

Protection des cultures et développement durable : bilan et perspectives

Par Jean-Philippe DEGUINE
CIRAD-EMVT (France)
jean-philippe.deguine@cirad.fr

Par Pierre FERRON
INRA (France)
p.ferron@wanadoo.fr

L'importance des dégâts occasionnés aux cultures et aux denrées stockées par divers organismes nuisibles ou concurrents, encore dénommés bio-agresseurs (ravageurs, micro-organismes et virus, mauvaises herbes), contraint l'agriculteur à recourir à des mesures de protection. Parmi celles-ci, la lutte chimique à l'aide de pesticides de synthèse a longtemps été considérée comme la solution la plus efficace et la plus facile à mettre en œuvre, dans des conditions économiques supportables, du moins par une agriculture de type productiviste. Cependant ses effets secondaires sur l'environnement et la santé ne s'avèrent pas compatibles avec une exploitation durable des agro-écosystèmes. Des solutions alternatives sont donc recherchées, une prévention accrue des risques étant considérée aujourd'hui comme un préalable nécessaire. On est ainsi conduit à concevoir une stratégie phytosanitaire nouvelle, reposant d'abord sur la gestion agro-écologique des populations et des peuplements. Cette stratégie remet en cause les pratiques courantes, implique une adaptation des systèmes de culture et une prise en considération rationnelle à l'échelle du paysage, comme une sensibilisation des praticiens aux problèmes environnementaux. Pour permettre un retour à une situation d'équilibre, elle demande non seulement un raisonnement à court terme, cher aux praticiens, mais également une réflexion à long terme telle que celle recommandée par les écologistes. Une illustration en culture cotonnière paysanne en est donnée.

1. Risque phytosanitaire et protection des cultures

Les pertes de récolte sont globalement évaluées à environ 40% de l'ensemble de la production potentielle des cultures, alors que la demande qualitative et quantitative reste croissante (Oerke and Dehne, 1997). Cette estimation masque en fait une grande variabilité des risques encourus, en fonction des zones de production, des conditions pédo-climatiques, des systèmes de culture, des bio-agresseurs concernés et des cultures elles-mêmes, sachant en outre que suivant les conditions socio-économiques locales, les praticiens estiment qu'un même risque peut être plus ou moins supportable. Un agriculteur d'un pays en voie de développement a d'abord comme objectif la productivité, alors qu'un consommateur d'un pays du Nord s'attache désormais prioritairement à la qualité et à la sûreté alimentaire du produit.

Certes, la sous-alimentation observée encore de nos jours dans certaines régions du monde résulte d'abord d'un défaut de répartition de la ressource, mais les procédés de protection des cultures sont également mis en cause, soit qu'ils s'avèrent d'une efficacité insuffisante ou encore trop coûteuse, soit qu'ils soient responsables de graves désordres pour la santé humaine et pour la préservation de l'environnement.

La découverte et la mise au point de pesticides de synthèse, depuis le milieu du siècle dernier, a semblé un moment pouvoir apporter une solution définitive à ce problème de protection des cultures. Cependant, les inconvénients de cette technique de lutte contre les bio-agresseurs a progressivement contraint les utilisateurs à raisonner son emploi. En particulier, les traitements préventifs dits «sur calendrier», car déterminés seulement en fonction des risques potentiels encourus par une culture donnée dans un agro-système déterminé, sont aujourd'hui condamnés, même s'ils sont encore trop souvent pratiqués («assurance tout risque»). Une meilleure identification des bio-agresseurs et l'amélioration des connaissances de leurs cycles biologiques de développement, comme des stades phénologiques sensibles des plantes cultivées, ont permis de déterminer les conditions d'intervention optimales, en particulier par une évaluation objective du risque phytosanitaire réellement encouru au niveau de chaque parcelle de culture. Ce risque est mesuré par le praticien lui-même par comparaison du nombre de bio-agresseurs présents par unité d'échantillonnage à

des valeurs d'alerte ou à des seuils préalablement établis par les services d'assistance technique en fonction des caractéristiques socio-économiques locales.

Le seuil de nuisibilité est donc une forme d'aide à la décision donnée au praticien du risque réellement encouru de subir des pertes de récolte d'une valeur économique supérieure au coût d'un ou de traitements phytosanitaires appropriés, charge à lui de décider de l'opportunité d'intervenir au moyen des procédés qu'il jugera les plus appropriés. La technique de lutte recommandée est alors curative et requiert une efficacité immédiate. Outre leur facilité de mise en œuvre, les pesticides de synthèse ont l'avantage de posséder cette propriété particulière, ce qui explique leur succès auprès des praticiens. Leurs modalités d'application doivent donc être également l'objet de spécifications techniques appropriées, au risque d'effets secondaires néfastes pour la santé et l'environnement (spécificité d'action, effets non intentionnels, protection des pollinisateurs, doses d'application, réglage des pulvérisateurs, délais de carence avant la commercialisation des récoltes, élimination soignée des emballages de produits phytosanitaires etc...).

L'adoption du concept de lutte intégrée, visant au minimum à assurer la compatibilité de cette technique de lutte chimique avec d'autres procédés de lutte de natures différentes (biologique ou biophysique), a donné l'espoir d'obtenir une meilleure efficacité globale tout en limitant les effets négatifs sur l'environnement (Ferron, 1999). Faute de disposer de solutions alternatives suffisamment performantes, l'application de ce concept de lutte intégrée est pourtant le plus souvent réduite à une utilisation raisonnée de ces pesticides de synthèse. Il en résulte que cette méthode curative traditionnelle doit sans tarder faire place à une démarche préventive innovante de nature agro-écologique, sous la forme d'une véritable gestion des populations parasites et auxiliaires associées. Par voie de conséquence, le risque phytosanitaire doit alors être utilisé comme un objectif de prévention.

2. bases agro-écologiques de la prévention du risque phytosanitaire

Dès la fin des années 60, les scientifiques américains préférèrent le concept d'IPM (« *integrated pest management* ») à celui de lutte intégrée (« *integrated control* »), pourtant tout juste adopté par la FAO en 1967. Le plus souvent ces expressions sont encore aujourd'hui considérées comme équivalentes, alors qu'en fait elles traduisent deux visions fondamentalement différentes de la protection des cultures, la première privilégiant la lutte contre les nuisibles, la seconde la gestion de leurs populations (Ferron, 1999).

Ainsi qu'explicité ultérieurement par un groupe de travail de l'Organisation Internationale de Lutte Biologique (OILB), l'élément novateur du concept de protection intégrée tient à la perception de la protection des cultures comme l'une des composantes de la gestion globale des agro-écosystèmes, ou encore agro-systèmes, sous la forme d'une production agricole dite intégrée, lui conférant une dimension spatio-temporelle nouvelle (Altner et al., 1977).

Avec les conférences des Nations Unies de Stockholm (1982), de Rio de Janeiro (1992) et de Johannesburg (2002), les questions environnementales sont devenues une préoccupation internationale majeure et croissante, en particulier au travers de la convention sur la conservation de la diversité biologique et du plan d'action mondial (Agenda 21) recommandant des pratiques agronomiques durables (Lévêque et Mounolou, 2001). La FAO a simultanément réajusté sa position sur la lutte intégrée en adoptant le concept de gestion intégrée des cultures (Zadoks, 1993). Dans cet esprit, les bases écologiques d'un nouveau modèle de protection des cultures étaient élaborées dès 1996, à l'initiative du Conseil National de la Recherche des Etats-Unis (Edwards, 2002), alors que l'OILB actualisait ses principes d'intervention phytosanitaire (Boller et al, 1998).

On voit se dessiner ainsi une stratégie nouvelle, impliquant la mise au point de nouveaux systèmes de culture et privilégiant le renouvellement de l'approche conceptuelle de la protection des cultures par rapport à la seule amélioration technique des performances de procédés alternatifs de lutte. Il s'agit désormais d'intégrer rationnellement l'agriculture dans les fonctions de l'écosystème, et non plus de domestiquer la nature. Accéder à cette nouvelle stratégie phytosanitaire nécessite donc la prise en compte de la dimension spatio-temporelle des phénomènes et implique l'aménagement des systèmes de culture et de leurs environs, même non cultivés. Les objectifs de production, dans un cadre socio-économique donné, sont ainsi logiquement associés aux contraintes environnementales d'un développement durable de la biosphère. Au plan scientifique, cette nouvelle attitude est confortée par l'évolution de nos connaissances en biologie, génétique et écologie des populations.

3. Le système population - environnement

La particularité remarquable des agro-systèmes tient au fait que l'Homme y a la maîtrise, d'une part de populations animales et végétales domestiquées, et d'autre part des structures paysagères et des systèmes de production. En protection des cultures, ces atouts ne sont encore que partiellement exploités, principalement au travers des rotations ou d'associations culturales, de la sélection de variétés résistantes aux bio-agresseurs, ou encore de l'introduction-acclimatation d'auxiliaires ; la gestion des phénomènes de résistance aux pesticides a pourtant récemment attiré l'attention sur l'importance de la connaissance des phénomènes épidémiologiques et par là même sur l'intérêt de la prise en compte simultanée de la gestion des habitats (Bugg and Pickett, 1998), voire des paysages (Burel et Baudry, 2000). La difficulté majeure tient au fait que, dans les limites d'un environnement donné, c'est l'ensemble des populations présentes ou biocénose qu'il faudrait pouvoir prendre en considération. L'écologiste est donc contraint de limiter son champ d'action à des ensembles pluri-spécifiques restreints, qu'il dénomme peuplements ou communautés, au risque de n'avoir qu'une vision partielle de la diversité biologique totale.

En milieu agricole, ces peuplements présentent la particularité d'être composés de populations fragmentées (méta-populations), en raison même des structures agraires et systèmes de culture adoptés. Du point de vue de leur cinétique, les populations sauvages y sont caractérisées par des processus d'extinction et de recolonisation locales liés à l'hétérogénéité spatiale des agro-systèmes, qui perturbe leurs échanges, comme les mécanismes de leur régulation naturelle. C'est pourquoi les études de dispersion de ces populations, tout particulièrement à l'interface des structures agraires, connaissent aujourd'hui un tel intérêt et un tel succès écologique (Ekbom *et al.*, 2000).

On suppose généralement que les écosystèmes évoluent naturellement vers un stade d'équilibre défini par les caractéristiques du sol, du climat, de la végétation, au travers d'états successifs caractérisés par une augmentation de leur hétérogénéité spatiale, de la diversité spécifique et de la densité des populations d'organismes, de la complexification de l'organisation des communautés et du développement de mécanismes de stabilisation. Or, le maintien en équilibre des agro-systèmes à certains de ces stades intermédiaires s'obtient artificiellement par des pratiques, des aménagements ou des systèmes culturels ou pastoraux, remis en cause du fait de leurs effets secondaires systémiques : labours, drainages, traitements phytosanitaires, pâturages etc. L'application aux agro-systèmes des lois générales de l'écologie se heurte donc à leur spécificité anthropique. C'est pourquoi l'allègement souhaité du recours aux intrants (eau, engrais et pesticides) implique en contrepartie d'accorder une place croissante à une technicité accrue de leurs modalités de gestion.

4. Diversité biologique et écologique et écologie des interactions durables

L'existence d'un lien entre la régulation des populations et la diversité spécifique des peuplements est l'objet de débats entre écologistes et spécialistes de la protection des cultures. Il est cependant généralement admis que les pullulations d'organismes nuisibles aux cultures sont réduites dans les agrosystèmes les plus diversifiés, alors qu'elles s'avèrent fréquentes et souvent importantes et difficilement maîtrisables en monoculture (Andow, 1991). L'analyse du problème implique de tenir compte de l'ensemble des interactions propres au système population-environnement considéré (Barbault, 1997). De longue date, les entomologistes se sont attachés à démontrer l'influence de la diversité végétale sur la faune phytophage associée ; cependant ils se sont généralement plus intéressés à l'abondance des espèces qu'à leur réelle diversité ou à la structure génétique de leurs populations.

Deux hypothèses sont avancées pour expliquer ce phénomène : l'une (« *enemies hypothesis* ») prédit qu'à une diversité végétale élevée sont liées une abondance et une diversité accrues de parasitoïdes et de prédateurs des espèces phytophages hôtes, en raison d'une diversité supérieure de ressources alimentaires et de refuges ; l'autre (« *ressource concentration hypothesis* ») avance que, dans le cas d'une diversité végétale réduite, les plantes consommables sont plus facilement accessibles aux phytophages et ainsi plus favorables à leur alimentation et à leur reproduction (Root, 1973). En fait, l'effet positif d'une diversité végétale accrue sur l'augmentation de la diversité biologique des organismes auxiliaires n'est pas expérimentalement démontré, si ce n'est qu'on peut observer en un même lieu à la fois les divers parasitoïdes inféodés aux divers phytophages, et surtout une plus grande abondance de prédateurs généralistes (Letourneau, 1997).

L'attention ainsi portée à la faune prédatrice généraliste indigène a suscité la réévaluation de l'importance de l'autorégulation des populations de bio-agresseurs (« *natural biological control* »). Une stratégie susceptible d'amplifier ce phénomène pour réduire d'autant les risques phytosanitaires (« *conservation biological control* »), tout en répondant au souci de préserver au mieux la diversité biologique de la biosphère, connaît un réel succès depuis peu (Barbosa, 1999).

Alors que les zoologistes étaient jusqu'à présent principalement concernés par cette évolution des connaissances, ils sont aujourd'hui rejoints par les malherbologues, en raison du rôle positif attribué désormais à une gestion raisonnée des populations de mauvaises herbes. Quant aux phytopathologistes, adeptes, depuis l'origine, de l'exploitation de la diversité interspécifique par la sélection variétale, ils portent aujourd'hui un intérêt croissant aux cultures de variétés, voire d'espèces, en mélange (Finckh *et al.*, 2000), tout en attirant l'attention sur le risque épidémiologique susceptible d'être encouru par une maîtrise insuffisante de la gestion d'une diversité biologique volontairement accrue (exemple de la composition floristique des haies composites préconisées en arboriculture fruitière).

5. Gestion des populations et de leurs habitats

Cette évolution des connaissances implique de prendre simultanément en compte, d'une façon cohérente, l'ensemble des bio-agresseurs d'un agro-système donné, dont la diversité biologique doit être par ailleurs prioritairement préservée, dans une démarche intégrée conforme aux principes d'un développement durable. La stratégie n'a donc plus pour objet de résoudre un problème phytosanitaire particulier, dans une parcelle et à un moment donnés, mais de raisonner dans le temps une action globale, s'appliquant à l'ensemble d'une exploitation, voire à un agro-système en son entier, paysage compris (« *landscape farming* »). Le problème se pose alors en termes de gestion de populations, dans l'espace et dans le temps, en recherchant des solutions à court et à long terme, ce qui conduit à prendre en considération la gestion des habitats des espaces cultivés ou non. Cette gestion écologique de l'espace interfère avec les structures agraires en contribuant à l'aménagement du paysage.

Burel *et al.* (2000b) montrent l'intérêt de l'étude du paysage dans le but d'assurer la gestion des populations d'insectes au niveau des exploitations ; mais dans le même temps, ils soulignent la difficulté de l'entreprise en raison de la multiplicité des types de réponse à une situation donnée, en fonction des caractéristiques biologiques des espèces considérées. D'une façon générale, les insectes exploitent les couloirs ou corridors biologiques, qui assurent les nécessaires connexions entre habitats fragmentés, ou au contraire ils effectuent des allers et retours entre les champs cultivés et leurs lisières, suivant des modalités variables avec la structure de ces dernières, la forme des parcelles et la nature de leurs cultures. Cet effet lisière (« *edge effect* ») se traduit par une augmentation de la diversité biologique et de la densité de certaines espèces animales et végétales à la limite entre différentes communautés de plantes (Dennis *et al.*, 2000).

Ces observations commencent à être utilisées en protection des cultures (Landis et Marino, 1999). Les populations de parasitoïdes paraissent plus particulièrement sensibles à cette fragmentation des habitats, sans doute en raison d'une capacité de distribution moindre que celle des phytophages. Ce phénomène s'observe dès que la distance entre habitats est supérieure à 100 mètres, ce qui donne une première évaluation de la dimension de la maille (200 à 300m, soit une surface au plus de 5 à 10 ha) qu'il conviendrait de respecter pour favoriser la régulation naturelle des populations de phytophages.

En revanche, l'effet lisière peut être directement exploité par le praticien lui-même. Ainsi en Suisse (Studer *et al.*, 2003), dans le cadre d'une politique de promotion de la diversité faunistique et floristique définie il y a déjà une dizaine d'années, des surfaces écologiques dites de compensation (« *ecological compensation areas* », ou ECA) sont préconisées sous des formes diverses (chemins, haies, bosquets, mais aussi vergers, prairies extensives etc...) et subventionnées si elles occupent au moins 7% de la surface totale : les procédés les plus souvent adoptés sont des bandes de 3 m de large enherbées de fleurs sauvages (« *wildflower strip* »), les jachères tournantes et les bordures de champs exemptes de traitements pesticides sur des largeurs de 3 à 12 m (« *conservation headlands* »).

Cette nouvelle approche de la protection des cultures (« *biointensive integrated pest management* ») est aussi l'objet d'une exploitation originale en Californie, dans un cadre élargi à l'espace rural en son entier (Bugg *et al.*, 1998). On y entend en effet par « *farmscaping* » certes l'aménagement des bords de champs, haies et brise-vents, mais aussi l'installation de plantes de couverture, le traitement de la végétation des

bords de route et des cours d'eau, y compris leurs bassins de rétention, ainsi que toutes les surfaces incultes, dans le but de promouvoir des systèmes de culture compatibles avec le concept de développement durable.

Si ces techniques paraissent appropriées à la gestion de populations locales de bio-agresseurs, il conviendrait sans doute de les concevoir plus largement encore en tenant compte des espèces migrantes (noctuelles, pucerons etc).

Compte tenu de l'importance nouvelle ainsi accordée aux interactions entre la parcelle de culture et son environnement biologique immédiat, les agronomes sont confrontés à la même obligation que les phytiatres de faire évoluer leurs stratégies. La nécessité d'élargir le concept de système de culture, jusque là étroitement lié à la parcelle ou aux parcelles sujettes à assolement, et d'adopter une vision moins physico-chimique de l'environnement que par le passé s'impose désormais. On notera d'ailleurs que les concepts anglo-saxons de « *cropping system* » et de « *farming system* » s'appliquent à des aires plus vastes, atteignant même celle d'une petite région. De même, pour le phytiatre, la prise en considération de la dimension spatiale des phénomènes est recommandée avec la notion « d'*aerawide pest management* » (Kogan, 2002). On ne saurait également sous-estimer l'importance de la dimension temporelle du problème, la stabilité des systèmes de culture jouant un rôle déterminant dans l'établissement de ces interactions nouvelles.

Cette nécessaire évolution est cohérente avec la conception d'une « révolution doublement verte », fruit d'une expérience antérieure d'inspiration productiviste, qui privilégia les variétés à haut rendement, malheureusement fort exigeantes en engrais et pesticides (Griffon, 1996 ; Bramble, 1989).

6. Stratégies et application

L'adoption d'une telle approche préventive de la protection des cultures marque une rupture avec les pratiques préconisées jusqu'à présent. Elle implique donc un effort d'éducation, d'évolution des mentalités, de changement des habitudes, de conception et d'élaboration, d'adaptation aux conditions locales, de validation et de vulgarisation qui concerne tous les acteurs de la filière. Elle doit s'appuyer sur l'énoncé d'une stratégie d'application simple, dont la hiérarchie doit être méthodiquement respectée. Cette stratégie n'exclut pas, en effet, l'éventuel recours à des moyens curatifs de lutte, compte tenu de la variabilité des phénomènes biologiques et de la nécessité de préserver le bénéfice d'une récolte. Dans cette hypothèse, la préférence doit être accordée à des solutions alternatives à la lutte chimique traditionnelle.

Par les liens structurés et hiérarchisés entre mesures préventives et actions curatives de protection des cultures d'une part, contraintes agronomiques et environnementales d'autre part, cette stratégie s'inscrit dans la logique de la démarche engagée par la FAO en vue de l'élaboration de bonnes pratiques agricoles, sur la base du Codex européen de l'Agriculture Raisonnée (EISA, 2001).

La stratégie proposée s'articule en 5 points successifs :

- le respect des mesures réglementaires, qu'elles soient internationales, nationales ou régionales ;
- la mise en œuvre prioritaire de mesures préventives telles que l'aménagement des habitats, la prophylaxie, la sélection variétale, la rotation des cultures, les assolements, les cultures pièges, les cultures intercalaires ou en mélange, les façons culturales, la fertilisation et l'irrigation raisonnées ;
- l'évaluation des risques encourus au niveau de la parcelle ou d'un groupe de parcelles, par une surveillance attentive et personnalisée de leur état phytosanitaire, mais aussi par une surveillance raisonnée de l'environnement de ces parcelles de culture ;
- la prise de décision en cas de risque effectivement encouru, faisant appel à la notion de seuil de tolérance, intégrant les dimensions économique, sociale et environnementale, et à divers outils d'aide à la décision (bases de données, intelligence artificielle) ;
- la mise en œuvre raisonnée de mesures curatives d'intervention, la priorité étant systématiquement accordée aux mesures alternatives telles que les techniques culturales, les luttes biologique et biotechnique, les pesticides de moindre incidence écologique étant seulement utilisés en dernier recours.

La mise en œuvre de cette stratégie est illustrée par une étude de cas choisie en culture cotonnière paysanne (Deguine et al., 2003). La culture du cotonnier (*Gossypium hirsutum*) ne fait en effet pas exception au constat phytosanitaire généralement établi : d'une part certains de ses ravageurs traditionnels sont devenus résistants aux insecticides, d'autre part d'autres insectes, jusqu'alors d'incidence mineure, ont

acquis rapidement une importance économique notable. Dans la plupart des cas, le contrôle de leurs pullulations n'a pu être assuré d'une façon satisfaisante avec les moyens de lutte courants. Le puceron *Aphys gossypii* et l'aleurode *Bemisia tabaci*, connus depuis longtemps sur cotonnier, sont par exemple distribués dans la plupart des régions cotonnières du monde. Ce sont des ravageurs très polyphages, susceptibles de passer assez facilement d'une culture à une autre, capables de se reproduire à une grande vitesse et doués d'une extraordinaire capacité d'adaptation au milieu. Leurs dégâts sont de trois types : trophiques, car directement liés aux piqûres des insectes ; technologiques, avec les miellats qui souillent le coton graine en fin de campagne et provoquent le phénomène du « coton collant » ; phytopathologiques, par la transmission de maladies virales.

Avant les années 80, ces insectes, alors peu nombreux, ne nécessitaient pas de traitements spécifiques. En revanche, à partir des années 80 leurs pullulations ont contraint à traiter spécifiquement les cultures, avec des résultats qui se sont rapidement révélés décevants. Il est établi que les récentes pullulations de ces insectes piqueurs-suceurs sont la conséquence d'une rupture de l'équilibre établi auparavant entre eux, leur environnement et leur cortège d'ennemis naturels. En fonction des réflexions développées ci-dessus, les bases d'une gestion durable des populations de ces insectes piqueurs-suceurs sont proposées ci-après (cf. tableau n° 1).

On soulignera que la mise en œuvre de cette stratégie implique une rupture avec les pratiques passées, une évolution des mentalités et un changement dans les habitudes, pour éviter une aggravation de la situation et l'adoption d'une démarche et de pratiques nouvelles permettant un retour à une situation d'équilibre. Le succès d'une telle approche ne peut être assuré que par le strict respect d'une démarche unitaire, véritablement intégrée et dans laquelle le rôle des agronomes est déterminant. Chacune de ses étapes doit obligatoirement être conduite à son terme avant d'engager la suivante, ce qui la rend difficile et très contraignante pour le praticien. Une formation de base, une assistance technique et une aide à la décision, aussi indépendante que performante, lui sont donc indispensables.

Bibliographie

- Altner G., Baggiolini M., Celli G., Schneider F. and H. Steiner, 1977. La protection intégrée, une technique d'appoint, conduisant à la production intégrée. IOBC wprs Bull. / Bull. OILB srop, 1977-4, 118-129.
- Andow D., 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. Annu. Rev. Entomol., 36, 561-585.
- Barbault R., 1997. *Ecologie générale. Structure et fonctionnement de la biosphère*. Masson, Paris, Collection Enseignement des Sciences de la Vie, 4^{ème} édition, 286 p.
- Barbosa P. ed., 1999. *Conservation Biological Control*. Academic Press, San Diego, CA, 396 p.
- Boller E. F., Avilla J., Gendrier J. P., Jörg E. and C. Malavolta, 1998. Integrated plant protection in annual crop systems. IOBC wprs Bull. / Bull. OILB srop, 21 (1), 19-22.
- Bramble B. J., 1989. An environmentalist's view of pest management and the Green Revolution. Trop. Pest Manag., 35, 228-230.
- Bugg R. L. and C. H. Pickett, 1998. Introduction : Enhancing Biological Control - Habitat Management to Promote Natural Enemies of Agricultural Pests. In : *Enhancing Biological Control. Habitat Management to Promote Natural Enemies of Agricultural Pests*. Pickett C. H. and R. L. Bugg eds, Univ. California Press, USA, 1-23.
- Bugg R. L., Anderson J. H., Thomsen C. D. and J. Chandler, 1998. Farmscaping in California : Managing Hedgerows, Roadside and Wetland Plantings, and Wild Plants for Bio-intensive Pest Management. In : *Enhancing Biological Control. Habitat Management to Promote Natural Enemies of Agricultural Pests*. Pickett C. H. and R. L. Bugg eds, Univ. California Press, USA, 339-374.

- Burel F. et J. Baudry, 2000. *Ecologie du paysage. Concepts, méthodes et applications*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris, 2^{ème} édition, 359 p.
- Burel F., Baudry J., Delettre T., Petit S. and N. Morvan, 2000. Relating insect movements to farming systems in dynamic landscapes. In : *Interchanges of Insects between, Agricultural and Surrounding Landscapes*. Ekbom B., Irwin M. E., and Y. Robert eds, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, NL, 5-32.
- Deguine J.-P., Vaissayre M. and P. Ferron, 2003. Aphid and Whitefly Management in Cotton Growing : Review and Challenges for the Future. Proceedings of the World Cotton Research Conference, Cape Town, South Africa, 9-13 March 2003, plenary session, in press.
- Dennis P., Fry G. L. A. and A. Andersen., 2000. The impact of field boundary habitats on the diversity and abundance of natural enemies in cereals. In : *Interchanges of Insects between Agricultural and Surrounding Landscapes*. Ekbom B., Irwin M. E., and Y. Robert eds, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, NL, 195-214.
- Edwards C. A., 2002. Sustainable agricultural practices. In : *Encyclopedia of Pest Management*. Pimentel D., ed., Marcel Dekker, Inc., New York, Basel, 812-814.
- EISA, 2001. A common Codex for integrating farming. www.farre.org/infos/infos.
- Ekbom B., Irwin M. and Y. Robert eds, 2000. *Interchanges of Insects between Agricultural and Surrounding Landscapes*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, NL, 239 p.
- Ferron P., 1999. Protection intégrée des cultures : évolution du concept et de son application. *Cahiers Agricultures*, 8, 389-396.
- Finckh M. R., Gacek E. S., Goyeau H., Lannou C., Merz U., Mundt C. C., Munk L., Nadziak J., Newton A. C., de Vallavieille-Pope C. and M. S. Wolfe, 2000. Cereal variety and species mixtures in practice, with emphasis on disease resistance. *Agronomie*, 20, 813-837.
- Griffon M. ed., 1996. *Vers une Révolution Doublement Verte*. Actes du séminaire du 8 et 9 novembre 1995, Poitiers. Cirad, Nogent-sur-Marne, 206 p.
- Kogan M. , 2002. Aerawide pest management. In : *Encyclopedia of Pest Management*. Pimentel D., ed., Marcel Dekker, New York, 28-32.
- Landis D. A. and P. C. Marino, 1999. Landscape Structure and Extra-Field Processes : Impact on Management of Pests and Beneficials. In : *Handbook of Pest Management*. Ruberson J. R. ed., Marcel Dekker , New York, 79-104.
- Letourneau D. K., 1997. Plant-Arthropod Interactions in Agroecosystems. In : *Ecology in Agriculture*. Jackson L. E. ed., Academic Press, San Diego, CA, USA, 239-290.
- Lévêque C. et J. C. Mounolou, 2001. *Biodiversité. Dynamique biologique et conservation*. Dunod, Masson Sciences, Paris, 248 p.
- Oerke E. C. and H.-W Dehne, 1997. Global crop production and the efficacy of crop protection. Current situation and future trends. *Eur. J. Plant Pathol.*, 103, 203-215.
- Root R. B., 1973. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitat ; The fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecol. Monogr.*, 43, 95-124.
- Studer S., Eggenschwiler L. and K. Jacot, 2003. Ecological compensation areas - the Swiss approach to enhance faunistic and floristic diversity in agricultural landscapes. *IOBC wprs Bull. / Bull. OILB srop*, 26 (4), 151-156.

- Zadoks J. C., 1993. Crop Protection : Why and How. In : *Crop Protection and Sustainable Agriculture*. Chadwick D. J. and J. Marsh eds, J. Wiley & Sons, New York, 48-55.

Tableau n° 1. Gestion agro-écologique des populations d'insectes piqueurs-suceurs (pucerons et aleurodes) en culture cotonnière (d'après Deguine et al., 2003)

Mesures réglementaires (1)	
Echelles : internationales, nationales, régionales	
Mesures préventives ou indirectes (2)	
Stratégies : permettre aux stades sensibles du cotonnier d'échapper aux infestations des insectes piqueurs suceurs réduire ou diluer les effectifs des insectes piqueurs suceurs favoriser ou préserver les ennemis naturels	
Echelle : parcelle de cotonnier	Echelle : système de culture, exploitation, terroir
<p>Installation rapide de la culture</p> <ul style="list-style-type: none"> - semis précoce - systèmes réduisant le temps d'installation (semis direct, minimum tillage) <p>Réduction du délai semis-fructification</p> <ul style="list-style-type: none"> - choix de la variété (cycle court, développement végétatif limité, fructification synchrone et courte) - densité de semis - régulateurs de croissance - enrobage de semences - optimisation des interactions (« <i>ultra narrow row cotton</i> », etc.) <p>Réduction du délai d'exposition des capsules aux miellats</p> <ul style="list-style-type: none"> - récolte précoce - récoltes fractionnées - choix de la variété (grosses capsules, architecture du plant, fructification synchrone, défoliation rapide) <p>Limitation de la ressource alimentaire favorable aux ravageurs</p> <ul style="list-style-type: none"> - choix de la variété (pour le feuillage : couleur, texture, forme, taille, indice foliaire, richesse en sucres et acides aminés) - gestion de la fumure (organique et minérale) - gestion de l'approvisionnement en eau - gestion des résidus de culture <p>Autres itinéraires techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> - cotonniers génétiquement modifiés - gestion de l'enherbement 	<ul style="list-style-type: none"> - Systèmes de culture favorables, tels que culture sur couverture végétale, ou semis en lignes très rapprochées (« <i>ultra narrow row cotton</i> ») - cas des cultures génétiquement modifiées - rotations - assolements - forme et taille du parcellaire - prophylaxie - fertilisation raisonnée - aménagement des habitats - résidus de culture - plantes réservoirs d'intercampagne - associations raisonnées - cultures pièges - plantes refuges - juxtaposition de cultures - systèmes d'attraction-répulsion des insectes (stratégie « <i>push and pull</i> »)
Evaluation des risques (3) et Prise de décision (4)	
<ul style="list-style-type: none"> - surveillance de la culture (parcelle ou groupes de parcelles) - outils d'aide à la prévision et à la décision - seuils de tolérance économique, sociale, environnementale 	
Mesures curatives ou directes (5)	

- utilisation d'huiles, de détergents naturels
- utilisation d'extraits végétaux (ex : neem)
- arrosage ou lavage à l'eau
- récoltes supplémentaires fractionnées
- défoliation, étêtage manuel
- lutte chimique raisonnée (dernier recours),

avec des insecticides de synthèse, des huiles ou détergents de synthèse, des défolians de synthèse pour défolier ou étêter (avec des produits choisis en fonction de critère de moindre incidence écologique : spécificité, toxicité, sélectivité, effets secondaires, respect de l'environnement)

en adoptant de nouvelles techniques d'application (qui remuent le feuillage par exemple et qui permettent d'atteindre les faces inférieures des feuilles)