

SYNTHESE DES METHODES DE LUTTE INTEGREE

Document créé à partir des informations contenues dans « *EcophytoPIC* » site officiel du ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la forêt qui a pour objet la sensibilisation des professionnels du secteur agricole au sujet de la Protection Intégrée des Cultures

PREVENTION ET PROPHYLAXIE

Gestion des cultures

Les méthodes de gestion des cultures reposent sur la rupture de cycle des bio-agresseurs dans le temps ou dans l'espace. Ainsi les méthodes développées dans ce chapitre évoqueront aussi bien des notions de rotation et d'alternance de cultures que d'agencement spatial de celles-ci.

Assolement parcellaire

L'assolement est l'organisation géographique de parcelles cultivées sur l'ensemble d'une exploitation au cours d'une campagne agricole donnée.

Adaptation du site d'implantation des cultures

Le choix du site conditionne la bonne implantation d'une culture de par le fait que les exigences agronomiques et climatiques de celle-ci vont être les plus adaptées possibles. Ainsi, l'objectif est de limiter tout stress de la culture pouvant conduire à une certaine vulnérabilité mais également d'accentuer toute concurrence avec un ennemi des cultures.

Mélanges d'espèces ou de variétés

Les associations de variétés ou d'espèces, en provoquant une diversité génétique, permettent de limiter dans certains cas les impacts des épidémies parasitaires mais également de limiter le développement des adventices et de résister à la verse.

Plantes de couvert en culture ou interculture

Les cultures dérobées, doubles ou intermédiaires sont implantées entre deux cultures principales de la rotation.

Plantes pièges

L'intérêt des plantes-pièges est d'empêcher un ennemi des cultures de se conserver et donc de poursuivre son cycle ou d'empêcher l'attaque de cet ennemi.

Rotation

La rotation est l'organisation temporelle des espèces cultivées sur l'ensemble d'une exploitation.

Techniques culturales

Certaines techniques permettent de limiter le développement des ennemis des cultures en supprimant ou en diminuant au maximum la pression d'infestation de départ (limitation des formes de conservation des bio-agresseurs). Différentes solutions sont envisageables.

Biofumigation et Allélopathie

Certaines plantes produisent des substances ayant pour action d'empêcher le développement de bio-agresseurs (agents pathogènes et ravageurs du sol, adventices en germination).

Date de semis

L'adaptation de la date de semis peut contribuer à éviter les périodes de plus forte sensibilité par rapport aux attaques de certains ennemis des cultures.

Densité de semis ou de plantation

La modulation de la densité de semis ou de plantation peut être envisagée dans les deux sens (faible ou forte densité), mais seulement suite à une analyse du risque car des effets négatifs peuvent résulter de cette technique.

Enherbement des cultures pérennes

L'enherbement a un rôle principal de couverture du sol qui permet de plus de limiter l'utilisation des herbicides.

Gestion de l'interculture

La période entre la récolte et le semis de la culture suivante peut être propice à certains travaux superficiels du sol permettant d'éliminer une partie des adventices levées.

Labour

Le labour a pour rôle principal d'enfouir les graines de plantes annuelles ayant un fort taux annuel de décroissance, c'est-à-dire dont la viabilité des graines est courte.

Gestion des résidus de cultures

Les résidus des cultures peuvent contenir des formes hivernantes ou de repos des bio-agresseurs (maladies, ravageurs).

Taille des cultures pérennes

La taille peut être un moyen d'éliminer les formes de conservation des bio-agresseurs présents sur les arbres et vignes.

Tolérance de plantes adventices

La tolérance de plantes adventices a pour but d'éviter l'utilisation d'herbicides.

Travaux en vert

Les travaux en vert (effeuillage, ébourgeonnage, épamprage, éclaircissage, rognage) ont avant tout une fonction de régulation de la production et notamment de sa qualité. Néanmoins, bien mené, l'ensemble de ces actions peut également avoir une incidence sur la protection de la culture.

Variétés et plants

La génétique des plantes doit permettre d'offrir à la fois des résistances directes aux bio-agresseurs et des conformations ou architectures de plantes qui permettent de mettre en difficulté ceux-ci, soit par une meilleure capacité concurrentielle, soit parce qu'elles limitent les possibilités de contamination ou d'attaque.

Choix et état sanitaire des semences et plants

Une attention particulière doit être portée à la qualité sanitaire des semences et des plants, pour que ceux-ci ne soient pas sources de contamination.

Choix des variétés

La connaissance des caractéristiques de la variété en matière d'avantages vis-à-vis de bio-agresseurs peut permettre de combiner l'apport variétal avec les méthodes de biocontrôle valorisant pleinement la possibilité de réduction de la pression liée à l'utilisation de la variété.

Pratiques agronomiques

C'est l'ensemble de techniques qui n'appartiennent pas directement à la protection des plantes mais qui peuvent influencer sur le développement de bio-agresseurs : fertilisation, irrigation, structure du sol.

L'action est alors indirecte. Il est par ailleurs important de noter que si ces techniques défavorisent une catégorie de bio-agresseurs, elles peuvent à l'inverse en favoriser une autre. Il est par conséquent nécessaire de bien prendre en considération ces différents aspects afin de décider des pratiques les plus adaptées à mettre en oeuvre.

Drainage

Cette technique consiste à assainir les parcelles de type hydromorphe par la pose de drains permettant d'activer l'écoulement des eaux en surplus.

Fertilisation raisonnée

Le raisonnement de la fertilisation, comprenant l'ensemble des apports organiques et minéraux apportés par l'agriculteur pour subvenir à l'alimentation de la plante cultivée, est important pour permettre un équilibre de celle-ci.

Irrigation

En matière de protection intégrée, la gestion de l'irrigation peut avoir plusieurs effets.

Hygiène

Le nettoyage et la désinfection sont des moyens indirects de gestion des bio-agresseurs, l'objectif étant de ne pas créer un milieu favorable à leur développement.

Hygiène des locaux

Le nettoyage des locaux avant entreposage, des véhicules et des conteneurs est indispensable pour gérer les risques de développement de certains bio-agresseurs dans ces milieux.

Hygiène des outils

Les outils mécaniques, manuels ou motorisés utilisés dans les travaux agricoles peuvent être des vecteurs de dissémination d'organismes nuisibles surtout pathogènes contenus dans des débris de végétaux ou sur de la terre présente en surface de ces outils.

Habitat

L'aménagement intra ou extra parcellaire doit permettre de favoriser le développement d'organismes utiles qui contribueront à limiter le développement des bio-agresseurs. L'aménagement paysager doit donc participer à créer un agro-écosystème équilibré dont la vocation est de protéger ou de renforcer les organismes utiles importants.

Gestion des auxiliaires

Les organismes auxiliaires jouent un rôle important dans le contexte de la protection intégrée car ils doivent permettre de maîtriser un certain nombre de ravageurs clefs des cultures.

SURVEILLANCE

Surveillance Biologique du Territoire dans le domaine végétal

Bulletins de santé du végétal

L'objectif du Bulletin de Santé du Végétal est de présenter un état sanitaire des cultures, une évaluation du risque phytosanitaire et des messages réglementaires.

Analyse et diagnostic en santé du végétal

Vous souhaitez obtenir des informations sur des prestations d'analyses pour la recherche de bioagresseurs ou pour un diagnostic à partir de symptômes observés sur végétaux?

Les Outils d'Aide à la Décision (OAD)

Ces outils décrivent des situations phytosanitaires de présence, développement et prévision de bio-agresseurs et sont accompagnés de règles de décision permettant de guider l'utilisateur vers la décision d'intervenir ou non.

Les outils de reconnaissance des bio-agresseurs

La protection intégrée doit s'appuyer sur une bonne identification des bio-agresseurs.

Les notes nationales

Un certain nombre de documents travaillés par des experts du service de la protection et de la qualité des végétaux, des instituts techniques agricoles et de l'INRA ont constitué des notes qui permettent de raisonner la lutte contre certains bio-agresseurs problématiques (résistance, santé,...) ou de protéger certains organismes.

Estimation des populations de ravageurs

La pose de pièges au sein des parcelles est une pratique permettant d'estimer les populations de ravageurs présents dans la culture.

Recensement des populations d'auxiliaires

Des méthodes de recensement et de dénombrement de l'entomofaune permettent de déceler la présence des auxiliaires dans les cultures et d'en estimer leur importance.

Effets non intentionnels sur les auxiliaires

Le développement des auxiliaires est une des composantes principales de la protection intégrée des cultures. Il est donc impératif de connaître les effets des pesticides sur ceux-ci afin de raisonner, en cas de nécessité de lutte chimique, le choix du produit qui limitera l'impact sur leur population.

METHODES DE LUTTE

Biocontrôle

C'est l'ensemble des méthodes qui vise à la protection des plantes par le recours aux mécanismes et interactions qui régissent les relations entre espèces dans le milieu naturel. Ainsi, le principe du biocontrôle est fondé sur la gestion des équilibres des populations d'agresseurs plutôt que sur leur éradication.

Attractifs

Cette méthode repose sur l'utilisation d'appâts alimentaires ou de kairomones (molécules odorantes qui permettent à un insecte de repérer les plantes dont il se nourrit, des sites de pontes ou des proies) pour attirer les ravageurs et les neutraliser dans des pièges (par emprisonnement, adhérence à des surfaces engluées, noyade ou contact avec un insecticide).

Auxiliaires - lâchers inondatifs

C'est un lâcher d'auxiliaires de façon massive dans la culture dans le but de maîtriser rapidement des populations d'organismes nuisibles, comme le ferait un traitement chimique.

Auxiliaires - lutte par acclimatation

La lutte biologique par acclimatation consiste à introduire un auxiliaire d'origine exotique dans un milieu colonisé par un ravageur, dans le but qu'il s'y établisse de manière permanente et qu'il y assure une régulation durable des populations du ravageur. L'auxiliaire introduit provient en général de la même aire d'origine que l'espèce nuisible.

Confusion sexuelle

Il s'agit d'une méthode perturbatrice de la reproduction de lépidoptères ravageurs qui repose sur la diffusion au sein des parcelles de molécules de synthèse analogues aux phéromones sexuelles émises par les femelles pour attirer les mâles.

Lutte autocide

La lutte autocide consiste à introduire au champ en grandes quantités des individus mâles stériles du ravageur cible. Ces individus proviennent d'élevages en masse et sont rendus stériles par irradiation.

Micro-organismes contre les agents pathogènes

C'est l'emploi de virus, de bactéries ou de champignons pour lutter contre les agents pathogènes responsables de maladies.

Micro-organismes contre les ravageurs

Cette méthode repose sur l'utilisation de virus, de bactéries ou de champignons parasites d'insectes.

Produits à base de nématodes contre les ravageurs

Les nématodes sont des vers ronds microscopiques dont certaines espèces se nourrissent de bactéries, de champignons ou de végétaux, tandis que d'autres parasitent des animaux.

Piégeage à phéromones

Cette méthode repose sur l'utilisation de phéromones (composés intervenant dans la communication entre les individus d'une même espèce) pour attirer puis piéger des insectes ravageurs.

Répulsifs

Il s'agit de préparations ayant pour effet de tenir les ravageurs à distance des cultures.

Stimulation des défenses naturelles des végétaux cultivés

Les végétaux possèdent à l'état latent des mécanismes de défenses naturelles qui vont être activés suite à la détection d'une agression.

Stimulation de la vitalité des plantes

Il s'agit de préparations dont l'action est d'améliorer les performances globales des plantes : exploitation des ressources, croissance, productivité, résistance aux stress, etc. Les mécanismes mis en jeu sont multiples et complexes (solubilisation de minéraux dans le sol, production de facteurs de croissance, stimulation des défenses naturelles, etc.).

Substances naturelles

Certaines substances naturelles peuvent être utilisées comme produit de biocontrôle. Ce sont des substances présentes dans le milieu naturel et pouvant être d'origine végétale, animale ou minérale. Ces substances peuvent se substituer à des pesticides de synthèse et ainsi limiter leur utilisation

Méthodes physiques

La lutte physique en protection des plantes regroupe toutes les techniques de lutte dont le mode d'action primaire ne fait intervenir aucun processus biologique, biochimique ou toxicologique.

Il existe deux types fondamentaux de méthodes en lutte physique : les méthodes actives et les méthodes passives. Les méthodes actives nécessitent de l'énergie au moment de l'application pour détruire, blesser ou stresser les ennemis des cultures, ou pour les retirer du milieu. Ces méthodes n'agissent qu'au moment de l'application et ne présentent pratiquement pas de rémanence. Les méthodes passives procèdent quant à elles par une modification du milieu un caractère plus durable.

Bandes pièges

Les bandes pièges sont des bandes de carton ondulé que l'on fixe autour des troncs d'arbres fruitiers afin de capturer les larves diapausantes de *Cydia Pomonella* (L.), le carpocapse des pommes, des poires et des noix.

Bassinage et brumisation contre les ravageurs

Il s'agit de créer des conditions climatiques défavorables à l'installation et au développement de certains ravageurs dans les cultures d'été sous abris.

Désherbage mécanique des cultures pérennes

Dans les cultures pérennes (vignes, vergers et pépinières), des opérations superficielles d'entretien du sol (5-8cm) peuvent permettre de détruire les adventices dans les inter-rangs et/ou sur les lignes de plantation.

Désherbage mécanique en post-levée des cultures annuelles

L'agriculteur souhaitant maîtriser la flore adventice d'une parcelle en post-levée de la culture peut intervenir sur les rangs, les inter-rangs ou la totalité de la surface cultivée par le recours à des outils de désherbage mécanique.

Désherbage mixte

Le désherbage mixte consiste à mettre en œuvre un désherbage chimique sur le rang couplé à un désherbage mécanique dans l'inter-rang des cultures en lignes.

Désherbage thermique

Le désherbage thermique est une méthode de destruction des adventices par la chaleur.

Désinfection des sols à la vapeur

Utilisée pour désinfecter les sols avant la mise en culture, cette technique consiste à amener les couches de sol traitées à des températures allant jusqu'à 90°C, via l'injection de vapeur d'eau dans le sol.

Dispositifs physiques anti-insectes

Les cultures peuvent être protégées des attaques d'insectes ravageurs par l'installation de bâches, voiles ou filets empêchant physiquement l'accès aux plantes.

Epamprage mécanique

L'épamprage est une pratique qui consiste à éliminer les rameaux non fructifères se développant à partir de bourgeons situés sur les souches ou les troncs de vignes.

Lutte physique contre les rongeurs

Les problématiques liées aux rongeurs touchent particulièrement les systèmes prairiaux mais peuvent également concerner les parcelles de grandes-cultures, vergers, vignes et cultures maraichères.

Lutte pneumatique

La lutte pneumatique fait appel à des mouvements d'air pour éliminer certains ravageurs des cultures. Elle est également utilisée dans le cadre d'opérations de désherbage.

Mulchs et paillages

La mise en place de mulchs, de géotextiles ou de films de paillage en surface des sols ou des substrats de culture permet d'empêcher ou de limiter le développement d'adventices au pied des plantes cultivées.

Piégeage chromatique

Cette méthode est basée sur l'attraction des insectes pour certaines couleurs.

Plastiques anti-UV

Il s'agit de couvrir les serres ou les tunnels à l'aide de plastiques ayant la propriété de filtrer les ultraviolets (UV), dans le but de perturber la vision des insectes ravageurs présents à l'intérieur de ces structures et ainsi d'affecter leur capacité à se déplacer et à repérer les plantes.

Récupération des menues pailles

L'installation d'un récupérateur de menue pailles à l'arrière de la moissonneuse batteuse contribue à réduire le salissement des parcelles par l'exportation des graines d'adventices récoltées en même temps que la culture (réduction du stock semencier du sol).

Solarisation

Il s'agit d'une technique de désinfection des sols qui consiste à utiliser le rayonnement solaire afin d'élever la température de la couche superficielle des sols ($\leq 30\text{cm}$) à des valeurs supérieures à 40°C .

Stockage des produits de récolte à basses températures

Les basses températures permettent la maîtrise d'insectes et d'acariens ravageurs pendant le stockage des produits de récolte. Elles ont également pour effet de limiter le développement de certains agents pathogènes (moisissures notamment).

Traitement à l'air chaud

Les traitements thermiques permettent la maîtrise d'agents pathogènes et de ravageurs en post-récolte des cultures. Ils peuvent notamment être mis en œuvre dans le cadre de la lutte contre les organismes de quarantaine.

Traitement à l'eau chaude

Il s'agit d'une méthode d'élimination d'agents pathogènes et de ravageurs par la chaleur. Elle permet d'assainir des lots de semences, des plants ou des produits de récolte et peut être mise en pratique dans le cadre de traitements de quarantaine.

Utilisation raisonnée des méthodes chimiques

Dans les stratégies de protection intégrée des cultures, le raisonnement des interventions chimiques ainsi que mentionné dans la directive européenne 2009/128 est essentiel.

La réduction de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques peut s'envisager de différentes manières :

Réduction de la fréquence de traitement ;

Réduction des doses d'application par unité de surface cultivée ;

Choix des périodes et des conditions d'application des pesticides.

Ce raisonnement pourra être facilité par différents outils (matériel de précision, outils d'aide à la décision, etc.).

Adaptation des doses à la quantité de végétation

Les produits phytopharmaceutiques étant homologués pour des doses devant assurer une protection efficace de la culture dans des conditions favorables au développement des bio-agresseurs, et ce quelle que soit la quantité de biomasse à protéger, des réductions de doses peuvent être envisagées dans les situations à moindre risque en termes de pression de maladies ou de ravageurs et de développement de la végétation.

Application phytosanitaire préventive

L'élimination des repousses, le défanage (en culture de pomme de terre), l'épamprage (en viticulture) sont des pratiques qui permettent de lutter préventivement contre certains ennemis des cultures.

Choix de la période d'application des produits

La mise en œuvre d'un traitement phytosanitaire doit être raisonnée en fonction du stade de développement de la culture et de celui du bio-agresseur ciblé. Des conditions météorologiques favorables (hygrométrie, vent, température, pluie) permettront de plus de garantir l'efficacité du produit tout en limitant les risques pour l'environnement. La connaissance des insectes utiles et de leurs périodes d'activité dans la culture contribuera également à préciser le meilleur moment d'intervention.

Choix raisonné des produits phytopharmaceutiques

Lorsque des interventions chimiques sont nécessaires, le producteur a la possibilité de choisir, parmi les spécialités autorisées, celles qui sont le plus spécifiques au problème donné et qui présentent les moindres risques par rapport à la santé humaine, aux organismes non cibles et à l'environnement.

Gestion collective de la lutte

Bien menées, les luttes collectives doivent permettre de diminuer la pression de certains bio-agresseurs des cultures par une combinaison de différentes méthodes de surveillance et de lutte (chimique, physique, biologique).

Gestion des résistances des bio-agresseurs aux produits phytopharmaceutiques

La gestion des résistances est le 7ème principe de la Protection intégrée selon la directive 2009/128 : "Lorsque le risque de résistance à une mesure phytopharmaceutique est connu et lorsque le niveau d'organismes nuisibles exige l'application répétée de pesticides sur les cultures, les stratégies anti résistance disponibles devraient être appliquées afin de maintenir l'efficacité des produits. Cela peut inclure l'utilisation de plusieurs pesticides ayant différents modes d'action".

Positionnement et nombre de traitements

L'optimisation du positionnement (intervenir au bon moment) et du nombre de traitements (ne traiter que si nécessaire) permet une protection efficace de la culture tout en limitant les quantités de produits phytopharmaceutiques appliquées dans les parcelles.

Techniques de pulvérisation et réglages du matériel

La pulvérisation des produits phytopharmaceutiques doit permettre de protéger la culture tout en minimisant les risques pour la santé de l'applicateur et pour l'environnement.

MATERIELS ET EQUIPEMENTS

Matériel méthodes alternatives

La lutte mécanique comprend à la fois des outils de travail du sol mais également des outils spécifiques permettant des techniques de désherbage alternatif. D'autre part, des dispositifs de protection sont des développés contre des bio-agresseurs.

Les luttes thermiques et pneumatiques font appel à des matériels très spécifiques nécessitant une bonne connaissance et maîtrise pour leur utilisation.

Les cultures sous-abris sont un milieu particulier permettant de gérer plus facilement l'introduction de méthodes alternatives par la maîtrise des conditions climatiques.

Outils de travail du sol :

Outils de travail du sol

Déchaumage, labour ou travaux superficiels du sol jouent un rôle dans la gestion des bio-agresseurs, selon que ces pratiques permettent d'enfouir des graines d'adventices ou de rompre le cycle de maladies et de ravageurs ou qu'elles permettent à l'inverse à ces bio-agresseurs de se pérenniser.

Matériel de gestion des adventices :

Récupérateurs de menues pailles

L'installation d'un récupérateur de menue pailles à l'arrière de la moissonneuse batteuse contribue à réduire le salissement des parcelles par l'exportation des graines d'adventices récoltées en même temps que la culture.

Outils de désherbage mécanique - cultures annuelles

On distingue trois grandes catégories d'outils : la herse étrille, la houe rotative et les bineuses (à socs, à étoiles ou à doigts).

Outils de désherbage mécanique - cultures pérennes

Dans les inter-rangs des cultures pérennes, le désherbage peut être réalisé à l'aide d'outils polyvalents ayant dans le même temps un effet sur la structure du sol. Sur la ligne de plantation, les outils doivent permettre de désherber les ceps de vigne ou les troncs d'arbres fruitiers au plus près sans toutefois les endommager.

Matériels de désherbage thermique

Le désherbage thermique peut être réalisé à l'aide d'appareils à flamme directe ou à infrarouge (les plus répandus), mais aussi par projection de vapeur ou d'eau bouillante (ces matériels sont plutôt utilisés en Zones Non Agricoles).

Ecimeuses

Dans la pratique de l'écimage, on exploite la différence de hauteur entre la culture et les adventices pour couper les inflorescences de ces dernières, ce qui empêche la production de graines et leur propagation dans la culture.

Outils pour la gestion de l'enherbement permanent et des couverts végétaux :

Outils de gestion d'un enherbement permanent

A chaque opération réalisée dans le cadre de la mise en place et de l'entretien d'un enherbement correspond un matériel adapté" (cf. Guide de l'enherbement - CRA Rhône-Alpes)

Outils de destruction des couverts végétaux

Présentation de techniques de destruction des couverts et des matériels associés.

Equipements de lutte thermique :

Matériels de désinfection vapeur

Utilisée pour désinfecter les sols avant la mise en culture, cette technique consiste à amener les couches de sol traitées à des températures allant jusqu'à 90°C, via l'injection de vapeur d'eau dans le sol.

Matériels de désherbage thermique

Le désherbage thermique peut être réalisé à l'aide d'appareils à flamme directe ou à infrarouge (les plus répandus), mais aussi par projection de vapeur ou d'eau bouillante (ces matériels sont plutôt utilisés en Zones Non Agricoles).

Equipements de lutte pneumatique :

Lutte pneumatique contre les insectes

La lutte pneumatique permet d'éliminer certains ravageurs des cultures par des systèmes de soufflage et/ou d'aspiration.

Installations et structures :

Filets anti-insectes en arboriculture

Dans les vergers, des filets anti-insectes empêchant physiquement l'accès à la culture peuvent être installés à l'échelle de l'arbre, du rang (système dit « monorang ») ou de la parcelle entière (système dit « monoparcelle »).

Equipement des serres et tunnels

Outre la création d'un climat favorable à la culture et les questions liées à la consommation énergétique des structures, les abris peuvent de plus être aménagés de façon à protéger la culture contre des attaques de bio-agresseurs.

Optimisation de l'application

La réduction de doses des produits phytopharmaceutiques passe par une solide expérimentation permettant de cerner les conditions agronomiques et climatiques des possibilités d'action. Cela passe également par la qualité de l'application qui est lié au choix et au suivi du matériel, à des adaptations de celui-ci et à l'emploi de nouvelles technologies.

Equipements pour traitements localisés

Les traitements localisés (sur le rang ou au niveau de foyers d'infestation) permettent de réduire les quantités de produits phytosanitaires appliqués à l'hectare.

Matériels d'humectation

Il est possible de réaliser des économies en herbicides par le recours à des matériels qui appliquent le produit au contact des adventices à détruire, directement sur celles-ci.

Matériels de pulvérisation et réglages

Certains matériels permettent une pulvérisation plus optimisée que d'autres de par la quantité de produit atteignant effectivement la cible et la qualité de répartition de la bouillie sur le végétal.

NTIC

L'application des produits phytosanitaires peut être optimisée par le recours aux Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC). Des systèmes de guidage et de coupage de rampes permettent notamment d'éviter les manques et les recouvrements.

Entretien et contrôle des pulvérisateurs

L'état du matériel d'application des produits phytosanitaires conditionne l'efficacité des traitements, la sécurité du manipulateur et les risques de pollution de l'environnement.