiver, l'utilisation de faibles doses d'herbicides sur adventices peu développées permet d'obtenir des rendements voisins de ceux que l'on obtient avec les pratiques de désherbage habituelles. En revanche, les risques de salissement résiduel à la récolte sont plus importants, avec des conséquences négatives sur l'humidité du grain ou le temps de récolte. L'avancée des dates de traitement (postlevée précoce en blé d'hiver), calée sur le stade de la céréale, permet de réduire les doses (jeunes adventices) et de détruire les espèces les plus compétitives, mais peut justifier d'un traitement complémentaire dans le cas de levées plus tardives (type de flore lié à l'histoire culturale, conditions climatiques).

La construction de programmes de désherbage adaptés au type de sol, à la flore présente (densité, composition, distribution spatiale), voire à l'objectif de production, s'est développée également [8, 35]. Des tableaux de bord pour le raisonnement du désherbage du blé sont proposés pour les principales régions françaises

## Quels outils d'aide à la décision ?

Une meilleure connaissance de la biologie, des cycles de vie et de la dynamique des populations adventices est à la base d'un raisonnement intégré du désherbage. Cela passe par la formation des prescripteurs, mais aussi par la mise à disposition des décideurs d'outils d'aide à la décision. On soulignera ici le développement récent de logiciels d'aide à la reconnaissance des mauvaises herbes [37] et, plus généralement, de supports permettant la reconnaissance rapide et fiable des espèces, tout en fournissant des indications sur l'écologie des espèces [38, 39]. Le développement de modèles de dynamique des populations devrait permettre de simuler différentes stratégies de désherbage sur le long terme [40]. La prise en compte des effets des systèmes de culture est à améliorer largement pour une utilisation de ces modèles à grande échelle. Des modèles bioéconomiques ont été récemment développés [41], qui fournissent une évaluation économique pluriannuelle des stratégies de désherbage et proposent des seuils d'intervention intégrant les risques de production semencière de la flore résiduelle (espèces tolérante ou esquivant les traitements). Des systèmes experts ont été produits également, reproduisant les étapes de la décision de traitement : recensement des espèces, évaluation de la perte de rendement, choix du produit, coût du traitement [42]. Le besoin de connaissances dans ce domaine est lié à la prise en compte des flores complexes, qui représentent la majorité des situations de désherbage. Cela passe par la mise au point de seuils de nuisibilité multispécifiques, combinant les indices de compétitivité et les densités de chaque espèce [43], ainsi que par le choix optimal du programme de désherbage permettant de lutter strictement contre les adventices présentes. L'intégration de critères environnementaux (risque de pollution diffuse, rémanence, toxicité) devrait également orienter le choix des produits herbicides. En effet, on dispose aujourd'hui de critères d'appréciation des risques associés à chaque matière active qui pourraient être mobilisés dans ces outils d'aide à la décision [44].

La prévision des levées d'adventices au champ permettrait de mieux ajuster le traitement de prélevée aux risques réels. L'histoire culturale, d'une part, et les conditions climatiques d'autre part, sont les facteurs explicatifs de la période et du taux de levée, pour un type de travail du sol et une distribution verticale des semences donnés. Des modèles mettant en relation un type de flore (association d'espèces, périodes de levée) et une histoire culturale (succession des cultures, travail du sol) permettent de prévoir le type de flore pour un milieu donné [3]. Cependant, un référentiel doit être constitué par milieu, ce qui limite, pour l'instant, l'application de ces modèles. Pour une espèce donnée, dont on connaît les exigences de germination, des modèles de prévision de la levée au champ, basés sur la température [45], pourraient être établis en vue d'avertissements.

### What decision-making aids are suitable?

et l'on note un progrès dans la fourniture d'éléments de raisonnement pour l'agriculteur, en particulier la prise en compte des jours disponibles pour désherber [36]. Le développement des possibilités de traitement à pleine dose sur le rang et de binage mécanique de l'interrang permet de diminuer les doses d'herbicides à l'hectare tout en assurant un désherbage efficace des cultures à large écartement (maïs, tournesol). La limitation n'est probablement pas technologique, mais plutôt économique (investissements) ou liée à l'organisation du travail (temps de

travail supérieur dès lors qu'on inclut des interventions mécaniques). L'expérience menée en fermes expérimentales aux Pays-Bas [9] montre que, si l'on réduit par deux ou trois les coûts de désherbage directs en conduite intégrée, on double, dans certains cas, les passages en végétation, ce qui peut poser d'autres problèmes en termes de structure du sol, de coût énergétique et de temps de travail. Les innovations en matière d'agriculture de précision, qui permettent d'envisager un traitement chimique localisé, n'ont pas encore dépassé le stade de la

recherche [46]. Ces techniques obligeront à bien préciser les règles de décision pour l'application des traitements. Seule la pratique du traitement localisé des ronds de vivaces (chardons, liserons) peut être mise en œuvre dans les conditions actuelles. Le développement des organismes génétiquement modifiés (OGM), en particulier la sélection de plantes cultivées résistantes à des herbicides, pourrait permettre d'utiliser des matières actives à spectre large, moins nuisibles pour l'environnement et permettant une réduction du nombre d'applications des herbicides. Cependant, comme le risque de sélection d'adventices résistantes n'est pas improbable dès lors qu'on utilise le même traitement pendant plusieurs années, il serait prudent de compléter l'utilisation de plantes transgéniques par des méthodes de lutte non chimiques, plutôt que de fonder tous les espoirs sur l'utilisation répétée d'herbicides non sélectifs.

## Mise en œuvre de seuils d'intervention

La mise en œuvre de seuils et de périodes d'intervention basés sur l'observation de la densité des adventices ou de leur recouvrement dans la culture est une voie privilégiée de raisonnement du désherbage de postlevée [47]. Elle doit permettre d'éviter le désherbage en deçà de certaines densités et en dehors de certaines périodes critiques. Ce seuil peut être évalué à la récolte de la culture précédente, sur la base du nombre d'inflorescences produites lorsqu'il s'agit d'adventices à stock semencier peu persistant, dans le cadre du travail simplifié d'une succession de cultures d'hiver (par exemple, blé sur blé, pois ou colza). À l'aide d'un tel seuil préventif, on peut décider d'un traitement de prélevée ou d'un labour en cas de forte infestation. Dans le cas de stock semencier persistant, la production de graines de l'année ne représente qu'une faible part du potentiel de salissement, sauf en cas d'échec manifeste du désherbage (produit incomplet, conditions climatiques défavorables).

De nombreuses valeurs expérimentales de seuils de nuisibilité des principales mauvaises herbes (assez cohérentes quoique

entachées d'une certaine variabilité entre sites et années, surtout dans le blé d'hiver) permettent de constituer un référentiel appréciable pour l'aide à la décision [48, 49]. Cependant, ces seuils n'ont qu'une portée limitée, car la période de levée de l'adventice modifie beaucoup l'issue de la concurrence. L'utilisation de modèles de simulation, décrivant plus complètement les facteurs de la concurrence culture-adventices, devrait permettre de définir des seuils d'intervention intégrés, tenant compte de l'effet du milieu (climat, fertilité chimique du sol) et des autres techniques utilisées [22].

Des expérimentations ont été mises en place pour tester l'intérêt de stratégies annuelles de désherbage fondées sur les seuils de nuisibilité économiques. Marshall [50], en Angleterre, et Wahmhoff [51], en Allemagne, concluent à l'intérêt économique d'une approche utilisant les seuils de nuisibilité, par rapport à la pratique habituelle des agriculteurs, basée sur les traitements d'assurance. En revanche, la pratique des seuils de nuisibilité en céréales, amenant certaines années à des impasses de traitement, peut conduire, après quelques années, à un plus fort salissement que la pratique systématique d'un désherbage chimique à dose réduite [52]. La manipulation des doses autorise plus de flexibilité que le seul choix de traiter ou non, bien que cela impose une dose spécifique par parcelle, peu compatible avec l'organisation de chantiers.

Par ailleurs, la mise en pratique des seuils de nuisibilité pose au moins deux problèmes de décision :

- le temps passé à estimer les populations, surtout aux faibles densités, peut être rédhibitoire. L'estimation de la densité d'une espèce, proche de celle du seuil de nuisibilité, nécessite dix-huit stations par hectare pour une précision de 30 %, ce qui n'est pas compatible avec l'emploi du temps d'un agriculteur [50]. La prise de décision doit découler d'un indicateur plus global (par exemple, taux de recouvrement adventice), ce qui relativise la précision exigée sur le seuil de référence ;
- la densité moyenne ne permet pas de rendre compte des distributions agrégées (taches) qui caractérisent la plupart des infestations.

L'application de seuils annuels ne permet pas une gestion optimale de la flore. La notion de seuil de nuisibilité à long terme (plus faible que le précédent) a été introduite afin d'intégrer le risque de production semencière [47]. Un seuil de sécurité peut être défini pour inclure le

risque de mauvaise efficacité des herbicides. Dans la pratique, il est probable que l'agriculteur appliquera un seuil visuel subjectif, dépendant de considérations esthétiques ou d'un souci de maintien de la fertilité. Pour les céréales, il est justifié d'intervenir en présence de gaillet ou de folle-avoine d'automne, car leurs seuils de nuisibilité sont bas (un à cinq plantes par m<sup>2</sup>) et leur démographie explosive, d'autant plus que la succession est chargée en cultures d'hiver et le travail simplifié. En revanche, en présence de dicotylédones basses (seuil de cinquante à cent cinquante plantes par m<sup>2</sup>), plutôt qu'un désherbage d'entretien systématique, on peut envisager des impasses dans des conditions bien définies (succession peu chargée en cultures d'hiver, alternance des modes de préparation, levées tardives) sans risque pour les cultures suivantes [29].

## Freins à l'application des méthodes de désherbage intégré

Des solutions techniques différentes ou complémentaires du désherbage chimique existent déjà en grande culture. Leur intégration cohérente dans un itinéraire technique n'est cependant pas encore au point, ce qui limite la diffusion de règles de décision auprès des agriculteurs. Enfin, l'application de méthodes de lutte indirecte peut ne pas être compatible avec les autres objectifs et contraintes de la production. En effet, une difficulté majeure du désherbage intégré est qu'il induit une gestion de la flore « à la parcelle » et non à l'échelle de la sole de culture, où une conduite standard fondée sur des applications préventives peut être la règle. Une approche intégrée implique un temps de surveillance, une combinaison plus complexe et variable chaque année des techniques et, pour chaque parcelle, une prise de risques plus importante, des connaissances plus étendues, une réactivité particulière de l'agriculteur. Ainsi, les créneaux favorables à un désherbage mécanique efficace (portance, stade des adventices et de la culture) sont plus limités que pour l'application d'herbicides. Un équipement spécifique est par ailleurs nécessaire, dont la rentabilité

doit être évaluée sur l'ensemble de l'exploitation.

Les coûts des herbicides ne sont probablement pas assez élevés pour conduire à un changement radical de conduite culturale. Seule l'interdiction de certains produits, justifiée par de fortes teneurs dans les eaux superficielles, obligerait à rechercher d'autres solutions, non chimiques. Baeumer [53] remarquait que l'interdiction du dinosèbe, seul herbicide de postlevée homologué sur légumineuses à graines, a contribué en Allemagne au développement de méthodes de lutte intégrée sur féverole : binage de l'interrang et buttage du rang, dont on a redécouvert l'intérêt pour la prévention de la verse. Déjà, en zone écologiquement sensible, le désherbage intégré peut constituer une solution de substitution, par un raisonnement global de l'itinéraire technique.

Les possibilités d'application d'une lutte intégrée sont aujourd'hui variables selon les cultures [2, 8, 9]. Si l'on dispose d'une gamme assez large pour le blé ou les légumineuses, les possibilités sont plus limitées pour le maïs ou la betterave et assez réduites pour la pomme de terre ou les cultures légumières. Pour le tournesol, culture souvent extensifiée, on recherche un désherbage bon marché, à spectre large. En revanche, la recherche de solutions peu coûteuses (atrazine sur maïs ou sorgho, trifluraline sur colza ou tournesol) peut être en contradiction avec la protection de l'environnement [54].

De nombreuses techniques ont été testées, qui n'ont pas encore trouvé une application à grande échelle mais sont utilisées localement en maraîchage (solarisation par films en plastique) ou en agriculture biologique (désherbage à la flamme sur le rang). Les possibilités de lutte biologique (en particulier, mycoherbicides) sont encore très limitées : spectre d'action étroit, problèmes techniques de fabrication, coûts de production élevés.

Depuis la réforme de la PAC en 1992-1993, les agriculteurs ont recherché des conduites plus économes sans conséquences majeures sur les rendements [55]. La baisse des coûts de production est liée principalement à la simplification du travail du sol, à la diminution des densités de semis, à la plus faible utilisation de semences certifiées et à la réduction des doses d'engrais azotés mais surtout phospho-potassiques (comparaison 1986/1994). En revanche, le nombre

moyen de traitements herbicides a augmenté pour la plupart des grandes cultures ainsi que la part des surfaces désherbées [55]. La part des produits génériques, plus anciens et peu coûteux comme l'atrazine, a augmenté, limitant de fait les coûts du désherbage. L'introduction de la jachère, d'une part, et la limitation de certains intrants, d'autre part, peuvent expliquer ce renforcement du désherbage chimique. La réduction d'intrants s'opère peu sur le désherbage chimique, le salissement accidentel d'une parcelle étant souvent perçu comme une dégradation grave et durable de sa fertilité. Le conseil technique, qui ne dispose pas de méthodes de raisonnement éprouvées, privilégie des stratégies de sécurité, plus normatives, excluant l'impasse au profit de la réduction de doses.

Les pays du Nord de l'Europe se sont fixé des objectifs de réduction de 50 à 75 % des quantités de pesticides entre 1997 et l'an 2000 [56]. Plusieurs produits (dont l'atrazine) ont été retirés du marché. Au Danemark, cette politique se traduit par un supplément de conseil technique et de formation des agriculteurs aboutissant à un agrément pour l'application de traitements phytosanitaires, par l'obligation d'un plan d'épandage des produits et par une taxation de 15 % sur les herbicides. La sensibilisation de la société aux problèmes d'environnement y est plus marquée, ce qui facilite la mise en œuvre de cette politique. La recherche investit également davantage dans la mise au point de stratégies de lutte intégrées. Dans le contexte français, la demande croissante de la société pour une sécurité alimentaire, pour une eau moins chargée en pesticides et pour une meilleure qualité des paysages pourrait conduire, sous la pression conjointe des règlements européens, à un usage plus restrictif des herbicides et au développement des stratégies de désherbage intégrées en grande culture ■

## Références

- Baggiolini M, Faure G, Fiaux G. Lutte intégrée et lutte dirigée en verger. *Rev Suisse Vitic Arboric Hortic* 1973 ; 5 : 83-90.
- Häni F, Popow G, Reinhard H, Schwarz A, Tanner A, Vorlet M. *Protection des plantes en production intégrée*. Zollikofen : LMZ, 1990 ; 334 p.
- Debaeke P. Effets de l'histoire culturale d'une parcelle sur la composition qualitative et quantitative de la flore adventice. *C R Acad Agric Fr* 1988 ; 74 : 21-30.
- Larguier M; Sommier JY. La mesure agri-environnementale de réduction d'intrants phytosanitaires pour la protection des captages d'eau. In : *Annales de la 16<sup>e</sup> Conférence du COLUMA. Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes*. Reims, 1995 : 18-28.
- Koch W. Establishment of integrated control systems. *EPPO Bull* 1979 ; 9 : 107-18.
- Dessaint F, Chadoeuf R, Barralis G. Étude de la dynamique d'une communauté adventice : III. Influence à long terme des techniques culturales sur la composition spécifique du stock semencier. *Weed Res* 1990 ; 30 : 319-30.
- Regehr DL. Integrated weed management in agronomic crops. In : Thomas JM, ed. *Proceedings 4th IFOAM Conference on Non-Chemical Weed Control*. Dijon, 1993 : 17-22.
- Häni F. Farming systems research at Ipsach, Switzerland - The « Third Way » Project. *Schweiz Landw Fo* 1990 ; 29 : 257-71.
- Post JS, Wijnands FG. Integrated weed management. In : Zadoks JC, ed. *Modern crop protection : developments and perspectives*. Wageningen : Wageningen Pers, 1993 : 199-209.
- Debaeke P, Orlando D. Simplification du travail du sol et évolution de la flore adventice : conséquences pour le désherbage à l'échelle de la rotation. In : Monnier G, Thévenet G, Lesaffre B, eds. *Simplification du travail du sol*. Les Colloques, n° 65, Paris : INRA Éditions, 1994 : 35-62.
- Cousens R, Moss SR. A model of the effects of cultivation on the vertical distribution of weed seeds within the soil. *Weed Res* 1990 ; 30 : 61-70.
- Debaeke P, Sebillotte M. Modélisation de l'évolution à long terme de la flore adventice. I. Construction d'un modèle descriptif de l'évolution quantitative du stock de semences de l'horizon travaillé. *Agronomie* 1988 ; 8 : 393-403.
- Viaux P. Conduite intégrée en grandes cultures. *Cultivar* 1992 ; 331 : 40.
- Rasmussen J. Selectivity - an important parameter on establishing the optimum harrowing technique for weed control in growing cereals. In : *Proceedings EWRS Symposium on Integrated Weed Management in Cereals*. Helsinki, 1990 : 197-204.
- Thomas JM. Maîtrise des adventices par voie non chimique. In : *Annales de la 16<sup>e</sup> Conférence du COLUMA. Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes*. Reims, 1995 : 365-72.
- Réal B, Chabanel Y, Lasserre D, Bonnefoy M. Essais de désherbage mécanique des céréales à paille, du maïs et du pois protéagineux. In : Thomas JM, ed. *Proceedings 4th IFOAM Conference on Non-Chemical Weed Control*. Dijon, 1993 : 235-41.
- Rasmussen J. Can high densities of competitive weeds be controlled efficiently by harrowing or hoeing in agricultural crops. In : Thomas JM, ed. *Proceedings 4th IFOAM Conference on Non-Chemical Weed Control*. Dijon, 1993 : 83-7.
- Andersson B. Influence of crop density and spacing on weed competition and grain yield in wheat and barley. In : *Proc EWRS Symposium on Economic Weed Control*. Stuttgart, 1986 : 75-82.
- Palti J. *Cultural practices and infection crop diseases*. Berlin : Springer-Verlag, 1981 ; 243 p.
- Debaeke P. Dynamique de quelques dicotylédones adventices en culture de céréale. II. Survie, floraison et fructification. *Weed Res* 1988 ; 28 : 265-79.
- Christensen S. Weed suppression ability of spring barley varieties. *Weed Res* 1995 ; 35 : 241-8.
- Debaeke P. Apport d'un modèle de simulation de la concurrence au raisonnement du désherbage des cultures. In : *Annales de la 16<sup>e</sup> Conférence du COLUMA. Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes*. Reims, 1995 : 355-62.
- Angonin C. *Compétition de quelques adventices annuelles dans un blé d'hiver : influence de la conduite de la fertilisation azotée*. Thèse, INA Paris-Grignon, 1995 ; 143 p.
- Debaeke P. Conséquences de l'intensification culturale sur la flore adventice du maïs et du sorgho dans le Sud-Ouest de la France. *Agr Med* 1989 ; 119 : 399-411.
- Sebillotte M. *Les rotations culturales. Approche méthodologique d'une politique dynamique*. Journées FNCETA, 1968 ; 11 p.
- Debaeke P. Évolution de la flore adventice dans les systèmes de culture extensifs. In : *C R 9<sup>e</sup> Colloque International sur la Biologie des mauvaises herbes*. Dijon, 1992 : 289-98.
- Debaeke P. Effets de systèmes diversément intensifiés sur la composition et la dynamique de la flore adventice des céréales d'hiver. In : *Proceedings EWRS Symposium on Integrated Weed Management in Cereals*. Helsinki, 1990 : 143-52.
- Sebillotte M. Rôle de la prairie dans la succession culturale. *Fourrages* 1980 ; 83 : 79-124.
- Debaeke P. Conditions de l'impasse de désherbage chimique en céréales d'hiver : effet du type de flore, de la rotation et du potentiel de rendement de la culture. In : Thomas JM, ed. *Proceedings 4th IFOAM Conference on Non-Chemical Weed Control*. Dijon, 1993 : 289-94.
- Jézéquel V, Vidal C. Un septennat de successions culturales. *Agreste, Analyses & Etudes* 1993 ; 15 : 37-45.
- Rodriguez A, Mamarot J. Conséquences de la jachère spontanée sur le salissement des sols en région Midi-Pyrénées. In : *Annales de la 16<sup>e</sup> Conférence du COLUMA. Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes*. Reims, 1995 : 711-23.
- SCEES. Les pratiques culturales sur jachères en 1994. *Agreste, Données chiffrées* 1995 ; 74 ; 41 p.
- Watt TA, Smith H, Mac Donald DW. The control of annual grass weeds in fallowed field margins managed to encourage wildlife. In : *Proceedings EWRS Symposium on Integrated Weed Management in Cereals*. Helsinki, 1990 : 187-96.
- Caseley JC. Optimising herbicide performance. In : *Proceedings EWRS Symposium on Integrated Weed Management in Cereals*. Helsinki, 1990 : 347-57.
- Debaeke P. Évaluation de stratégies de désherbage adaptées à différents systèmes de culture et objectifs de rendement. *Annales de la 15<sup>e</sup> Conférence du COLUMA. Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes*. Versailles, 1992 : 153-62.
- Massé J, Jouy L. Les stratégies de désherbage : quelques exemples régionaux. *Persp Agric* 1994 ; 196 : 49-63.
- Lonchamp JP, Barralis G, Gasquez J, Jauzein P, Kerguelen M, Le Clerch J, Maillat J. MALHERB, logiciel de reconnaissance des mauvaises herbes des cultures : approche botanique. *Weed Res* 1991 ; 31 : 237-45.
- Jauzein P. *Flore des champs cultivés*. Paris : INRA, 1995 ; 898 p.
- Mamarot J. *Mauvaises herbes des cultures*. Paris : ACTA, 1996 ; 484 p.
- Doyle CJ. Mathematical models in weed management. *Crop Prot* 1991 ; 10 : 432-44.

41. Schweizer EE, Lybecker DW, Wiles LJ, Westra P. Bioeconomic weed management models in crop production. In : *International Crop Science I*. Madison : Crop Science Society of America, 1993 : 103-7.

42. Stigliani L, Resina C, Cardinale N. An expert system for crop weed management. In : *Proceedings 8th EWRS Symposium on Quantitative Approaches in Weed and Herbicide Research and their Practical Application*. Braunschweig, 1993 : 855-62.

43. Berti A, Zanin G. Density equivalent : a method for forecasting yield loss caused by mixed weed populations. *Weed Res* 1994 ; 34 : 326-32.

44. Gillet H, Dabène E. Contamination des eaux superficielles par les produits phytosanitaires. In : La protection des végétaux et l'environnement. *Bull Tech Inf* 1994 ; 17-19 : 34-50.

45. Ghera CM, Holt JS. Using phenology prediction in weed management : a review. *Weed Res* 1995 ; 35 : 461-70.

46. Sévila F, Sinfort C. Robotique et lutte contre les mauvaises herbes. In : *Annales de la 15<sup>e</sup> Conférence du COLUMA. Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes*. Versailles, 1992 : 247-59.

47. Cussans GW, Cousens RD, Wilson BJ. Thresholds for weed control - the concepts and their interpretation. In : *Proceedings EWRS Symposium on Economic Weed Control*. Stuttgart, 1986 : 253-60.

48. Wilson BJ. Yield responses of winter cereals to the control of broad-leaved weeds. In : *Proceedings EWRS Symposium on Economic Weed Control*. Stuttgart, 1986 : 75-82.

49. Zanin G, Berti A, Toniolo L. Estimation of economic thresholds for weed control in winter wheat. *Weed Res* 1993 ; 33 : 459-67.

50. Marshall EJP. Using decision thresholds for the control of grass and broad-leaved weeds at the Boxworth EHF. In : *Proceedings 1987 British Crop Protection Conference Weeds*. Brighton, 1987 : 1059-66.

51. Wahmhoff W. The use of economic thresholds over a three year period in cereal crop rotations and the effects on weed infestation two years later. In : *Proceedings EWRS Symposium on Integrated Weed Management in Cereals*. Helsinki, 1990 : 323-30.

52. Davies DHK, Proven MJ, Courtney AD, Lawson HM. Comparison of the use of weed thresholds and routine herbicide use at reduced rate on the economics of cereal production in the

rotation. In : *Proceedings 8th EWRS Symposium on Quantitative Approaches in Weed and Herbicide Research and their Practical Application*. Braunschweig, 1993 : 747-54.

53. Baeumer K. Agronomical measures to control growth and yield reduction by weeds. In : Rabbinge G, Goudriaan J, van Keulen F, Penning de Vries FWT, van Laar HH, eds. *Theoretical production ecology : reflections and prospects*. Simulation Monographs 34. Wageningen : Pudoc, 1990 : 197-215.

54. Bourgoin B, Konlein C. Incidences des pratiques phytosanitaires sur la qualité de l'eau.

In : La protection des végétaux et l'environnement. *Bull Tech Inf* 1994 ; 17-19 : 51-4.

55. Poiret M. Maîtrise de la production et conduite économique pour les grandes cultures. In : Bilan de trois années d'application de la réforme. *Agreste, Les Cahiers* 1996 ; 1-2 : 37-45.

56. Larguier M, Massin JM. Conférence ministérielle pour la protection de la Manche et de la Mer du Nord : aspects phytosanitaires. In : La protection des végétaux et l'environnement. *Bull Tech Inf* 1994 ; 17-19 : 63-74.

---

## Résumé

Le désherbage intégré en grande culture s'appuie principalement sur quatre options :

- la substitution du désherbage systématique et préventif par des techniques culturales permettant de réguler les populations de mauvaises herbes (par exemple, travail du sol, choix variétal, date et densité de semis, fertilisation azotée, irrigation) ;
- l'application d'herbicides de postlevée et le recours au désherbage mécanique, sur la base de seuils de nuisibilité économique ;
- la prise en compte de la succession des cultures comme échelle de raisonnement du désherbage et comme méthode de régulation privilégiée des stocks semenciers ;
- l'utilisation d'outils de pilotage permettant de raisonner la décision de traitement en cohérence avec l'itinéraire technique et de tester des stratégies préventives à long terme.

Bien que les techniques pouvant compléter ou éviter en partie le désherbage chimique existent, leur intégration opérationnelle au sein d'un itinéraire technique et d'un système de culture est peu avancée, en raison, d'une part, du faible coût des herbicides et des réglementations peu restrictives et, d'autre part, du temps de surveillance plus important, de la combinaison plus complexe « à la parcelle » des techniques de lutte, des prises de risques plus élevées, des connaissances requises plus étendues et de la plus grande réactivité demandée à l'agriculteur.

Dans le contexte français, la demande croissante de la société pour une sécurité alimentaire, pour une eau moins chargée en pesticides et pour une meilleure qualité des paysages pourrait conduire, sous la pression conjointe des règlements communautaires, à un usage plus restrictif des herbicides et au développement des stratégies de désherbage intégrées en grande culture.

---